

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

**DISEÑO A NIVEL DE LABORATORIO DE UN CIRCUITO DE
BENEFICIO PARA RECUPERACIÓN DE ILMENITA EN ARENAS
DE LA ZONA DE SAN QUINTIN, ESTADO YARACUY**

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por la Br. Tovar Heredia Alexandra Maria
Para optar al Título
Ingeniero de Minas

Caracas, noviembre de 2019

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

DISEÑO A NIVEL DE LABORATORIO DE UN CIRCUITO DE BENEFICIO PARA RECUPERACIÓN DE ILMENITA EN ARENAS DE LA ZONA DE SAN QUINTIN, ESTADO YARACUY

Tutora académica: Dra. Katherine Silva.

Co-tutor Académico: Msc. Carlo Di Yorio.

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por la Br. Tovar Heredia Alexandra Maria
Para optar al Título
Ingeniero de Minas

Caracas, octubre de 2019

Caracas, noviembre de 2019

Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de Geología, Minas y Geofísica, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por la Bachiller Alexandra María Tovar Heredia, titulado:

“DISEÑO A NIVEL DE LABORATORIO DE UN CIRCUITO DE BENEFICIO PARA RECUPERACIÓN DE ILMENITA EN ARENAS DE LA ZONA DE SAN QUINTIN, ESTADO YARACUY”

Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudios conducente al Título de Ingeniero de Minas, sin que ello signifique que se hacen solidarios con las ideas expuestas por el autor, lo declaran APROBADO.

Profa. Flor Leiba
Jurado Principal

Profa. Magda Acosta
Jurado Principal

Profa. Katherine Silva
Tutora Académico

DEDICATORIA

A Dios,

A la Virgen,

A mis padres,

A mí misma.

AGRADECIMIENTOS

A Dios,

A la virgen,

A mis padres.

Al Profesor Lenin González por su apoyo en la realización de la caracterización mineralógica y química.

A todos los técnicos del edificio del cilindro por su grandísimo apoyo durante la realización de los ensayos de esta investigación.

Al profesor Marcial Pérez por su ayuda y consejos durante mi estancia en el laboratorio.

A los Profesores Alba Castillo, Aurora Piña, Katherine Silva, Omar Márquez, José Luis Contreras, Spic Limo, Carlos Utches, Sasha Cazal, Franklin Plata, Enzo Caraballo, Ricardo Alezones, Dionisio González, Carlos La maida, Yehimy Camvas, Adonais Alvarez, por sus excelentes clases y enseñanzas durante mi formación universitaria.

A todas las personas que colaboraron directa o indirectamente en mi formación universitaria y especialmente en la realización de este trabajo.

A la Universidad Central de Venezuela, por haberme enseñado a tener paciencia.

Tovar H., Alexandra M.

**DISEÑO A NIVEL DE LABORATORIO DE UN CIRCUITO DE BENEFICIO
PARA RECUPERACION DE ILMENITA EN ARENAS DE SAN QUINTIN,
ESTADO YARACUY**

Tutora Académica: Prof. Katherine Silva

**Tesis. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Geología, Minas y
Geofísica. Departamento de Minas. Año 2019, 114 p.**

PALABRAS CLAVES: Ilmenita, gravimetría, separador magnético, Beneficio mineral

Resumen. El titanio es un metal que está asociado a 2 minerales, rutilo e ilmenita. En Venezuela, específicamente el área de San Quintín, estado Yaracuy está comprendida por 2 unidades geológicas que están asociadas a la ilmenita, en esta zona ha habido interés económico basado en este mineral, sin embargo hay escasas investigaciones referentes al beneficio mineral de la ilmenita de San Quintín. En este trabajo se analizaron y describieron inicialmente 5 muestras provenientes de San Quintín, sin embargo se descartaron 2. Los análisis fueron mediante caracterizaciones químicas y mineralógicas con DRX y FRX, posteriormente se realizó una caracterización física para determinar la granulometría y el tamaño de partícula liberada; y en base a una revisión bibliográfica de los métodos usuales de beneficio, seleccionar un rango de parámetros para la mesa tipo Wilfley y el separador magnético Eriez disponibles en . Laboratorio de Beneficio Mineral de la escuela de Geología, Minas y Geofísica de la Universidad Central de Venezuela, para finalmente en base a ensayos, calcular los índices metalúrgicos de los equipos y obtener el diseño a nivel de laboratorio de un circuito de beneficio para recuperación de ilmenita de la zona de San Quintín, estado Yaracuy; el cual está formado por una concentración primaria de una mesa tipo Wilfley con 8° de inclinación, 15 kilos por hora de alimentación y 15 litros por minuto de caudal; posteriormente el material mixto resultante de la mesa es tratado con un separador magnético con posición de *Splitter* de 70°, velocidad de 172 RPM y 22.8 kilos por hora de alimentación, logrando una recuperación del material concentrado del 96% en la mesa y del 97% en el separador magnético.

INDICE

INDICE DE FIGURAS.....	x
INDICE DE TABLAS Y GRAFICOS.....	xi
INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO I.....	3
GENERALIDADES DE LA INVESTIGACIÓN.....	3
1.1 Planteamiento del problema	3
Objetivos	5
1.2 Objetivo general	5
1.3 Objetivos específicos.....	5
Justificación.....	6
CAPITULO II	7
MARCO TEORICO.....	7
2.1 Antecedentes de la investigación	7
Bases Teóricas.....	10
2.2.1 Ubicación geográfica de la zona de estudio	10
2.2.2 Clima	11
2.2.3 Drenaje	12
2.2.4 Geología Regional	12
2.5 Recursos de mineral	21
2.6 Procesos de concentración de minerales	21
2.7 Evaluación de los procesos de concentración de minerales	27
2.7.1 Balance de masa	28

2.7.2 Clasificación de los índices metalúrgicos	29
2.7.2.1 Índices que relacionan calidad	29
2.7.2.2 Índices que relacionan capacidad	30
2.8 Diseño de circuitos	30
CAPITULO III	33
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	33
3.1 Tipo de investigación	33
3.2 Diseño de investigación.....	33
3.3 Unidad de estudio	33
3.4 Técnica e instrumento de recolección de datos	33
3.5 Método de análisis del sujeto	34
3.6 Técnicas de análisis de datos.....	40
CAPITULO IV	43
RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	43
4.1 Caracterización	43
4.1.2 Análisis Mineralógico	43
4.1.3 Análisis Químico.....	49
4.2 Análisis Granulométrico de las muestras	50
4.3 Analisis de lupa	58
4.4 Ensayos de Separación	60
4.4.1 Separación gravimétrica	60
4.4.2 Ensayos de separación magnética	67
4.5 Análisis Químico post Separación Magnética.....	68
4.6 Calculo de Tenor e Índices Metalúrgicos.....	69
CAPITULO V	74

DISEÑO FINAL	74
Formulación del circuito de beneficio mineral.....	74
Circuito a Nivel de Laboratorio	77
DISEÑO PICTOGRAFICO	78
CAPITULO VI.....	81
CONCLUSIONES	81
RECOMENDACIONES	82
BIBLIOGRAFIA	84
ANEXOS	87

INDICE DE FIGURAS

Figura N° 1 Ubicación geográfica de la zona de estudio	10
Figura N° 2 Formas y relieves de los macizos ígneo-metamórficos y sedimentarios. Imagen de radar.....	11
Figura N° 3 Evaluación del depósito del Complejo de San Quintín.....	21
Figura N° 4 Métodos de Concentración Mineral	22
Figura N° 5 Métodos usuales en la concentración de minerales.....	23
Figura N° 6 Panel mesa concentradora	24
Figura N° 7 Esquema del canal helicoidal de un equipo Espiral	25
Figura N° 8.....	26
Figura N° 9 Intensidad magnética requerida para la separación magnética de diferentes minerales	27
Figura N° 10 Diagrama de separación de planta.....	28
Figura N° 11 Diagrama de proceso para concentración de arenas.	32
Figura N° 12 Vista en planta de mesa tipo Wilfley y comportamiento de partículas. 38	
Figura N° 13 Esquema de separación de Ilmenita por método gravimétrico	39
Figura N° 14 Esquema de separación de ilmenita por método gravimétrico.....	39
Figura N° 15 Diagrama de trabajo	40
Figura N° 16 Fotografías vistas desde el microscopio óptico de las cinco muestras..	59
Figura N° 17 Distribución de material por separación gravimétrica	62
Figura N° 18 Distribución incorrecta de material	63
Figura N° 19 Distribución correcta	64
Figura N° 20. Distribución mineral pesado	65
Figura N° 21 Distribución mineral pesados, mixtos, livianos.	65
Figura N° 22 Material estéril tras separación magnética	67
Figura N° 23 Concentrados de separación magnética	68
Figura N° 24 Diseño conceptual obtenido a nivel de laboratorio	77
Figura N° 25 Diseño pictográfico de circuito de laboratorio.....	78
Figura N° 26 Diseño planta piloto 1 para procesar 40 tn/día.....	79
Figura N° 27 Diseño planta piloto 2 para procesar 40 tn/día.....	80

INDICE DE TABLAS Y GRAFICOS

Tabla 1. Análisis de Fluorescencia de Rayos X de arenas titaníferas de San Quintín, Yaracuy.	49
Tabla 2 Distribución Granulométrica muestra “Sin Nombre”	51
Tabla 3 Distribución Granulométrica muestra “04 Río”	52
Tabla 4. Distribución Granulométrica muestra “05 Río1”	54
Tabla 5. Distribución Granulométrica muestra “08 Río3”	55
Tabla 6. Distribución Granulométrica muestra “07 Río2”	57
Tabla 7 Peso de muestras pre-enayos	60
Tabla 8. Pesos de material liviano, mixto y pesado post-mesa.	66
Tabla 9 Peso de material mixto post separación magnética.....	69
Tabla 10 Fluorescencia de rayos X post separación gravimétrica y magnética.....	69
Tabla 11 Tenores y pesos en mesa tipo Wilfley y Separador magnético.....	70
Tabla 12 Índices metalúrgicos	70
Tabla 13. Resumen de parámetros obtenidos.....	82
Gráfico N° 1. Difractograma y porcentajes de especies minerales “Sin Nombre” ...	44
Gráfico N° 2 Difractograma y porcentajes de especies minerales 04 Río	45
Gráfico N° 3 Difractograma y porcentajes de especies minerales 05 Río1	46
Gráfico N° 4 Difractograma y porcentajes de especies minerales 08 Río3	47
Gráfico N° 5 Difractograma y porcentajes de especies minerales 07 Río2	48
Gráfico N° 6. Distribución granulométrica muestra “Sin nombre”	52
Gráfico N° 7. Distribución granulométrica muestra 04 Río	53
Gráfico N° 8. Distribución granulométrica muestra “05 Río1”	55
Gráfico N° 9. Distribución granulométrica muestra “08 Río3”	56
Gráfico N° 10 Distribución granulométrica muestra “07 Río2”	58
Gráfico N° 11 Razón de concentración.....	72
Gráfico N° 12 Porcentaje de Recuperación	72

Gráfico N° 13 Razón de enriquecimiento 73

INTRODUCCIÓN

El titanio es un metal con diversas aplicaciones y usos en la actualidad, principalmente en las industrias aeroespacial y de pigmentos, también es usado en bienes de consumo marino, médico, petrolero y químico (Bedinger, 2018). Además, este metal es un componente del instrumental quirúrgico. (Habashi, 1997). Este es un metal con unas características particulares; ya que sus aleaciones son de alta resistencia a la corrosión y mecánica, formando compuestos estables, duros y refractarios.

Sin embargo, el titanio no se encuentra libre en la naturaleza, existen en diferentes minerales de titanio, pocos están en concentraciones y abundancia suficiente para ser económicamente rentables. Los minerales de titanio económicamente rentables son la ilmenita (FeOTiO_2), rutilo (TiO_2), anatasa y leucoxeno. Los dos primeros se encuentran generalmente como minerales accesorios de ambientes ígneos y metamórficos, junto con el cuarzo y otros minerales pesados (Sarmiento Santiago, 2011). Los depósitos de ilmenita son más comunes que los de rutilo ya sea por depósitos primarios o secundarios.

En Venezuela una de las zonas ígneo metamórficas donde se puede encontrar minerales de titanio es en el estado Yaracuy, abarcando el Complejo San Quintín y Complejo de Yumare, donde se encuentran rocas metamórficas, rocas ultrabásicas (peridotitas, hornablenditas y piroxenitas), gabros anortosíticos, pegmatitas gabroides y rocas volcánicas. (Bellizia, Rodríguez, & Zambrano, 1970). Específicamente en San Quintín, estado Yaracuy se han realizado evaluaciones de depósitos de ilmenita (Rodríguez, 1986)

La ilmenita tiene una elevada densidad, además es considerado un mineral paramagnético por su respuesta o susceptibilidad a campos magnéticos. Razón por la cual normalmente se emplean métodos gravitacionales y magnéticos para su separación y concentración. Los equipos para generar un concentrado primario

con métodos gravimétricos son espiral de Humphrey o mesas vibratorias concentradoras para separar el material grueso del fino y posteriormente aplicar una separación magnética debido a sus propiedades particulares. (Valderrama, 2008)

Entre los estudios realizados, específicamente en la Universidad Central de Venezuela a partir de mena titanífera para obtener un beneficio de la misma con secuencias operacionales a partir de métodos gravitacionales, electrostáticos, magnéticos y clorinación, se han obtenido resultados donde se recomienda estudiar de forma más minuciosa y analizar los métodos de separación gravimétrica para las arenas de tal manera que se obtenga un mejor concentrado (Chácon, 1990).

En el presente estudio de investigación se planteó caracterizar mineralógicamente y granulométricamente minerales de titanio en arenas de la zona de San Quintín, estado Yaracuy, además de la realización ensayos de concentración gravimétrica y magnética para obtener parámetros intrínsecos el material y operativos a escala de laboratorio, con el objetivo de diseñar de un circuito de beneficio con altos índices de recuperación.

El proyecto se estructura de la siguiente manera: Capítulo I, corresponde a las Generalidades de la Investigación, donde se describe el planteamiento de problema, los objetivos de la investigación y justificación. En el Capítulo II, se encuentran plasmados los antecedentes y las Bases Teóricas que sustentan la investigación. En el Capítulo III, se muestra el Marco Metodológico indicando la metodología de trabajo utilizada para cumplir con los objetivos planteados, este capítulo está conformado por el Tipo y Diseño de la Investigación, Población y muestra, Instrumentos para la recolección de datos y análisis de datos. En el Capítulo IV se desarrollan los resultados y análisis de los ensayos realizados y finalmente Capítulo V muestra el diseño final, para cerrar con el Capítulo VI de conclusiones, recomendaciones y referencias bibliográficas.

CAPITULO I

GENERALIDADES DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 Planteamiento del problema

La ilmenita es uno de los minerales de los cuales se puede obtener titanio, en San Quintín estado Yaracuy en los complejos de San Quintín y Yumare se encuentran depósitos de arena con minerales pesados, donde hay presencia de ilmenita. (Rodríguez, 1986)

A pesar del conocimiento de la presencia de ilmenita en esta zona, existen pocas investigaciones de extracción a nivel nacional y en menor porcentaje propuestas de modelos a escala laboratorio, piloto o industrial en la Universidad Central de Venezuela, para la separación y concentración de las arenas presentes en esta área, por lo tanto, al haber tal déficit en información, es necesario realizar los estudios que permitan proponer uno o varios sistemas de beneficio para la recuperación de ilmenita de San Quintín.

Para obtener el beneficio de las arenas con minerales de titanio de acuerdo a sus características resaltantes, se deben aplicar métodos de separación magnética y concentración gravimétrica, por lo tanto, el conocimiento de los parámetros intrínsecos del material (grado de liberación, fracción de útil por tamiz, entre otros), parámetros operativos de los equipos (dilución, caudal, inclinación), número de etapas (desbaste, limpieza, lavado) aunado con las características litológicas y mineralógicas de la zona de San Quintín es importante, ya que permiten la definición de un circuito de tratamiento adecuado para poder obtener un alto porcentaje de recuperación del material de interés. Además, la secuencia de operaciones y el proceso de beneficio de este mineral deben ser factible tanto técnicamente como sustentable desde el punto de vista ambiental.

Esta investigación se plantea estudiar y describir las características químicas, mineralógicas, físicas de cinco muestras, para posteriormente realizar ensayos con los equipos gravimétricos y magnéticos, y así obtener los índices metalúrgicos y

los parámetros a nivel de laboratorio necesarios en el diseño de un circuito de beneficio de la ilmenita presente en las arenas procedentes de la zona San Quintín, estado Yaracuy.

OBJETIVOS

1.2 Objetivo general

Diseñar a nivel de laboratorio un circuito de beneficio para la recuperación de ilmenita en arenas de la zona de San Quintín, estado Yaracuy.

1.3 Objetivos específicos

- Caracterizar mineralógicamente las arenas mediante el uso de métodos de difracción y fluorescencia de rayos X para la determinación de las asociaciones mineralógicas que las constituyen.
- Determinar características físicas de las arenas para la definición de los parámetros operacionales de los equipos de ensayos de concentración.
- Estimar los porcentajes de recuperación y el grado de concentración de los ensayos de separación para el cálculo de la eficiencia del proceso.
- Formular el circuito de beneficio mineral de arenas con minerales pesado con los más altos valores de eficiencia.

JUSTIFICACIÓN

El siguiente trabajo es de importancia para el campo de la ingeniería de minas en el área de beneficio mineral gracias a que aportara conocimiento teórico y práctico en la definición de un circuito adecuado en un proceso de separación gravimétrica y concentración magnética, ya que en la revisión bibliográfica realizada, se cuenta con antecedentes de investigación limitados con respecto a las arenas titaníferas de San Quintín. Este trabajo tiene un alcance descriptivo, y además las herramientas desarrolladas serán puestas a disposición de la Universidad Central de Venezuela para futuros trabajos en la línea de investigación de beneficio mineral de la Escuela de Geología, Minas y Geofísica de la Facultad de Ingeniería.

En el estado Yaracuy, en los últimos años ha existido interés económico en desarrollo minero de San Quintín, pero no hay reservas certificadas de esta área que permitan estimar el valor económico, por lo cual esta investigación aportaría un beneficio a pequeña escala en caso de realizarse un proyecto minero.

Este trabajo permitió además aplicar la metodología correspondiente a la concentración mineral, en este caso de titanio; en un marco geológico local, presentando a su vez unidades anortosíticas y granulíticas, ya que la geología cambia en función de la ubicación geográfica.

CAPITULO II

MARCO TEORICO

En el siguiente capítulo se reseñan los antecedentes de la investigación que aportan conclusiones relevantes para la realización de este trabajo, además contempla las bases teóricas de la investigación las cuales son necesarias para comprender los procedimientos a aplicar.

2.1 Antecedentes de la investigación

- Ndimande, s et al. (2016) Procesamiento de minerales- concentración gravimétrica- mesa vibratoria. Objetivo: incrementar la porción de material valioso vs estéril, mediante una mesa vibratoria en base a las características físicas del material.

- Sarmiento, P. (2011) Definición y análisis del proceso más ventajoso para la concentración de la ilmenita presente en la arena de la playa ventanilla en el estado de Oaxaca. Objetivo: Conocer si una separación magnética puede ser suficiente para concentrar ilmenita contenida en muestra de arena de dicha playa a un grado comercial.

- Modino et al. (2009) Recuperación de minerales densos como subproducto en la explotación de las terrazas aluviales del rio Miño. Objetivo: la concentración y refinado de minerales densos presentes en las terrazas aluviales cuaternarias del río Miño (nw España) ricas en un material de granulometría fina y elevada densidad caracterizado como arenas negras.

- Martiz, M. (2000) Obtención de pre-concentrados de zircón rutilo e ilmenita por método gravimétrico a partir de las arenas negras de la zona de Boquerones, Distrito cedeño Estado Bolívar. Objetivo: Obtener un pre-

concentrado de ilmenita, zircón y rutilo a partir de arenas negras, realizando tres etapas de concentración para luego aplicar separación en medio denso.

- Bolívar, J (1995) Obtención de pre-concentrado de minerales de titanio a partir de las arenas negras de la zona de Boquerones- Horeda- Gavilanes del distrito Cedeño, Estado Bolívar. Objetivo: Obtener un pre-concentrado de ilmenita, zircón y rutilo a partir de arenas negras, realizando tres etapas de concentración para luego aplicar separación en medio denso.
- Chacón, L (1995) Beneficio y clorinación a lecho fijo de ilmenita proveniente de las arenas negras aluviales venezolanas. Objetivo: Obtener un beneficio mediante una preconcentración gravitacional, para una posterior separación magnética con campo ascendente y así la ilmenita beneficiada someterla a un proceso de clorinación para definir el mejor circuito posible.
- Boada, S. (1990) Obtención de pre-concentrado de minerales pesados de zircón e ilmenita proveniente de depósitos de la zona de Villacoa, Distrito Cedeño, Estado Bolívar, por la tecnología de separación gravimétrica. Objetivo: Exponer la manera de cómo obtener pre-concentrados de zircón, rutilo e ilmenita haciendo mención de los procesos de separación y concentración a que es sometida la mena antes del proceso metalúrgico.
- Pacheco, A. (1976) Ensayos industriales de la mena titanífera de San Quintín, Estado Yaracuy. Objetivo: Determinar la posibilidad de obtener un concentrado limpio de ilmenita a partir de la mena titanífera de San Quintín desarrollando secuencias operacionales con métodos gravitacionales, electrostáticos y magnéticos.

- Mujica, H & Marotta, L. (1968). Estudio de un esquema de separación y concentración de los minerales pesados de las arenas negras de la playa de aguas dulces. Objetivo: Proponer un tratamiento previo del pre-concentrado de espiral de Humphrey en tabla vibratoria húmeda para obtener un concentrado de ilmenita y posteriormente tratamientos electrostáticos y magnéticos sucesivos.

BASES TEÓRICAS

2.2.1 Ubicación geográfica de la zona de estudio

El acceso a la zona de estudio es por una carretera asfaltada al pueblo de Yumare, a partir de ahí existe un camino carretero de 15 Km hacia el norte que llega hasta el área de interés. Se ubica a unos 40Km de San Felipe (Pacheco, 1976). Las coordenadas geográficas de San Quintín son $10^{\circ} 39' 39''$, $-68^{\circ} 41' 52''$. A continuación, se presenta la ubicación de la zona de estudio en la figura 1, y además la figura 2 representa el relieve del cerro San Quintín.

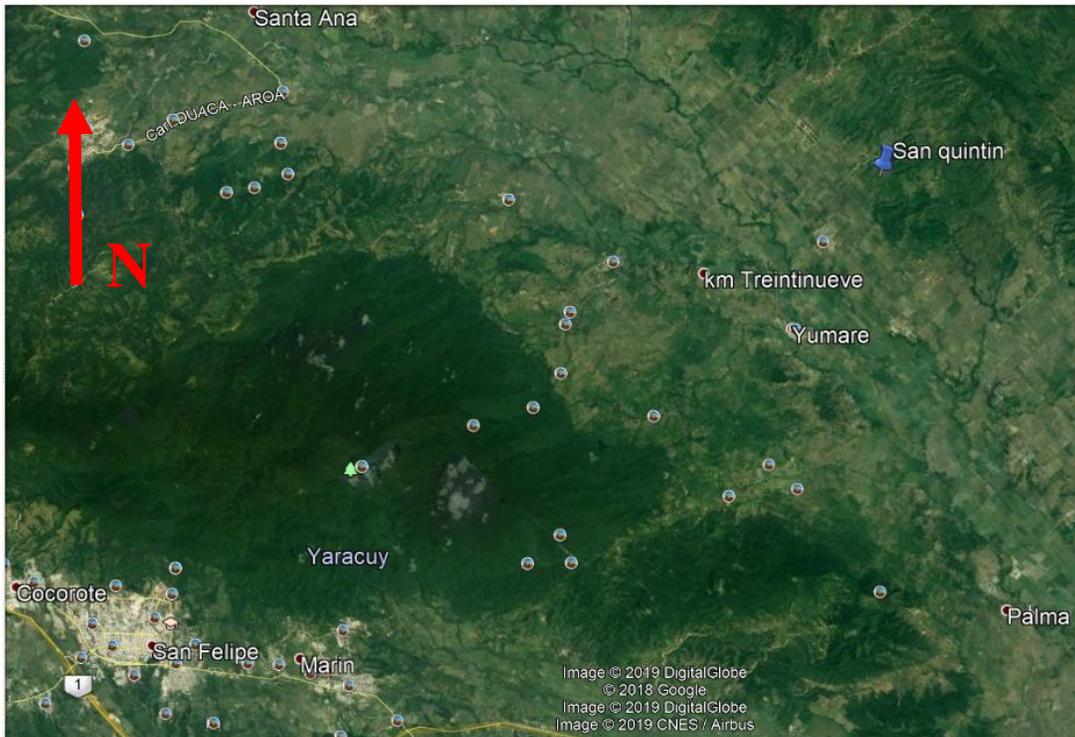


Figura N° 1 Ubicación geográfica de la zona de estudio

Fuente: Modificado de Google Earth

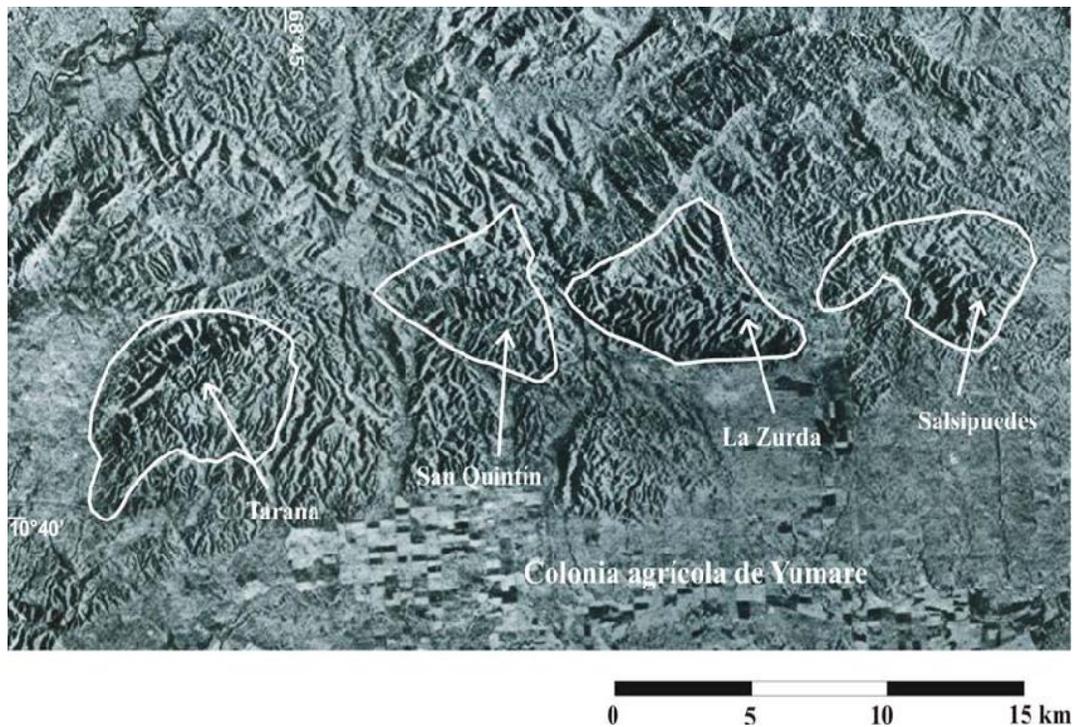


Figura N° 2 Formas y relieves de los macizos ígneo-metamórficos y sedimentarios. Imagen de radar.

Fuente: Lozano, Mussari & Urbani (2008)

2.2.2 Clima

En estas regiones montañosas el clima es del tipo tropical, lluvioso, cálido, de bosques húmedos y sub-húmedos tropófitos, caracterizado por dos estaciones con dos máximos de precipitación anual bien diferenciadas: una lluviosa (1.000-1.400 mm de precipitación anual) y otra de relativa sequía entre febrero, marzo y abril (Bellizzia & Rodríguez 1976). La temperatura varía entre 28° y 17° C. La oscilación media anual es inferior a 5° C y por lo tanto se considera de tipo isotermo-tropical. La humedad relativa es muy alta, pero varía considerablemente de una zona a otra, desde un valor medio mínimo de 67% hasta 84%. (Lozano & Mussari, 2007)

2.2.3 Drenaje

Las quebradas que se originan en el área de colinas y cerros (Tarana, San Quintín, La Zurda y Salsipuedes) desembocan en la cuenca del río Tocuyo y la del río Aroa. La cuenca del río Tocuyo, ocupa un 40% de la zona e incluye todos los drenajes que salen de los mapas hacia el norte y noroeste, la única sub-cuenca reconocida por su importancia es la del río Cararapa, la cual se ubica al oeste del macizo Tarana. Otras subcuencas importantes son las de las quebradas San Quintín, Agua Viva y Yaure en el macizo San Quintín; quebrada Aguacate en La Zurda y las quebradas Chepano y Salsipuedes en el macizo Salsipuedes, la disposición principal de estos drenajes es dendrítica. (Lozano & Mussari, 2007)

2.2.4 Geología Regional

Complejo San Quintín: Cretácico Temprano Estado Yaracuy

Urbani et al. 2015. Descripción estratigráfica de unidades geológicas comprendidas entre Carora y Cabo Codera 3 Consideraciones históricas: Bellizzia et al. (1976:3329) utilizan en nombre de Formación San Quintín para designar una secuencia metavolcánica – metasedimentaria que aflora en el macizo de San Quintín, estado Yaracuy. Lozano & Mussari (2008) afinan la cartografía geológica de la unidad y la estudian petrográficamente, mientras que Grande (2013) mejora la descripción petrográfica. Por la intercalación de roca ígneas y sedimentarias, Urbani et al. (2012) propone un cambio de nombre a Complejo San Quintín. Descripciones adicionales aparecen en Urbani et al. (2012, 2015) y Grande (2013).

Descripción litológica: Según la descripción de los autores originales (Bellizzia et al. 1976, Bellizzia 1986), la unidad comprende un conjunto de rocas volcánicas máficas débilmente metamorfozadas y una secuencia metasedimentaria de metarenisca, metalimolita, filita y escasos afloramientos de metaconglomerado. Los tipos de rocas metavolcánicas presentes son esencialmente metatoba de cristales y lítica, brecha y metalava en menor proporción. La metatoba, dominante

en toda la secuencia volcánica, es densa, de color verde y verde oscuro con colores de meteorización rojizos y violáceos. De acuerdo al tamaño de los fragmentos se clasifican tanto como líticas, de lapilli y de cristales; los fragmentos incluidos son de lava, angulares, verdes o verde oscuros, con variaciones en el grado de cristalinidad. Además, se observan fenocristales de plagioclasa, parcial o totalmente alterada a calcita, sericita y clorita y escasos fenocristales de augita. La abundante matriz, de color verde oscuro, está formada por agregados de microlitos de feldespato, calcita, cristales esqueléticos de piroxeno parcialmente transformados a clorita. La metalava es densa, compacta a débilmente foliada, de color verde, verde oscuro o negro y meteoriza pardo oscuro, a rojizo o lavanda. La presencia de almohadillas es muy restringida. Existen variedades con textura porfídica, pero en general presentan textura intersertal con fenocristales de plagioclasa cálcica, a veces en agregados glomeroporfídicos. En su mayoría están totalmente alteradas a agregados de clorita, epidoto, calcita y pequeñas cantidades de pumpellita, lo que dificulta su identificación. Ocasionalmente ocurren fenocristales anhedrales de augita bastante alterados a clorita, epidoto, clinozoisita y calcita; como accesorios se presentan magnetita, hematita, y titanita. La matriz consta de microlitos de feldespatos frescos, aunque a veces muy alterados, además pequeños cristales de augita, clorita, epidoto, clinozoisita, pumpellita y un material pseudoisotrópico de aspecto vítreo, y como accesorios magnetita, hematita y leucóxeno. Las rocas metasedimentarias de esta unidad son esencialmente metarenisca de grano fino y color verde claro, blanco o crema, macizas o débilmente foliadas. Se componen de cuarzo en granos bien redondeados y cantidades menores de plagioclasa alterada y mica; la matriz está compuesta de sericita, clorita y cuarzo. Además de la metarenisca se mencionan escasos niveles de metaconglomerado de color gris oscuro formados por cuarzo y fragmentos de filita, metalimolita y cuarcita en una matriz arcillosa - micácea, ligeramente orientada. Las rocas restantes son metalimolita y filita verde claro, rojiza en superficies meteorizadas. Según Lozano & Mussari (2008) los principales tipos de roca volcánicas máficas (lava, toba, brecha volcánica) y rocas psamíticas,

con metamorfismo de bajo grado, se presentan ligeramente foliadas. Tanto la lava como la brecha volcánica tienen color fresco azulado a violáceo. La metatoba tiene un color fresco gris oscuro y en ocasiones la brecha es masiva y está intercalada con la lava. Las rocas volcánicas son de composición basáltica, con plagioclasa tipo labradorita, usualmente con distintos grados de sericitización. El clinopiroxeno está total o parcialmente alterado a clorita. Hay cantidades menores de minerales secundarios y de alteración, hematita, calcita, leucoxeno y cuarzo en vetillas. Las rocas sedimentarias son mayoritariamente areniscas de grano fino a medio, con un color gris claro. Algunas rocas presentan un moderado plegamiento. La petrografía detallada -muestra por muestra- puede consultarse en Lozano & Mussari (2008) y su reevaluación en Grande (2013).

Metamorfismo: La unidad alcanzó la facies del esquisto verde (clorita) (Bellizzia et al. 1976, Lozano & Mussari 2008, Grande 2013).

Localidad tipo: Definida en la mitad sur del cerro San Quintín, a unos 10 km al norte de Yumare, estado Yaracuy. Hoja 6447, escala 1:100.000, Cartografía Nacional.

Espesor: No se ha indicado.

Extensión geográfica: Aflora en un solo cuerpo de dirección este-oeste de unos 5 km de longitud, por unos 1,5 km de ancho, en la mitad sur del cerro San Quintín (Bellizzia et al. 1976, Lozano & Mussari 2008). La unidad aparece cartografiada en la hoja geológica 6448 a escala 1:100.000 de Gómez & Urbani (2013).

Contactos: En contacto tectónico con el Complejo San Quintín, se encuentra el Metagabro de La Zurda, una unidad también de metamorfismo de bajo grado metamórfico (facies de esquisto verde - clorita), y ambas a su vez yuxtapuestas tectónicamente con las rocas de facies de la granulita del Complejo Yumare (Lozano & Mussari 2008, Urbani et al. 2012, Grande 2013a).

Fósiles: No se han reportado.

Edad: Bellizzia et al. (1976) interpretan una edad Cretácica con base a su presunta

posición estratigráfica entre el Esquisto de Aroa (Jurásico - Cretácico) Urbani et al. 2015. Descripción estratigráfica de unidades geológicas comprendidas entre Carora y Cabo Codera 4 Formación Cerro Misión (Eoceno), además por su relación cercana con el Complejo Yumare señalan que no debe descartarse que la edad sea pre-Mesozoico. Dado que los contactos de la unidad son de falla, las inferencias con base a "posiciones estratigráficas" no son adecuadas. Pero si bien no se dispone de información geocronológica específica para la unidad, a título provisional se prefiere mantener la edad Cretácico Temprano, como fuera sugerido por Bellizzia et al. (1976) y Stephan (1982) con base a su presunta semejanza con algunas unidades volcano-sedimentarias de la faja Caucagua-El Tinaco, y su metamorfismo de bajo grado (clorita).

Correlación: Bellizzia et al. (1976), Bellizzia (1986) y Stephan (1982) realizan comparaciones litológicas entre San Quintín y otras unidades de la Cordillera de la Costa, como la Filita de Las Placitas de la faja Caucagua-El Tinaco. Sin embargo, con el nivel actual del conocimiento estas correlaciones deben tomarse con mucha reserva.

Origen y ambiente: Bellizzia et al. (1976) y Bellizzia (1986) interpretan a esta unidad como una cobertura sedimentaria del Complejo Yumare. Pero los estudios recientes de Lozano & Mussari (2008) distinguen los contactos como tectónicos, por lo cual esta interpretación no parece adecuada. No existen estudios geocronológicos, ni geoquímicos específicos, que permitan conocer la edad, ni inferir los ambientes tectónicos de la cristalización de las rocas volcánicas. Pero por la presencia de lavas, piroclásticas, epiclásticas, sedimentarias, probablemente la unidad represente una cuenca volcánica-sedimentaria asociada al arco del Caribe. Mientras que el cercano Metagabro de La Zurda representaría las raíces plutónicas del arco. Pertenece a: Terreno San Quintín (URBANI 2013)

Complejo Yumare: Neoproterozoico Estados Yaracuy y Falcón

Consideraciones históricas: Bellizzia et al. (1976) utilizan el nombre de Complejo Yumare para describir un conjunto de rocas metamórficas de alto grado, bien

expuestas en el macizo de San Quintín y cerros adyacentes, estado Yaracuy. La ubicación de rocas metamórficas en los cerros del norte de Yumare, aparece publicada por primera vez en el mapa geológico de Liddle (1928), luego fueron reconocidos por Kugler (1949), pero son Natera (1957), Bellizzia & Rodríguez (1966) y Bellizzia et al. (1976) quienes los cartografían. Bellizzia et al. (1976) a referirse a la campaña de cartografía geológica del estado Yaracuy, señala que “uno de los hechos más resaltantes de esta investigación es el descubrimiento de un complejo de rocas de alto metamorfismo constituido por anortosita, granulita, gneis y anfibolita”. En el año 2006 el grupo de trabajo UCV-FUNVISIS, inicia un nuevo levantamiento geológico a escala 1:25.000, de los cerros de Tarana, San Quintín, La Zurda y Sal si puedes, con estudios petrográficos. El trabajo es publicado por Lozano & Mussari (2008), con una actualización petrográfica posterior por Grande (2013). La mayor dificultad encontrada en el campo fue la alta meteorización y la escasez de afloramientos, a excepción de unas pocas quebradas, de manera que usualmente no se observan bien los contactos entre los distintos tipos de rocas (Urbani et al. 2008). Un estudio actualizado del Complejo es presentado por Urbani et al. (2012, 2015)

Localidad tipo: No está expresamente indicada por los autores originales, pero éstos señalan que hay buenos afloramientos en los cerros de San Quintín y La Zurda, todos ellos ubicados a unos 10 km al norte de la población de Yumare, de donde toma su nombre. Estado Yaracuy. Hoja 6447, Aroa, Dirección de Cartografía Nacional.

Descripción litológica: Bellizzia et al. (1976) indican que los cerros del norte de Yumare son bloques fallados-exhumados, donde rocas del basamento pre-Mesozoico se han puesto en contacto con rocas de diferente petrogénesis. Señalan que la unidad está constituida por rocas gnéicas semejantes a las del Complejo Yaritagua, así como anortosita, granulita, anfibolita y piroxenita. Utilizando los trabajos de Lozano & Mussari (2008) y Grande (2013), se conoce que el Complejo contiene charnockitas máficas (enderbita), intermedias (mangerita) y félsicas

(charnockita s.s.), que junto con la anortosita y el granofiro, integran la asociación ígnea anortosita-mangerita-charnockita-granito (AMCG). La descripción de cada cerro sigue en forma separada (Urbani et al. 2015):

- San Quintín: En la mitad septentrional del cerro aflora el Complejo Yumare, integrado casi totalmente por rocas anortosíticas, habiéndose hallado una sola muestra de ortopiroxenita; ambos tipos de rocas tienen evidencias de textura de acumulado. Las rocas presentan distintos grados de cizallamiento, pudiendo en algunos casos encontrarse verdaderos gneises anortosíticos, con un alto grado de estiramiento de los granos y estructuras fláser. Debido a la intensa meteorización, muchas veces las únicas rocas frescas que se pudieron coleccionar corresponden a bloques sueltos, remanentes de la meteorización pero de ubicación original muy cercana y sin afloramientos visibles. En una localidad se observa un dique de basalto toleítico que intruye la anortosita. Urbani et al. 2015. Descripción estratigráfica de unidades geológicas comprendidas entre Carora y Cabo Codera
- 5 - La Zurda: Aquí afloran rocas charnockíticas con una composición mineralógica muy variable, de manera que en el triángulo APQ caen en los campos de cuarzo-gabro, gabro, cuarzo-monzonita y cuarzo-sienita. Se encontraron unas pocas muestras de anortosita. También aflora granofiro, que es un tipo de roca muy conspicuo con grandes cristales de cuarzo de color gris azulado. Anortosita: Aflora en la mitad septentrional del cerro San Quintín, y algunas pocas muestras se observaron en La Zurda. Estas últimas son similares a las de San Quintín, excepto por ser mucho menos ricas en minerales máficos y en ellas se observa mejor la textura de acumulado. Este tipo litológico se encuentra muy meteorizado, tiene un color fresco blanco a crema, en ocasiones, posee pequeños lentecitos verdes, el color de meteorización es marrón oscuro a ocre blancuzco. Su tamaño de grano promedio es de 1-2 cm y en algunos sectores presenta aspecto gnéisico debido a textura milonítica o blastomilonítica. En afloramiento se puede apreciar plagioclasa, piroxeno o anfíbol, segregaciones primarias de ilmenita y vetas de cuarzo. Rocas charnockíticas: Afloran en el cerro La Zurda y pueden agruparse en tres grandes

categorías: Las charnockitas máficas o enderbita (cuarzo-gabro y gabrocharnockítico), intermedias o mangerita (cuarzo-monzonita charnockítica) y félsicas o charnockita (cuarzo-sienita charnockítica). El mineral indicativo de su carácter charnockítico, el hipersteno, se ha preservado sólo ocasionalmente, estando casi siempre oxidado y pseudomorfizado por hematita (Grande 2013). Son frecuentes en estas rocas las texturas mesopertíticas y antipertíticas. En el campo las charnockitas fueron clasificadas como gabro. Granofiro: Se presenta intercalado con las rocas charnockíticas en el cerro La Zurda. En muestras de mano se observa un tamaño de grano de 1-3 cm y exhibe una característica textura gráfica. Se distingue el feldespato alcalino de color blanco crema, el cuarzo azulado y algunos minerales máficos oxidados.

Metamorfismo: Según Grande (2013) las rocas exhiben minerales remanentes de un metamorfismo de alta temperatura, como clino y ortopiroxeno, que se han preservado muy localmente y en escasa cantidad. Existen algunas texturas de alta temperatura, como antipertítica y mesopertítica, así como zircones redondeados con morfología de pelota de fútbol. Las charnockitas de Yumare tienen tanto orto- como clinopiroxenos producidos en un ambiente anhidro de altas temperaturas de la base de la corteza continental cuando ésta, probablemente debido a la laminación litosférica entró en contacto directo con la astenósfera (Grande 2013a). Hay cambios retrógrados, pero es difícil discernir si son debidos a la super imposición de un metamorfismo regional de bajo grado durante el Mesozoico tardío -Paleógeno sobre la mineralogía original, o si es más bien debida a alteración hidrotermal favorecida por el fallamiento que ha afectado estas rocas a lo largo de su historia. Consideramos que esta última hipótesis es la preferencial debido al hecho que las rocas atestiguan un alto grado de cataclasis, pero carecen de estructuras penetrativas. Los minerales de baja temperatura sustituyen a los piroxenos originales, a veces completamente, pero no dan indicios de un nuevo evento metamórfico de bajo grado, ni del desarrollo de una foliación.

Extensión geográfica: La distribución del Complejo se restringe a los macizos de

San Quintín y La Zurda al norte de poblado de Yumare, en el flanco Sur de la serranía El Charal - Cerro Misión - Agua Linda (Bellizzia & Rodríguez 1966). Según los autores originales, el Complejo también se extendía al cerro Salsipuedes, que hoy día se cartografía como Complejo San Julián (Grande 2013, Urbani et al. 2015). La región de Yumare constituye el extremo más septentrional de las rocas ígneo-metamórficas de la Cordillera de la Costa. La unidad aparece cartografiada en la hoja geológica 6448 a escala 1:100.000 de Gómez & Urbani (2013) y Urbani (2014).

Contactos: El Complejo Yumare está en contacto de falla con el Complejo San Quintín, la "Formación La Luna" y el Metagabro de La Zurda, y está cubierto inconformemente por las formaciones Capadare y Casupal.

Edad: Por la presencia de granulita y anortosita ilmenítica, los autores del nombre consideraron a estas rocas como remanentes de un bloque fallado del Escudo de Guayana, por lo tanto, interpretaron acertadamente una edad Precámbrica. Urbani et al. (2013) obtienen la edad de una muestra de gabro-cuarcífero charnockítico colectado en el cerro La Zurda. Por el método de U-Pb encristales de zircón y analizados por LA-ICP-MA obtienen un intervalo de edades de 1.150-873 Ma donde no es posible obtener una edad concordia, pero utilizando el algoritmo "Zircon-tuff" se obtiene una edad de 919 \pm 5/-8Ma (Neoproterozoico) que puede interpretarse como la mejor aproximación para la edad de la cristalización de la roca.

Correlación: Beck (1985, 1986) lo incluye en su Napa de Caucahua – El Tinaco, mientras que Bellizzia (1986) lo incluye en su Napa Caucahua – El Tinaco – Siquisique –Yumare. Según Urbani (2013) este complejo es la única unidad constituyente de su Terreno Yumare, y considera que, por sus características únicas, debe ser separado a los demás terrenos de la Serranía del Interior de la Cordillera de la Costa, con los cuales se ha correlacionado, pero no hay ninguna semejanza litológica. Urbani et al. 2015. Descripción estratigráfica de unidades geológicas comprendidas entre Carora y Cabo Codera 6 Bellizzia et al. (1976)

indican que el Complejo contiene rocas gnéissicas semejantes a las de Yaritagua. Esta correlación es acertada, pero solo referida al cerro Sal si puedes que hoy día se cartografía como Complejo San Julián, efectivamente con muchas semejanzas a las rocas del Complejo Yaritagua y ambos incluidos en el Terreno Ávila.

Origen y ambiente: Bellizzia (1986) interpreta que Yumare como un fragmento cortical profundo de edad Precámbrica, lo cual se ha confirmado con la edad obtenida recientemente. Las rocas de este Complejo con su anortosita rica en óxidos de Fe-Ti, incluyen todos los elementos de una asociación plutónica de anortosita –mangerita – charnockita - granito (AMCG) pero desmembrada. Es post-orogénica en unos 70 Ma más joven que el pico de la orogénesis Putumayo. Las asociaciones AMCG en el noroccidente de Noruega empalman con Yumare al reconstruir Rodinia, como la de Rogaland, que tiene una edad de 920 Ma, contemporánea con Yumare.

Importancia económica: En el cerro San Quintín se ha reportado la presencia de anortosita con ilmenita. Rodríguez (1978) y Rodríguez & Añez (1978) luego de realizar estudios y perforaciones consideran el depósito como de interés comercial para titanio, si bien nunca llegó a ser explotado.

2.5 Recursos de mineral

Para la evaluación del depósito, el complejo de San Quintín fue dividido en 30 bloques con las características de la Figura 3. (Rodríguez, 1986)

Evaluación del depósito del Complejo de San Quintín			
Bloque	Volumen (m ³)	Tonelaje total Roca mineralizada	Tonelaje total Mineral titanífero
B I	192.596	580.061	25.988
B II	517.691	1.535.158	146.150
B III	986.590	3.209.635	295.678
B IV	789.566	2.788.948	254.720
B V	2.411.712	9.690.279	1.766.667
B VI	489.547	1.487.322	274.626
B VII	678.315	2.077.333	308.659
B VIII	1.988.674	6.765.384	825.117
B IX	1.124.677	3.864.345	549.873
B X	329.759	1.020.986	159.034
B XI	690.654	2.664.115	512.080
B XII	767.258	3.061.236	630.846
B XIII	1.287.136	4.151.016	511.934
B XIV	586.501	2.005.280	49.303
B XV	470.911	1.448.616	149.600
B XVI	438.523	1.520.793	111.760
B XVII	473.251	1.476.538	29.763
B XVIII	615.408	1.899.524	43.983
B XIX	1.093.648	3.553.846	183.589
B XX	966.488	3.900.119	593.581
B XXI	594.715	1.896.384	192.677
B XXII	2.415.657	7.587.527	939.955
B XXIII	1.296.256	4.003.830	346.315
B XXIV	1.150.204	3.907.494	381.731
B XXV	799.632	2.471.170	352.370
B XXVI	1.098.597	3.723.675	114.030
B XXVII	976.875	3.107.987	78.462
B XXVIII	819.252	2.529.739	206.904
B XXIX	615.375	2.007.112	188.079
B XXX	1.159.321	3.572.169	52.499
	Volumen total m ³	Tonelaje total Roca mineralizada Evaluada:	Tonelaje total Mineral Titanífero Evaluado:
	27.860.789	93.507.621	10.275.945

Figura N° 3 Evaluación del depósito del Complejo de San Quintín

Fuente: Rodríguez (1986)

2.6 Procesos de concentración de minerales

La concentración de minerales es una operación en la cual se eleva el tenor o concentración (en porcentaje) de una mena o mineral determinado, mediante el uso de equipos de separación; produciéndose así la segregación de dos o más especies mineralógicas y generar una corriente enriquecida de un mineral de interés. (Bustamante, Gaviria & Restrepo, 2008)

El objetivo fundamental de la concentración, es elevar el tenor de una especie mineralógica denominada concentrado, y se tiene como segundo resultado otra especie mineral llamadas colas que disminuye substancialmente el tenor de la

especie mineral de interés. En la figura 4 se aprecian los distintos métodos de concentración mineral.

Nombre del Método	Propiedades que emplea para separar	Principales aparatos
Concentración Gravitacional	Diferencia de velocidad de sedimentación de los minerales	Sedimentador, Hidrociclón, Jig, Canalón Canaletas, Mesa Vibratoria, Espiral, Conos de Separación Centrífugas, entre otros
Concentración Magnética	Susceptibilidad magnética (atracción o no frente a una Magneto u imán)	Separador magnético de tambor, rodillos magnéticos, separador magnético tipo "carrusel", etc.
Concentración eléctrica	Conductividad eléctrica	Separador eléctrico de alta intensidad
Flotación espumante	Hidrofobicidad y/o hidrofiliidad del mineral (mojamiento o no)	Celdas de flotación y columnas de flotación
Floculación selectiva	Adsorción específica de un polímero y formación de flóculo	Sedimentador
Coagulación selectiva	Adsorción específica de iones inorgánicos y formación de una coágulo	Sedimentador

Figura N° 4 Métodos de Concentración Mineral

Fuente: Bustamante, Gaviria & Restrepo (2008)

Para realizar la separación se emplean dos métodos:

- Métodos que emplean diferentes propiedades físicas o volumétricas de las sustancias minerales.
- Métodos que usan propiedades físico-químicas de superficie.

En esta investigación se utilizó la concentración gravitacional y la concentración magnética basándose en la bibliografía consultada de los métodos usuales para la concentración de minerales de titanio como se muestra en la figura 5. Sin embargo, no se aplicó concentración electrostática, ya que el Laboratorio de Beneficio Mineral no cuenta con dicho equipo. A continuación, se explicarán los métodos y equipos que se utilizarán pertenecientes de los métodos usuales.

Mena o mineral	Gravimetr a			Flotacion		Separacion magnetica		Separacion Electrostatica	Otras
	Medios densos	Cribas	Mesa y canales	Directa	Selectiva	Seco	Humedo		
Carbon									
Cobre									
Diamantes									Adherencia
Espato-Fluor									
Estano									
Feldespatos									
Fosfatos									Aglomeracion
Hierro									
Magnesita									Aglomeracion
Manganeso									
Oro									Cianuracion
Plomo									
Talco									
Titanio									
Tungteno									
Zinc									

Figura N° 5 Métodos usuales en la concentración de minerales.

Fuente: Modificado de Pelaez (1981)

Concentración gravimétrica: Es la separación de metales o minerales con diferente densidad a partir que se esparcen por toda la superficie dependiendo el grado de inclinación con ayuda de la fuerza de la gravedad y el flujo de agua. En la concentración gravitacional están los métodos que dependen de la diferencia de empuje de dos partículas en medio de fluido de densidad intermedia y métodos que dependen de la inercia generada tanto por densidad como por el tamaño que dependen de:

- Tamaño
- Densidad
- Viscosidad
- Forma de partícula

Mesa concentradora: Equipo que ayuda a separar las partículas o arenas que tienen más valor con las que no lo tiene. El mecanismo de esta mesa funciona mediante un movimiento longitudinal, a lo largo del eje axial, cuando el agua fluye en la dirección del eje más corto. En la figura 6 se aprecia el panel en vista

de planta de una mesa concentradora y la distribución de partículas de la misma. La efectividad de estas mesas depende de la homogeneidad del material de alimentación y de la densidad de pulpa, ya que cualquier fluctuación altera las condiciones de transporte del agua hacia fuera de la corriente (Aguilar Asanza & Corella Merizalde, 2016).

La capacidad de la mesa depende de la frecuencia, inclinación, cantidad de agua, características de la mena, densidades de las partículas útiles y de los estériles, forma de las partículas, granulometría de la alimentación. La capacidad varía de 5 ton/día (materiales finos) hasta aproximadamente 50 ton/día (materiales gruesos). El consumo de potencia medio por mesa es de 0,6 HP. (Pavez)

El límite superior del tamaño de partículas minerales tratadas en las mesas vibratorias es de aproximadamente 2 a 3 mm (para carbón puede llegar hasta 15 mm), mientras que el tamaño mínimo de las partículas que se pueden concentrar en estos equipamientos es del orden de 75 micrones. Es necesario señalar que el tamaño mínimo de los materiales que se pueden tratar en una mesa es función del volumen de agua y del movimiento de la mesa, siendo esencial que las partículas sedimenten para que puedan ser recogidas en el concentrado. (Pavez)

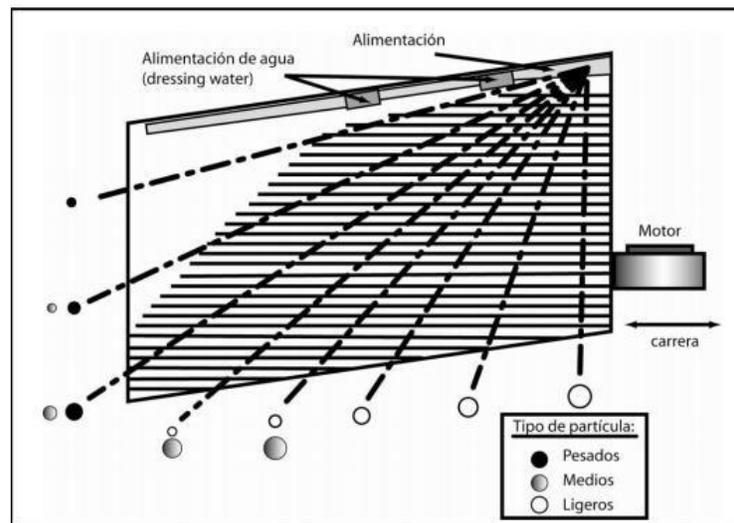


Figura N° 6 Panel mesa concentradora

Fuente: Aguilar & Corella (2016)

Espiral: La espiral consiste de un canal helicoidal cilíndrico con sección transversal semicircular modificada. En la parte superior existe una caja destinada a recibir la alimentación en forma de pulpa. En la figura 7 se presenta una representación del espiral. A medida que ella se escurre, las partículas más pesadas se encuentran en una faja a lo largo del lado interno del flujo de la pulpa y son removidas por aberturas localizadas en la parte más baja de su sección transversal. En las espirales Humphrey existen dos aberturas para cada vuelta de la espiral. Estas aberturas están provistas de un dispositivo que permite guiar los minerales pesados para obtener la separación deseada; a través de una regulación conveniente. Cada abertura es conectada a un tubo colector central, a través de mangueras de tal forma que se juntan: los materiales recogidos en las diferentes aberturas en un único producto. En el extremo inferior del canal existe una caja destinada a recoger los minerales livianos que no son recogidos por las aberturas. (Vilcapoma & Chavez, 2012)

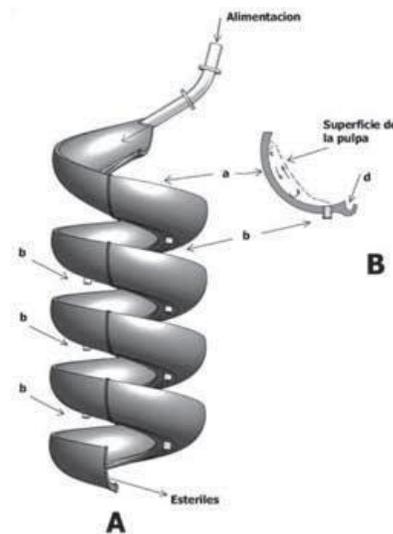


Figura N° 7 Esquema del canal helicoidal de un equipo Espiral

Fuente: Orregu, Mahu, Vega & Molina (2017)

Separación magnética:

Los materiales se clasifican en dos amplios grupos, según los atraiga o los repela un magneto: paramagnéticos y diamagnéticos. Los diamagnéticos se repelen a lo largo de las líneas de fuerza magnética, hasta el punto donde la intensidad de campo ya es muy leve. Las sustancias diamagnéticas no se pueden concentrar magnéticamente. Los paramagnéticos son atraídos a lo largo de las líneas de fuerza magnética hasta los puntos de mayor intensidad del campo. (Pavez)

Los materiales paramagnéticos se pueden concentrar en los separadores magnéticos de alta intensidad, en la figura 8 se aprecia el funcionamiento de un separador magnético de rodillo de tierras raras. Ejemplo de minerales paramagnéticos que se separan en los separadores magnéticos comerciales: ilmenita, rutilo, wolframita, monacita, siderita, pirrotita, cromita, hematita y los minerales de manganeso. Algunos elementos son paramagnéticos en sí mismo, tales como, Ni, Co, Mn, Cr, Ce, Ti y los minerales del grupo del platino, pero en la mayoría de los casos las propiedades paramagnéticas de los minerales se deben a la presencia de hierro en alguna forma ferromagnética. (Pavez)

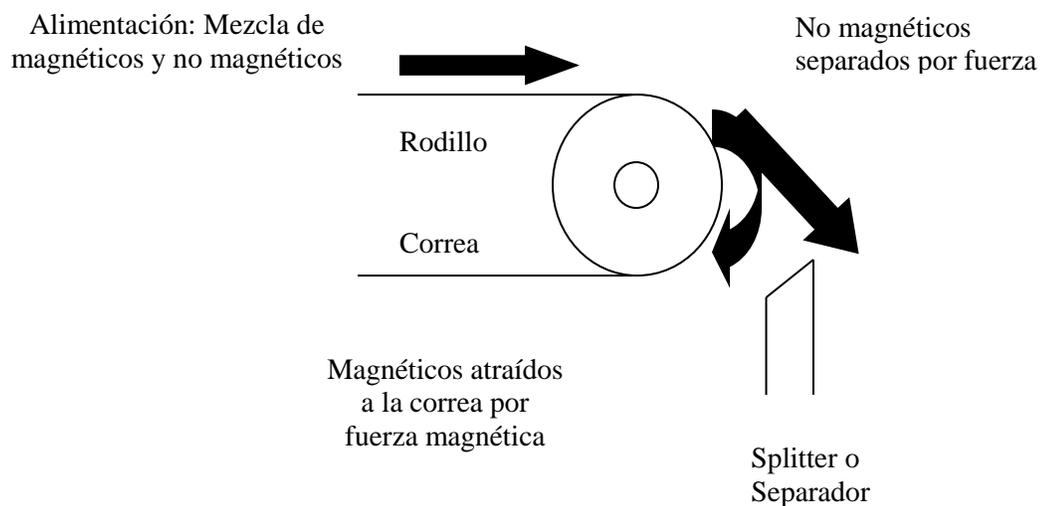


Figura N° 8

La Separación que depende de las propiedades magnéticas. Los separadores magnéticos de baja intensidad se usan para concentrar minerales ferromagnéticos, mientras que los separadores magnéticos de alta intensidad se usan para separar minerales paramagnéticos de su ganga. La separación magnética es un proceso importante en el beneficio de menas de hierro, pero también encuentra aplicación en el tratamiento de minerales no ferrosos. Encuentra considerable aplicación en el procesamiento de minerales no metálicos tales como los que se encuentran en depósitos de arena en las playas. (Cortez & Guillen, 2010)

La figura 9 muestra los rangos de la intensidad magnética requerida en Gauss de algunos minerales, concordando así con la información de la figura 5 donde se especifica que el titanio se puede concentrar mediante métodos magnéticos.

Intensidad magnética requerida para la separación	Mineral
500 – 5.000	Fuertemente magnéticos Magnetita, franklinita, leucita, sílice, pirrotita
5.000 – 10.000	Moderadamente magnéticos Ilmenita, biotita, granate, wolframita
10.000 – 18.000	Débilmente magnéticos Hematita, columbita, limonita, pirolusita, rodocrosita, siderita, manganita
18.000 – 23.000	Pobrementemente magnéticos Rutilo, rodonita, dolomita, tantalita, cerusita, epidota, monacita, fergusonita, zircón, cerargirita, argentita, piritita, esfalerita, molibdenita, bornita, wilemita, tetraedrita, scheelita

Figura N° 9 Intensidad magnética requerida para la separación magnética de diferentes minerales

Fuente: Modificado de Pavez

2.7 Evaluación de los procesos de concentración de minerales

Para precisar la calidad de concentración efectuada en una o varias etapas se

utilizan diferentes índices metalúrgicos que son números adimensionales. Proporcionan información para el dimensionamiento de equipos o plantas de concentración.

Para la determinación de los índices es necesario apoyarse en un balance de masa durante el proceso de separación. (Bustamante, Gaviria, & Restrepo, 2008)

2.7.1 Balance de masa

Puede definirse como una contabilidad de entradas y salidas de masa en un proceso o de una parte de éste. No es más que la aplicación de la ley de conservación de la masa que expresa “La masa no se crea ni se destruye”. (Deiana, Granados, & Sardella, 2018)

Según el balance de masas se basa en los puntos en los que se dividen y se combinan las corrientes, basándose en el principio de la conservación de la masa (Kelly & Spottiswood, 1990), lo que lleva a la siguiente ecuación:

$$\text{Entrada}=\text{Salida}$$

Ecuación 1

Para la realización de un balance de masas se debe realizar una elaboración clara de un diagrama del régimen de flujo de trabajo. A continuación se representa un ejemplo en la figura 10.

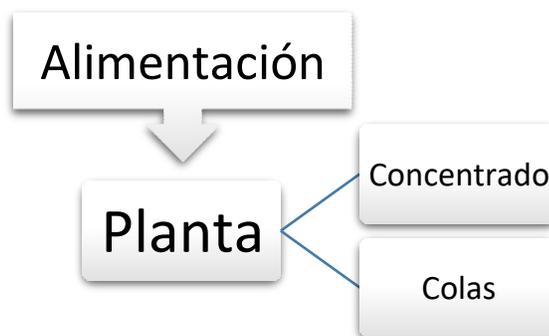


Figura N° 10 Diagrama de separación de planta

Fuente: Pelaez

2.7.2 Clasificación de los índices metalúrgicos

Los índices metalúrgicos se pueden dividir en dos; índices que relacionan la calidad de la concentración y los índices que relacionan la capacidad del circuito de concentración.

2.7.2.1 Índices que relacionan calidad

Recuperación (R): Relación entre peso de mineral de interés en concentrado y peso de mineral de interés en alimento. Donde C representa concentrado, A representa alimentación y T es Tenor

$$R = \frac{C * TC}{A * Ta}$$

Ecuación 2

Razón de enriquecimiento (Re): Relación entre el tenor de mineral útil en el concentrado respecto al tenor del mismo mineral en la alimentación. Donde Tc representa el tenor del concentrado y Ta, tenor de alimentación.

$$Re = \frac{Tc}{Ta}$$

Ecuación 3

Índice de selectividad (I.S): Compara la calidad de la separación de 2 especies (A) y (B) que se desean separar en el proceso de concentración. Ta representa tenor en la alimentación respectivamente para A y B y Tt son los tenores en las colas.

$$I. S = \frac{Ta(A) * Tt(B)}{Ta(B) * Tt(A)}$$

Ecuación 4

2.7.2.2 Índices que relacionan capacidad

Razón de concentración (RC): Relación entre flujo másico en el concentrado respecto al flujo másico de sólidos en la alimentación. Da información de capacidad, no de calidad.

$$RC = \frac{A}{C}$$

Ecuación 5

Rendimiento de concentración (V): Relación entre flujo másico en el concentrado respecto al flujo másico de sólidos en la alimentación.

$$V = \frac{C}{A}$$

Ecuación 6

Eficiencia de la separación (E): Combina la información de las 2 anteriores.

$$E = \frac{R - V}{1 - V_{Ideal}}$$

Ecuación 7

2.8 Diseño de circuitos

El método de beneficio que se debe seleccionar para una concentración particular depende de la naturaleza del mineral de interés y las propiedades de los minerales que han de separarse de este. La eficiencia del proceso de beneficio depende de:

- Complejidad de la mena
- Grado de liberación de las partículas del material de interés
- La diferencia en las propiedades de sus componentes
- El precio de venta del concentrado

Para poder efectuar una separación del útil y la ganga es necesario realizar un circuito de tratamiento de mineral. El diseño del circuito consiste en un conjunto de aparatos

colocados de manera que el genero vaya pasando sucesivamente por ellos en un orden determinado, siguiendo diferentes caminos para obtener uno o varios productos utilizables y un rechazo final.

Lo primero que se requiere es romper las uniones de los componentes de la mena para dejar libre la ganga del mineral, esta operación es la fragmentación.

Para realizar la separación se hace en 2 pasos sucesivos que son la clasificación y la concentración. Mediante la clasificación se separan las partículas de acuerdo con su tamaño y en la concentración se divide el género en tres clases, rico, mixto y estéril. Los ricos y estériles son productos definitivos, mientras que los mixtos son devueltos a los procesos o pueden ser enriquecidos en otra etapa de tratamiento. (Bustamante, Gaviria, & Restrepo, 2008)

Existe la necesidad de realizar ensayos de laboratorio con los equipos disponibles para conocer la respuesta del material en práctica ante los mismos, y así poder extrapolar o escalar el diseño de circuito en base a una necesidad de procesamiento de mineral diario. En este trabajo se realizó una clasificación primaria a un corte de tamiz 40 ASTM, posteriormente se hizo una concentración gravimétrica en mesa tipo Wilfley, donde se obtuvo un rico o pesado, mixto y estéril o liviano; seguidamente el mixto fue tratado con el separador magnético debido a las características de las muestras; concordando así con los procesos descritos en el párrafo anterior de Bustamante, Gaviria & Restrepo.

En sí, el concentrado se obtiene mediante 2 etapas, desbaste, donde se trata de eliminar la mayor cantidad de ganga y limpieza, para así elevar la ley del mismo. La figura 11 representa un circuito de concentración gravimétrica de mineral metálico, utilizando mesas vibratorias.

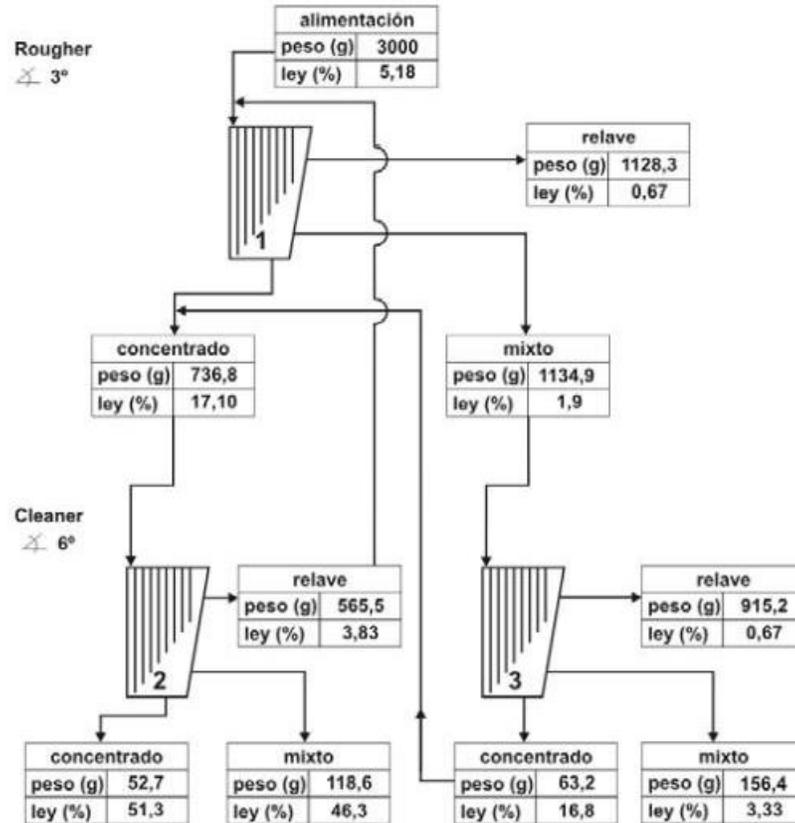


Figura N° 11 Diagrama de proceso para concentración de arenas.

Fuente: Valderrama, 2008

CAPITULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 Tipo de investigación

El tipo de investigación es descriptiva, de acuerdo con (Hurtado, 2010) donde es el diagnóstico inicial y consiste en la descripción de las características del objeto de estudio.

3.2 Diseño de investigación

El diseño de investigación constituye un plan general para obtener respuestas a interrogantes o comprobar la hipótesis de investigación y desglosar las estrategias básicas que el investigador adopta para generar información exacta e interpretable.

De acuerdo a los parámetros que se toman en cuenta para catalogar el diseño de una investigación, el presente trabajo especial de grado se caracteriza por ser del tipo experimental.

El diseño de la investigación es experimental, ya que se manipularán las variables de los equipos para obtener los mejores índices de recuperación.

3.3 Unidad de estudio

La unidad de estudio se refiere al contexto, al ser o entidad poseedores de la característica, evento, cualidad o variable, que se desea estudiar; una unidad de estudio puede ser una persona, un objeto, un grupo, una extensión geográfica, una institución (Hurtado, 2010). En esta investigación la unidad de estudio son las arenas titaníferas de San Quintín, Municipio Manuel Monge, Yaracuy.

3.4 Técnica e instrumento de recolección de datos

La técnica utilizada en esta investigación fue la observación, que es el primer paso del método científico y además pretende describir, explicar, y comprender, descubrir patrones del objeto de estudio. El instrumento de investigación utilizado fue una hoja de registro (Ver Anexo 1) elaborada para definir los parámetros operacionales de los equipos utilizados durante la fase experimental.

Se tomaron en cuenta las variables modificables de los equipos a utilizar para

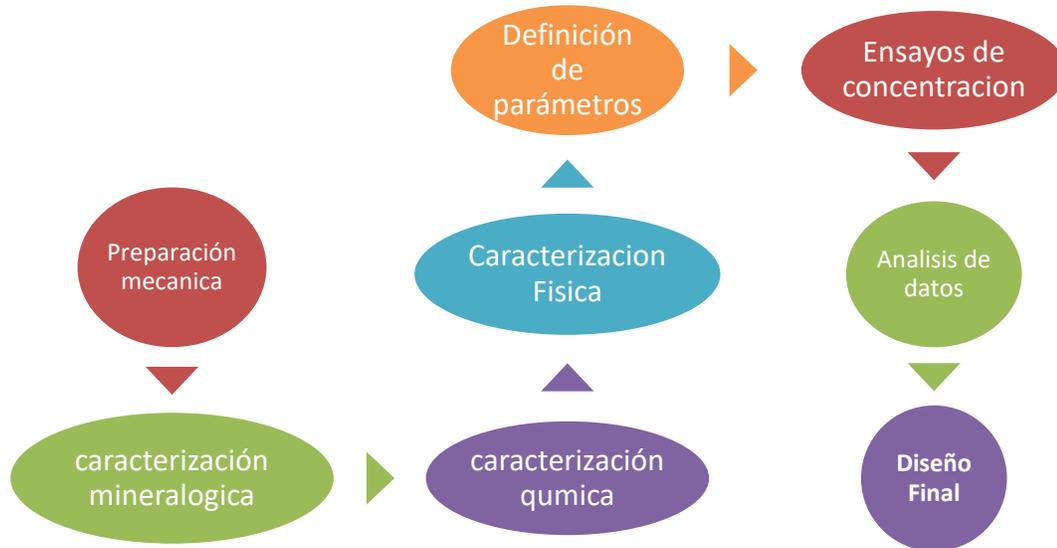
ajustarlas de acuerdo a las características del material:

1. La hoja de registro para la mesa tipo Wifley consta de cinco columnas, Fecha, Número de prueba y las tres variables a modificar, que son: caudal, velocidad de alimentación y ángulo de inclinación.
2. La hoja de registro para el separador magnético Eriez consta de cinco columnas, Fecha, Número de prueba y las tres variables a modificar, que son: Posición de Splitter, Velocidad de Alimentación y Velocidad de la Correa o cinta.

Así mismo, hay un espacio referente a las observaciones adicionales o detalles que no son cubiertas por los ítems anteriores.

3.5 Método de análisis del sujeto

El método según Hurtado (2010) es el modo o manera de proceder o de hacer algo para alcanzar un objetivo y comprende el conjunto de pasos o etapas generales que guían la acción. A continuación se muestra un diagrama y se describen los métodos utilizados en esta investigación para la realización del diseño a nivel de laboratorio de un circuito de beneficio para recuperación de ilmenita.



1. Preparación mecánica:

- Secado de muestra: Se utilizaron cinco muestras para el presente trabajo, las cuales se recibieron con la siguiente identificación: 05 Rio 1, 08 Rio3, 07 Rio 2, 04 Rio, cabe destacar que una de las muestras estaba sin identificación a la cual se le denominó muestra “Sin nombre”. Estas muestras se recibieron en húmedo, las cuales se sometieron a una operación de secado en horno para su manejo y posterior tratamiento usual que sigue en una muestra de minerales pesados.
- Homogenización de las muestras con uso de cuarteadores: Se aplicó el método de roleo y cuarteo para homogenización de cada una de las muestras y obtención de lotes representativos.
- Conservación y almacenamiento de la muestra: Se almacenaron e identificaron cada una de las muestras de acuerdo al nombre dado; para luego comenzar el proceso de caracterización en sí realizado en el Laboratorio de Geología y Geoquímica “Oscar Machado Zuluaga” de la Escuela de Geología, Minas y Geofísica de la Universidad Central de Venezuela por el Profesor Lenin Gonzalez.

2. Caracterización mineralógica y química:

- Reducción de tamaño: La muestra a ser analizada es pulverizada finamente con un molino de bolas marca SPEX Modelo 8000 de SPEX INDUSTRIES y se coloca sobre un porta muestras para realizar la caracterización mineralógica en la cual es requerida una porción 20g de cada muestra.
- Difracción rayos X: Por medio del análisis de DRX se determinaron de forma cualitativa las fases mineralógicas que componen las muestras. El instrumento está constituido de tal forma que el porta muestra gira según la trayectoria de un haz de rayos X, manteniendo entre ellos en cada momento un ángulo θ , a medida que un detector, montado sobre un brazo, gira a su alrededor para captar las señales difractadas de rayos X. El porta muestra y el detector se mueven mediante engranajes que permiten que mientras el

primero gira un ángulo θ , el segundo gira un ángulo 2θ . La caracterización mineralógica de las muestras se efectuó mediante la técnica Difracción de Rayos X (DRX), usando un Difractómetro de Rayos X, marca PHILLIPS, modelo PW3830 usando radiación $\text{CuK}\alpha$ ($\lambda = 1,5406 \text{ \AA}$) operado a 45 kV y 40 mA, utilizando un detector de centelleo en una geometría Bragg-Brentano. El intervalo del ángulo de barrido empleado para cada muestra fue de 0 a 75° con un paso de barrido de $0,016^\circ$ y 80 segundos por paso en un modo continuo. La identificación de las fases fue realizada usando el programa X'Pert HighScore Plus versión 3.0d elaborado por PANalytical B.V., y la base de datos ICDD PDF-4 plus (ICDD - International Centre for Diffraction Data, Newtown Square, PA. (Perez, y otros, 2018)

- Fluorescencia de RX por energía dispersiva: El análisis de FRX-ED se realizó en un Espectrómetro de Fluorescencia de Rayos X por Dispersión de Energía, marca Philips, modelo Minipal 2 PW4025/00. Para realizar los análisis se prepararon ocho (8) patrones de composiciones variables de SiO_2 , Al_2O_3 , Ca_2 , Fe_2O_3 , K_2O , MgO , MnO , TiO_2 y V ; los cuales se utilizaron para realizar la calibración estándar del Espectrómetro de FRX-ED, para conocer los componentes minerales presentes en las muestras, así como información de los porcentajes de los mismos. Además este análisis se realizó en 2 momentos durante el procedimiento del diseño a nivel de laboratorio de un circuito de beneficio para la recuperación de ilmenita en arenas de la zona de San Quintín, estado Yaracuy. En el primer momento fue para cuantificar los valores y presencia de las especies minerales y en el segundo momento fue para cuantificar los resultados post-tratamiento de separación gravimétrica y magnética.

3. Caracterización física:

- Identificación macroscópica de minerales
- Microscopia óptica para obtener información cualitativa y cuantitativa de

cada grano mineral, identificar los minerales presentes en la mena y tamaño de partícula liberada.

- **Análisis granulométrico:** Se utilizó para determinar los parámetros físicos del mineral, en función a los equipos disponibles y establecer la distribución porcentual de los tamaños de mineral presente y utilizando como base la norma ASTM C 136-01. Las muestras de arenas están compuestas por partículas de diferentes tamaños de colores negro, amarillo, rojo y marrón. Las muestras fueron tamizadas con la serie de Tamices ASTM: 10, 20, 40, 60, 70 y 100 mallas, para así definir la distribución de tamaños de las partículas de minerales pesados. Para ello se utilizaron 200 g de cada una de las cinco muestras obtenidas para la clasificación granulométrica y decidir inicialmente el corte de tamaño a utilizar en base a la observación de abundancia de minerales pesados en función de la coloración en cada retenido.
4. **Ensayos de concentración:** Operaciones de concentración a las que serán sometidas las muestras para separar la ganga de las partículas de interés, en los cuales se utilizaron el espiral de Humphrey, mesa tipo Wifley y separador magnético Eriez para establecer el diseño final de circuito. Se descartó el espiral de Humphrey por motivos operacionales del equipo durante ensayos exploratorios y solo se utilizó la mesa vibratoria y el separador magnético. A continuación se muestran los procedimientos previos para la realización de los ensayos:
- **Preparación de la pulpa:** Se utilizó un alimentador marca Eriez Magnetics Hi-vi Vibratory Equipments modelo 15A perteneciente a la serie 26, para la preparación y alimentación de la pulpa hacia la mesa vibratoria.
 - **Mesa Vibratoria:** Mesa tipo Wilfley marca Humpheys, Modelo 13A con un motor Balder industrial de 0.33 HP, en la cual es necesario establecer el ángulo de inclinación, caudal y junto con el alimentador vibratorio establecer la velocidad de alimentación y lograr el comportamiento que se muestra en la figuras 12, 13 y 14.

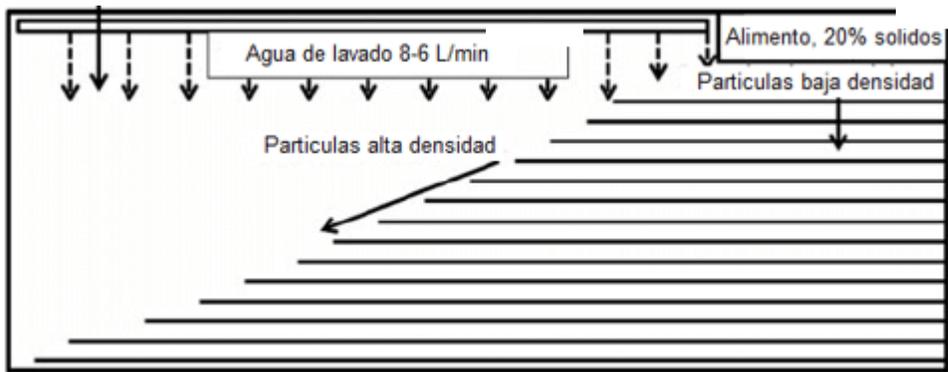


Figura N° 12 Vista en planta de mesa tipo Wilfley y comportamiento de partículas

Fuente: 911 Metallurgist



Figura N° 13 Esquema de separación de Ilmenita por método gravimétrico

Fuente: Ndimande et al. (2016)



Figura N° 14 Esquema de separación de ilmenita por método gravimétrico

Fuente: Ndimande et al. (2016)

- Separador magnético: Separador magnético Eriez 730 de rodillo con tierras raras de alta intensidad y campo magnético de 2 Tesla o 20.000 Gauss, en el cual solo hay 3 variables: Velocidad de alimentación, posición splitter, velocidad correa magnética.

Diagrama de desarrollo del proceso de investigación: Se presenta el diagrama de trabajo utilizado para la realización del mismo en la figura 15, en el cual se aprecia de manera superficial los pasos para el desarrollo de esta investigación



Figura N° 15 Diagrama de trabajo

3.6 Técnicas de análisis de datos

Primeramente la caracterización mineral apporto datos acerca de la composición de cada muestra, los cuales fueron representados en forma de porcentajes, utilizándose gráficos y tablas para representar la información cuantitativa y cualitativa. Estos datos fueron obtenidos a partir de FRX y DRX los cuales se analizaron mediante la comparación de datos de los resultados experimentales de difracción frente a una base de datos de fases cristalinas conocidas para distinguir detalladamente la mineralogía presente en cada muestra, aunado a la microscopia

óptica para contrastar la información obtenida en la DFR y FRX. Cabe destacar que Una fase cristalina dada siempre produce un patrón de difracción característico, bien esté en estado puro o como constituyente de una mezcla. Este hecho es la base para el uso de la difracción como método de análisis. La anchura y la forma de los picos de un difractograma son el resultado de la combinación de factores instrumentales y de factores basados en la microestructura de la muestra, además cada fase cristalina tiene una valoración dependiendo del factor de polarización, estructura, multiplicidad, lorentz, absorción y temperatura; los cuales el programa X'Pert HighScore Plus versión 3.0d elaborado por PANalytical B.V., y la base de datos ICDD PDF-4 plus (ICDD - International Centre for Diffraction Data, Newtown Square, PA) toman en cuenta.

La caracterización física es producto de las características físicas y químicas del mineral por lo tanto se debían realizar ensayos para conocer la granulometría, la cual se manejó a través de curvas de distribución semi-Logarítmicas para conocer la distribución de granos de las muestras.

Posteriormente se realizaron las fases experimentales basándose en la revisión bibliográfica, junto con información del análisis mineralógico, químico y granulométrico, para seleccionar en base a los equipos disponibles y la recolección de la información de los ensayos, los parámetros operacionales de la mesa tipo Wilfley y Separador magnético Eriez.

Finalmente, los ensayos de concentración se analizaron mediante el balance de masas para la mesa tipo Wilfley, obteniéndose un concentrado, mixto y colas; el cual el mixto pasó a una segunda etapa de concentración con el separador magnético.

Los índices metalúrgicos citados en el capítulo II (Ecuaciones 2,3 y 5) para cada equipo en las muestras dadas, aportaron la información acerca del porcentaje de recuperación, que indica cuanto es recuperado a partir de la alimentación inicial, razón de enriquecimiento, que relaciona el tenor de alimentación y el tenor de concentrado, y razón de concentración que señala cuantas toneladas de material se debe alimentar para producir una tonelada de producto de las pruebas realizadas

para llegar a la formulación del circuito de beneficio para recuperación de ilmenita de acuerdo a la geología del objeto de estudio.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y ANÁLISIS

En este capítulo se describen las fases experimentales llevados a cabo en los laboratorios de Beneficio mineral y de Geología y Geoquímica “Oscar Machado Zuluaga”, pertenecientes a la Escuela de Geología, Minas y Geofísica de la Universidad Central de Venezuela sustentadas en los objetivos específicos para el diseño a nivel de laboratorio de un circuito de beneficio para la recuperación de ilmenita en arenas de la zona de San Quintín, estado Yaracuy.

Igualmente, se analizan los resultados correspondientes a la caracterización mineralógica de las arenas mediante el uso de métodos de difracción y fluorescencia de rayos X; determinación de las características físicas de las arenas para la definición de los parámetros operacionales; estimación de los porcentajes de recuperación y grado de concentración de los ensayos y, finalmente formular el circuito de beneficio mineral.

4.1 Caracterización

4.1.2 Análisis Mineralógico

Para conocer concretamente los tipos y cantidad de minerales pesados presentes en cada una de las muestras se les sometió al siguiente método de análisis:

Difracción de Rayos X:

Para las cinco muestras, las cuales se ordenaron con base a la presencia y abundancia del mineral de interés que en este caso es la ilmenita. Además en los Anexos se presenta el reporte detallado de cada muestra.

Muestra 1

El gráfico 1 corresponde al resultado y análisis de la muestra “Sin Nombre”.

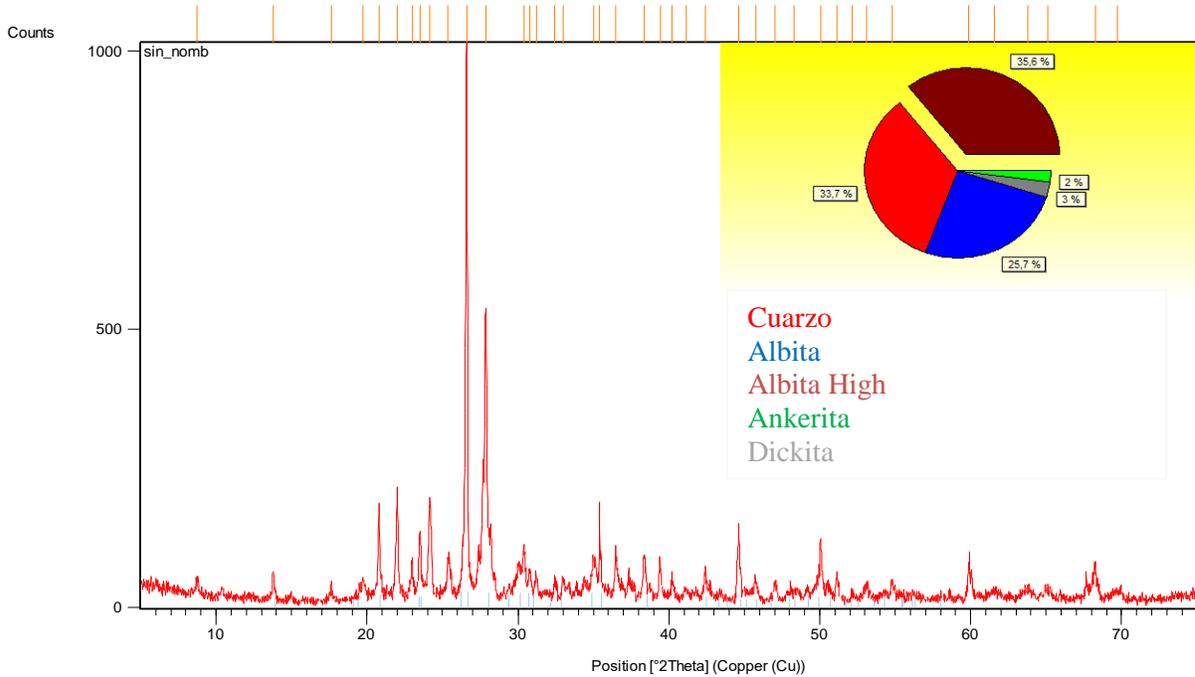


Gráfico N° 1. Difractograma y porcentajes de especies minerales de muestra “Sin Nombre”

En el difractograma se observan que las reflexiones de difracción de los minerales presentes en la muestra “Sin nombre”, en relación a las intensidades de los picos del difractograma junto con el gráfico que especifica las fases minerales más abundantes de la mismas, los cuales son Cuarzo (33.7%), Albita (25.7%), Dickita (3%), Albita High (35.6%), Ankerita(2%). La especie mineral de interés es la ilmenita la cual está ausente en este análisis, sin embargo no se descartó la presencia del mineral ya que existe la posibilidad de que se encuentre en proporciones no detectables de este equipo.

Muestra 2

El grafico 2 corresponde al resultado y análisis de la muestra 04 Rio.

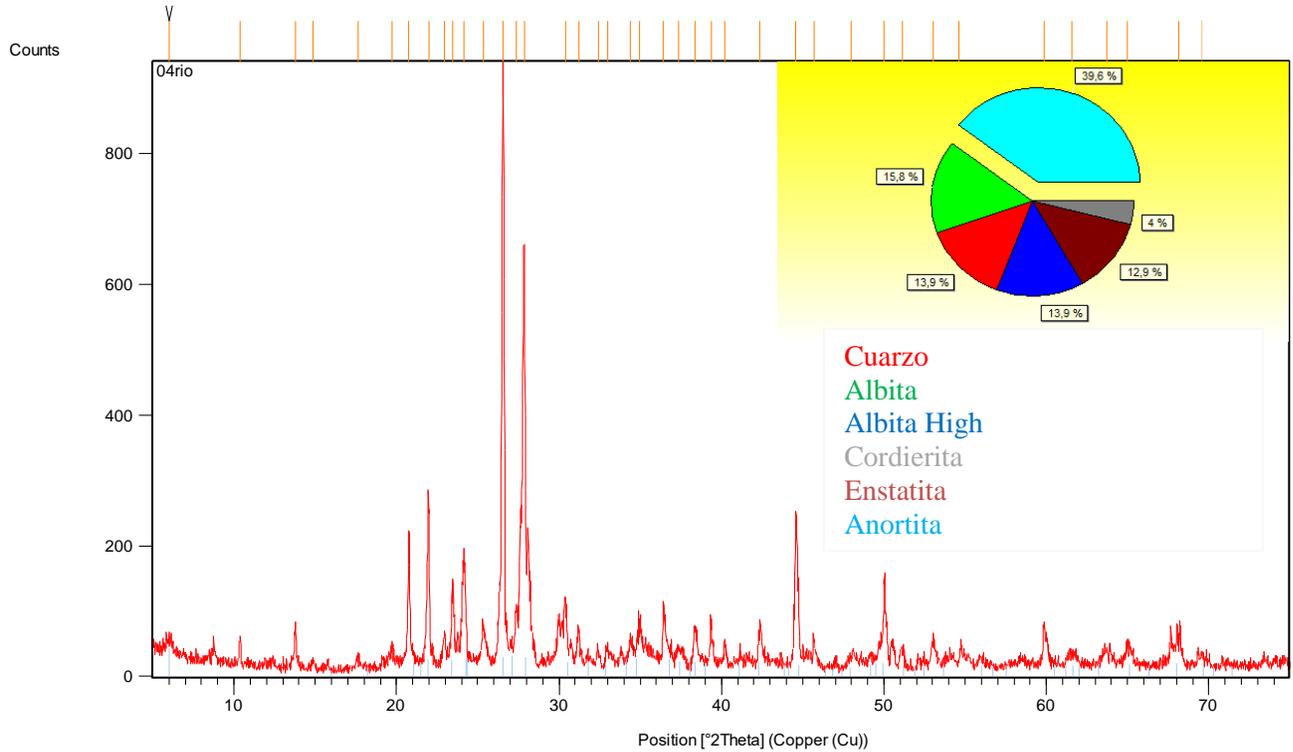


Gráfico N° 2 Difractograma y porcentajes de especies minerales de muestra 04 Rio

En el difractograma se observan que las reflexiones de difracción de los minerales presentes en la muestra 04 rio, junto con el grafico que especifica las especies minerales más abundantes de la misma, los cuales son Cuarzo (13.9%), Albita (13.9%), Albita High (15.8%), cordierita (4%), enstatita (12.9%), anortita (39.6%) La especie mineral de interés es la ilmenita la cual está ausente en este análisis, al igual que en la muestra anterior, sin embargo no se descartó la presencia del mineral ya que existía la posibilidad de que se encontrara en proporciones no detectables.

Muestra 3

El grafico 3 corresponde al resultado y análisis de la muestra 05 Rio1.

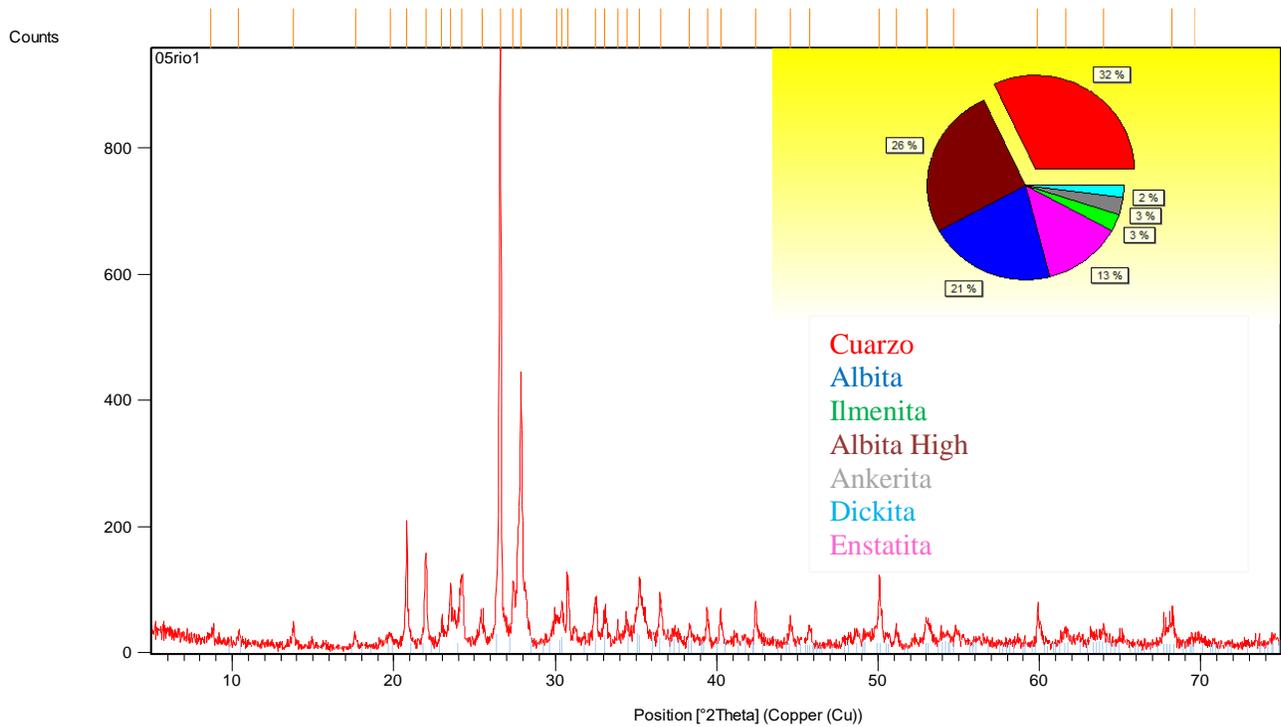


Gráfico N° 3 Difractograma y porcentajes de especies minerales de muestra 05 Rio1

En el difractograma se observan que las reflexiones de difracción de los minerales presentes en la muestra 05 rio1, junto con el grafico que especifica las especies minerales más abundantes de la misma, los cuales son Cuarzo (32%), Albite (21%), Ilmenita (3%), Ankerita (3%), Albite High (26%), Dickita (2%) y enstatita (13%). Es importante resaltar en este resultado la presencia del mineral de interés que es la ilmenita (3%), en contraste con los 2 análisis anteriores que no arrojaban la presencia del mismo.

Muestra 4

El grafico 4 corresponde al resultado y análisis de la muestra 08 Rio3.

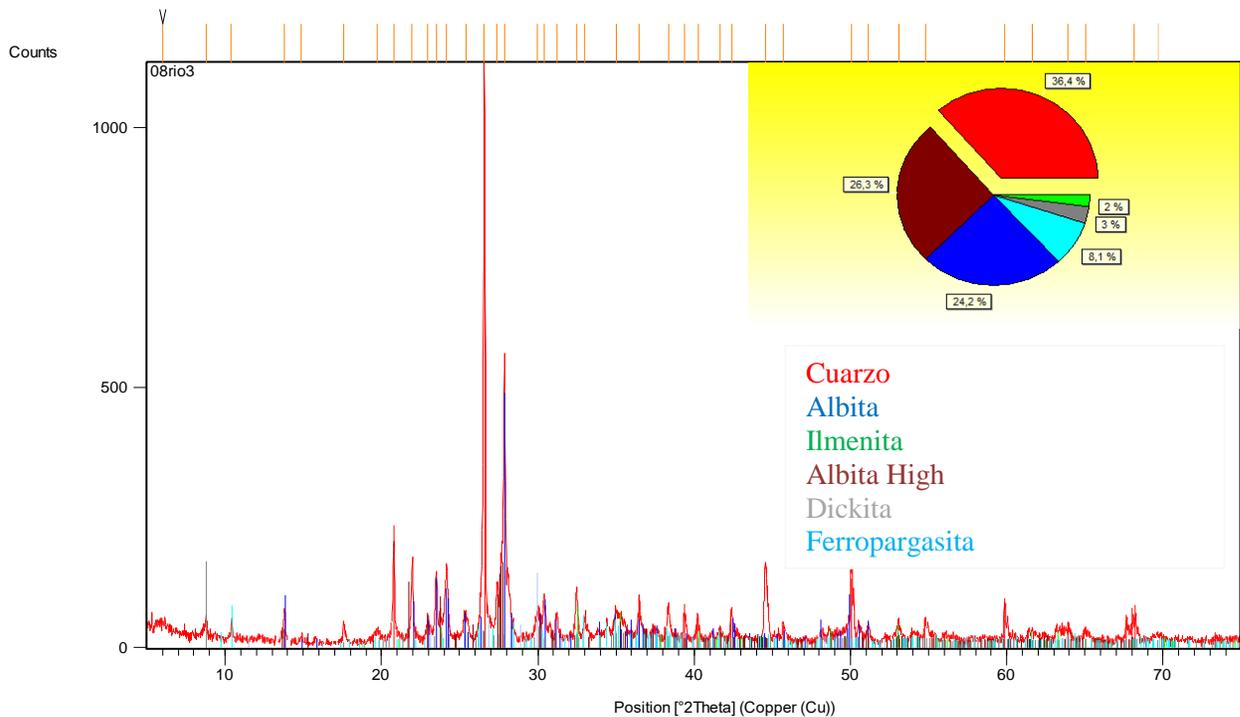


Gráfico N° 4 Difractograma y porcentajes de especies minerales de muestra 08 Rio3

En el difractograma se observan que las reflexiones de difracción de los minerales presentes en la muestra 08 rio3, junto con el grafico que especifica las especies minerales más abundantes de la misma, los cuales son Cuarzo (36.4%), Albita (24.2%), Ilmenita (2%), Albita High (26.3%), Dickita(3%) y Ferropargasita (8.1%). Cabe destacar la presencia de ilmenita (2%) al igual que el análisis anterior para el diseño del circuito de beneficio mineral y así elevar las concentraciones presentes del mineral.

Muestra 5

El grafico 5 corresponde al resultado y análisis de la muestra 07 Rio2

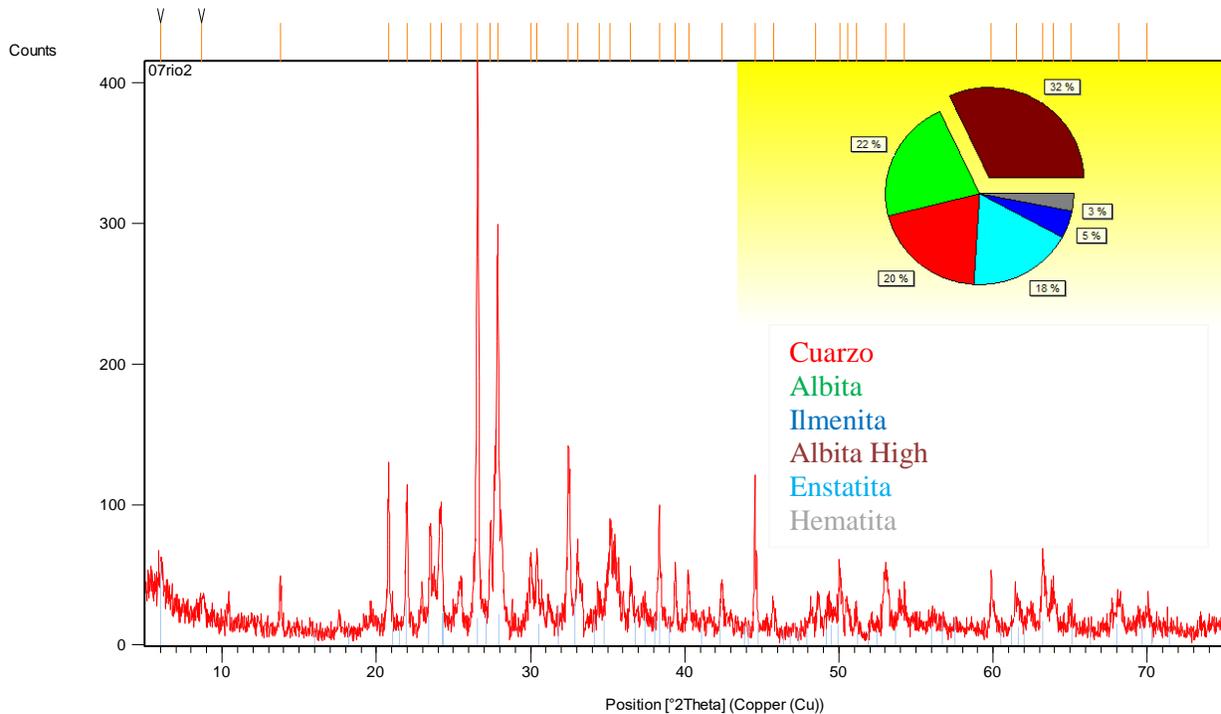


Gráfico N° 5 Difractograma y porcentajes de especies minerales de muestra 07 Rio2

En el difractograma se observan que las reflexiones de difracción de los minerales presentes en la muestra 07 rio2, junto con el grafico que especifica las especies minerales más abundantes de la misma, los cuales son Cuarzo (20%), Albita (22%), Ilmenita (5%), Albita High (32%), Enstatita (16%) y hematita (3%). Es importante resaltar en este resultado la presencia del mineral de interés que es la ilmenita, representa la mayor presencia del mismo en base a todos los resultados obtenidos de las difracciones realizadas.

A pesar de que todas las muestras provienen de la misma ubicación geográfica (San Quintín, estado Yaracuy) se aprecia la diferencia de los minerales presentes en cada difractograma y las variaciones de los porcentajes los mismos, en especial de la

ilmenita. Posteriormente se procedió a un segundo análisis químico que fue la fluorescencia de rayos X para un mayor sustento y corroboración de la presencia y abundancia de los minerales, para así definir los posibles equipos y parámetros operacionales con base en los resultados obtenidos.

4.1.3 Análisis Químico

Fluorescencia de Rayos X por energía dispersiva:

La fluorescencia tiene como base la excitación de una muestra. La intensidad producida por los rayos X secundarios es usada para determinar las concentraciones de los elementos presentes en la muestra ya que estos presentan longitudes de onda características de cada elemento químico.

Se obtuvieron los siguientes resultados de la caracterización inicial de cada una de las muestras:

Tabla 1. Análisis de Fluorescencia de Rayos X de arenas titaníferas de San Quintín, Yaracuy.

Muestra	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	CaO%	Fe ₂ O ₃ %	K ₂ O%	MnO%	TiO ₂ %	Vppm
SN	41.194	8.758	2.433	6.526	1.876	0.129	2.897	206.115
04Rio	42.749	9.104	2.137	6.211	1.765	0.119	2.973	238.469
08Rio3	42.355	9.216	1.834	10.061	1.831	0.194	5.967	535.353
05Rio1	43.801	9.247	1.783	11.990	1.661	0.221	7.266	688.538
07Rio2	31.814	8.297	1.695	17.787	1.245	0.288	13.367	1136.835

En la tabla 1 se representan los porcentajes de óxido de silicio, aluminio, férrico, potasio, magnesio, manganeso y titanio para las 5 muestras en estudio. Para la muestra N°1 “Sin nombre” en relación al mineral de interés se observa un 2.897%, la muestra N°2 04 Rio tiene un 2.973%, la muestra N°3 08 Rio3 tiene un 5.967%, la muestra N°4 05 Rio1 tiene un 7.266% y finalmente la muestra N°5 07 Rio2 tiene un 13.367%. Hay una diferencia de contenido de TiO₂ de 461% entre la muestra SN y 07 Rio2. El contenido de sílice es bastante similar en todas las muestras a excepción de

07 Rio2 que tiene 10% menos en comparación a las demás. Siendo esta la muestra con menor estéril.

Las muestras “Sin Nombre” y 04 Rio tienen el menor porcentaje de óxido de titanio, las muestras 08 Rio3 y 05 Rio1 tienen porcentajes intermedios y la muestra 07 Rio2 representa el mayor porcentaje de óxido de titanio en función a la unidad de estudio. En contraste con los resultados obtenidos del análisis de la difracción de rayos X, se aprecia que hay presencia de Titanio en todas las muestras lo cual reafirma y amplía los resultados obtenidos con el análisis anterior. Cabe destacar que el titanio es uno de los elementos que forman la ilmenita (FeTiO_3).

En base a los dos análisis químicos y mineralógicos realizados se logra obtener una caracterización de las especies minerales presentes en cada una de las muestras junto con su abundancia. Existe diferencia con respecto a la presencia del titanio con respecto a las muestras N°1 “Sin Nombre” y N°2 04 Rio donde la DRX arroja que no hay presencia vs la FRX arroja que hay presencia, mas no significativa; esta incongruencia se debe posiblemente a que el titanio presente en la ilmenita se encuentra por debajo del límite de cuantificación del equipo de DRX. (Perez, y otros, 2018)

El objetivo específico para la determinación de las características físicas de las arenas para la definición de los parámetros operacionales de los equipos de ensayos de concentración lo constituyen las siguientes fases:

4.2 Análisis Granulométrico de las muestras

El análisis granulométrico definirá la medición gradual de las partículas que forman las cinco muestras pertenecientes a la geología de San Quintín, estado Yaracuy.

Muestra 1

La tabla 2 corresponde a la distribución granulométrica de la muestra “Sin Nombre”.

Tabla 2 Distribución Granulométrica muestra “Sin Nombre”

Tamiz	Abert (mm)	Abert (mm)	PESO RET(g)	% RET PAR	% RET AC	% PASANTE
10	2	1.42	35.30	17.65	17.65	82.35
20	0.84	0.63	30.70	15.35	33.00	67.00
40	0.42	0.34	32.60	16.30	49.30	50.70
60	0.25	0.23	31.70	15.85	65.15	34.85
70	0.21	0.19	10.50	5.25	70.40	29.60
100	0.16	0.08	22.30	11.15	81.55	18.45
Bandeja	0	0.00	36.20	18.10	99.65	0.35
			199.30			

En la tabla 2 se observa que en la bandeja el peso retenido es de 36.2 g, en términos de porcentaje es un 18.1% de masa retenida con respecto a toda la muestra, siendo este el mayor valor de retención en relación al resto de los tamices. La retención en los tamices 10, 20, 40 y 60 no tuvo una variación significativa, sin embargo está reflejado que la mayoría del material esta retenida hacia los tamices 70, 100 y la bandeja, indicando que en esta muestra la granulometría predominante es arenas fina. Hubo una pérdida de 0.35% en relación al peso total (200g) pudiéndose relacionar a la manipulación del material. Cabe destacar al observar los retenidos de cada malla, la coloración negra fue predominante en los tamices 40 y 60, para este caso. Esta coloración negra es característica de los minerales pesados tales como minerales de hierro e ilmenita.

El grafico 6 de la curva granulométrica “Sin Nombre”, está en función del Porcentaje pasante vs Abertura de los tamices (mm). Además, se aprecia que el d80 está por debajo del tamiz 10, también se refleja que hay abundancia de arenas finas.

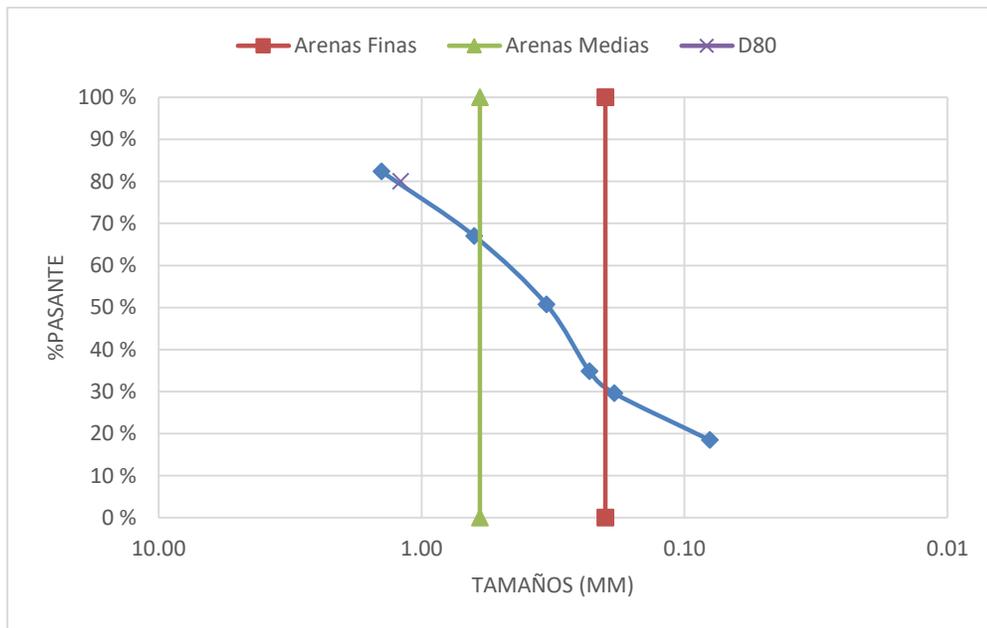


Gráfico N° 6. Distribución granulométrica muestra “Sin nombre”

Muestra 2

La tabla 3 corresponde a la distribución granulométrica de la muestra “04 Rio”.

Tabla 3 Distribución Granulométrica muestra “04 Rio”

Tamiz	Abert mm	Abert mm	PESO RET (g)	% RET PAR	% RET AC	% PASANTE
10	2	1.42	36.60	18.30	18.30	81.70
20	0.84	0.63	21.40	10.70	29.00	71.00
40	0.42	0.34	36.70	18.35	47.35	52.65
60	0.25	0.23	38.40	19.20	66.55	33.45
70	0.21	0.19	10.80	5.40	71.95	28.05
100	0.16	0.08	48.00	24.00	95.95	4.05
Bandeja	0	0.00	7.30	3.65	99.60	0.40
			199.20			

En la tabla 3 se observa que en el tamiz 100 es de 48g, en términos de porcentaje es un 24% de masa retenida con respecto a toda la muestra, siendo este el mayor valor de retención en relación al resto de los tamices. La retención en los tamices 10, 40 y

60 no tuvo una variación significativa, sin embargo está reflejado que la mayoría del material esta retenida hacia los tamices 70, 100 y la bandeja, indicando que en esta muestra la granulometría predominante es arenas fina. Hubo una pérdida de 0.4% en relación al peso total (200g) pudiéndose relacionar a la manipulación del material. Cabe destacar al observar los retenidos de cada malla, la coloración negra fue predominante en los tamices 40, 60 y 70 para este caso. Esta coloración negra es característica de los minerales pesados tales como minerales de hierro e ilmenita. El gráfico 7 de la curva granulométrica “04 Rio”, está en función del Porcentaje pasante vs Abertura de los tamices (mm). Además, se aprecia que el d80 está por debajo del tamiz 10, también se refleja que hay abundancia de arenas finas al igual que en análisis granulométrico anterior.

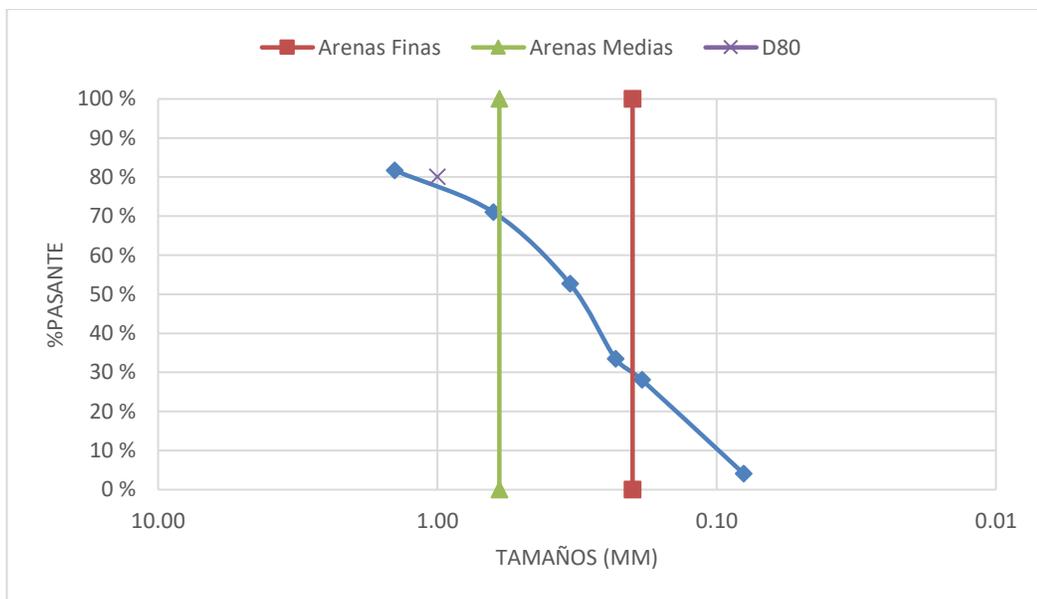


Gráfico N° 7. Distribución granulométrica muestra 04 Rio

Muestra 3

La tabla 4 corresponde a la distribución granulométrica de la muestra 05 Rio1.

Tabla 4. Distribución Granulométrica muestra “05 Rio1”

Tamiz	Abert (mm)	Abert mm	PESO RET (g)	% RET PAR	% RET AC	% PASANTE
10	2	1.42	28.20	14.10	14.10	85.90
20	0.84	0.63	32.40	16.20	30.30	69.70
40	0.42	0.34	71.60	35.80	66.10	33.90
60	0.25	0.23	35.80	17.90	84.00	16.00
70	0.21	0.19	10.20	5.10	89.10	10.90
100	0.16	0.08	16.50	8.25	97.35	2.65
Bandeja	0	0.00	4.50	2.25	99.60	0.40
			199.2			

En la tabla 4 se observa que en el tamiz 40 el peso retenido es de 71.6 g, teniendo un 35.8% de masa retenida con respecto a toda la muestra, siendo este el mayor valor de retención en relación al resto de los tamices. En el tamiz 100 y en la bandeja de retención están los menores porcentajes de material pasante, afirmando que los tamaños predominantes están superiores a la malla 100, hubo una pérdida de 0.4% en relación al peso total (200g) pudiéndose relacionar a la manipulación del material. Cabe destacar al observar los retenidos de cada malla, la coloración negra aumento a medida que el tamaño de malla era menor, específicamente en los tamices 60 y 70 para este caso. Esta coloración negra es característica de los minerales pesados tales como minerales de hierro e ilmenita.

El grafico 8 de la curva granulométrica 05 Rio1, está en función de la abertura de los tamices en milímetros vs porcentaje pasante de cada uno. Además, se aprecia que el d80 está por debajo del tamiz 10, indicando que la granulometría de la arena va de tamaños media a fina.

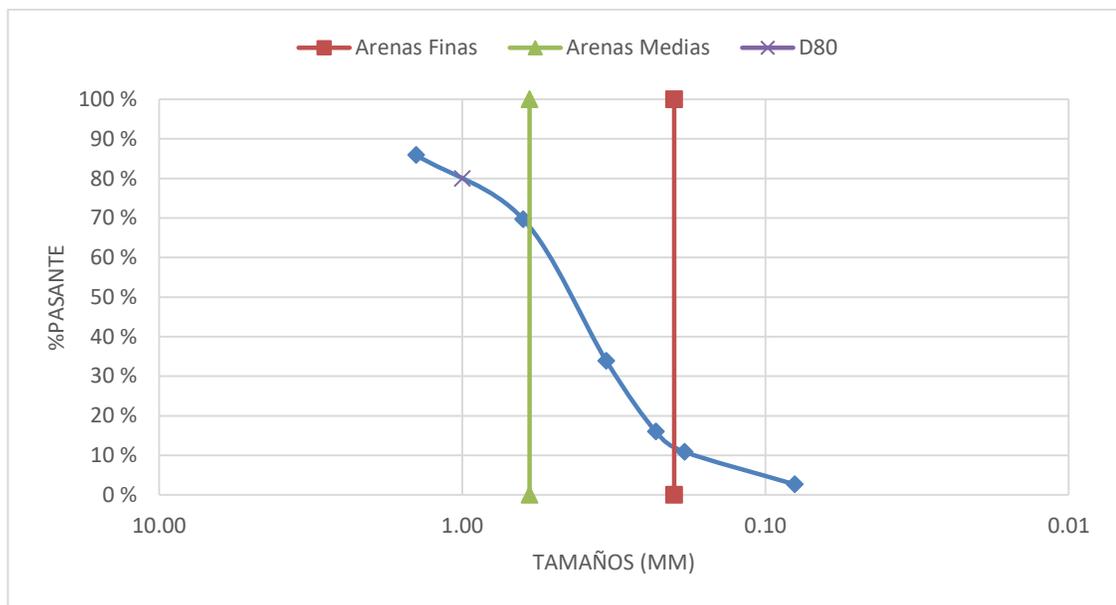


Gráfico N° 8. Distribución granulométrica muestra “05 Rio1”

Muestra 4

La tabla 5 corresponde a la distribución granulométrica de la muestra 08 Rio 3.

Tabla 5. Distribución Granulométrica muestra “08 Rio3”

Tamiz	Abert (mm)	Abert mm	PESO RET (g)	% RET PAR	% RET AC	% PASANTE
10	2	1.42	22.80	11.40	11.40	88.60
20	0.84	0.63	31.30	15.65	27.05	72.95
40	0.42	0.34	74.10	37.05	64.10	35.90
60	0.25	0.23	39.10	19.55	83.65	16.35
70	0.21	0.19	11.20	5.60	89.25	10.75
100	0.16	0.08	13.80	6.90	96.15	3.85
Bandeja	0	0.00	6.80	3.40	99.55	0.45
			199.1			

En la tabla 5 se observa que en el tamiz 40 el peso retenido es de 74.1 g, teniendo un 37.05% de masa retenida con respecto a toda la muestra, siendo este el mayor valor de retención en relación al resto de los tamices. En el tamiz 100 y en la bandeja de retención están los menores porcentajes de material pasante, afirmando que los

tamaños predominantes están superiores a la malla 100, hubo una pérdida de 0.45% en relación al peso total (200g) pudiéndose relacionar a la manipulación del material. Cabe destacar al observar los retenidos de cada malla, la coloración negra aumento a medida que el tamaño de malla era menor, específicamente en los tamices 60 y 70 para este caso. Esta coloración negra es característica de los minerales pesados tales como minerales de hierro e ilmenita, de acuerdo a la geología física de los mismos. El grafico 9 de la curva granulométrica 08 Rio3, está en función de la abertura de los tamices en milímetros vs porcentaje pasante de cada uno. Además, se aprecia que el d80 está por debajo del tamiz 10, indicando que la granulometría de la arena va de tamaños media a fina al igual que en el análisis granulométrico anterior.

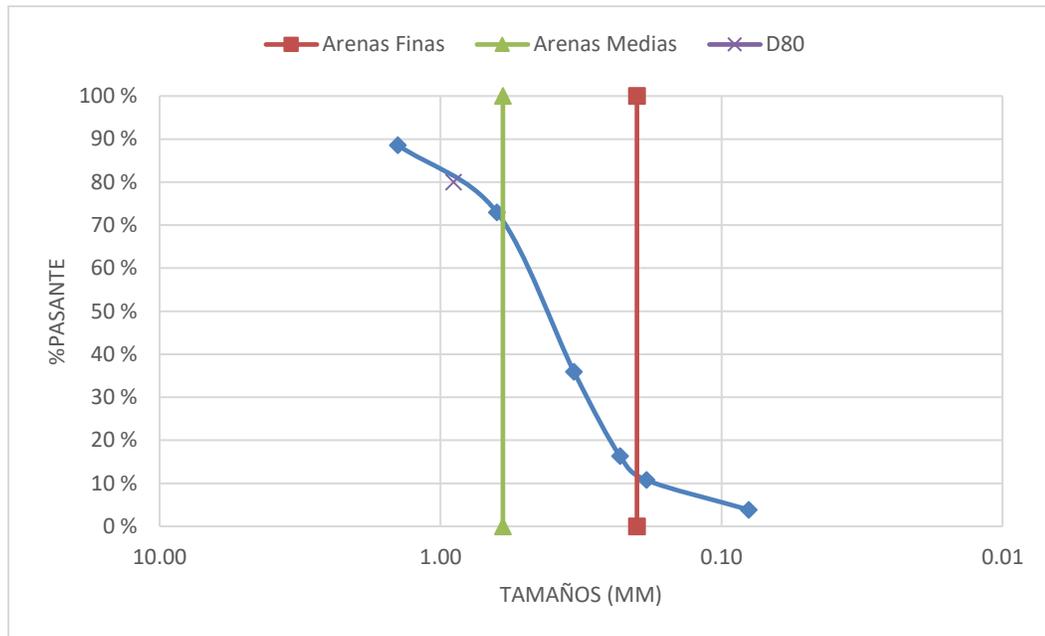


Gráfico N° 9. Distribución granulométrica muestra "08 Rio3"

Muestra 5

La tabla 6 corresponde a la distribución granulométrica de la muestra 07 Rio 2.

Tabla 6. Distribución Granulométrica muestra “07 Rio2”

Tamiz	Abert (mm)	Abert mm	PESO RET (g)	% RET PAR	% RET AC	% PASANTE
10	2	1.42	40.10	20.05	20.05	79.95
20	0.84	0.63	36.60	18.30	38.35	61.65
40	0.42	0.34	52.80	26.40	64.75	35.25
60	0.25	0.23	35.70	17.85	82.60	17.40
70	0.21	0.19	8.60	4.30	86.90	13.10
100	0.16	0.08	19.80	9.90	96.80	3.20
Bandeja	0	0.00	5.90	2.95	99.75	0.25
			199.5			

En la tabla 6 se observa que en el tamiz 40 el peso retenido es de 52.8 g, teniendo un 26.4% de masa retenida con respecto a toda la muestra, siendo este el mayor valor de retención en relación al resto de los tamices. En la bandeja de retención está el menor porcentaje de material pasante, afirmando que los tamaños predominantes están superiores a la malla 100. Hubo una pérdida de 0.25% en relación al peso total (200g) pudiéndose relacionar a la manipulación del material. Cabe destacar al observar los retenidos de cada malla, la coloración negra aumento a medida que el tamaño de malla era menor, específicamente en los tamices 60 y 70 para este caso. Esta coloración negra es característica de los minerales pesados tales como minerales de hierro e ilmenita.

El grafico 8 de la curva granulométrica 07 Rio2, está en función de la abertura de los tamices en milímetros vs porcentaje pasante de cada uno. Además, se aprecia que el d80 está por debajo del tamiz 10, indicando que la granulometría de la arena va de tamaños media a fina.

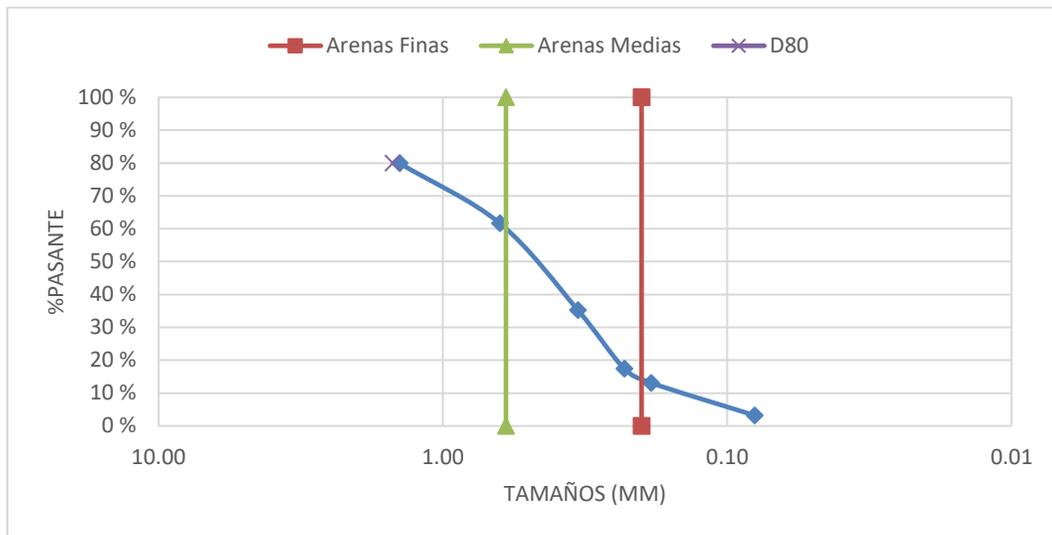


Gráfico N° 10 Distribución granulométrica muestra "07 Rio2"

En los resultados obtenidos del análisis granulométrico de material retenido en las muestras "Sin nombre" y 04 Rio, hubo mayoría hacia el tamiz 100 (0.16 mm) y bandeja, a diferencia de las muestras 05 Rio 1, 08 Rio 3 y 07 Rio2 que el mayor retenido estaba en el tamiz 40 (0.425 mm). Sin embargo estaba presente un patrón de observación en todas las muestras de los análisis granulométricos, representado por la coloración negra predominante en el tamiz 60 (0.25 mm), característica particular de minerales pesados como, minerales de hierro e ilmenita.

4.3 Análisis de lupa

Se realizó una descripción utilizando el microscopio óptico petrográfico para cada una de las muestras y así identificar la presencia y abundancia de ilmenita y/o diferentes minerales en cada una. El criterio para identificar la presencia de ilmenita en cada muestra que se muestra en la figura 16; fue una escala relativa por cuadrícula, en la que cinco granos o más era considerado abundante, dos a cuatro granos estaba de manera presente y menos de dos granos era escaso.

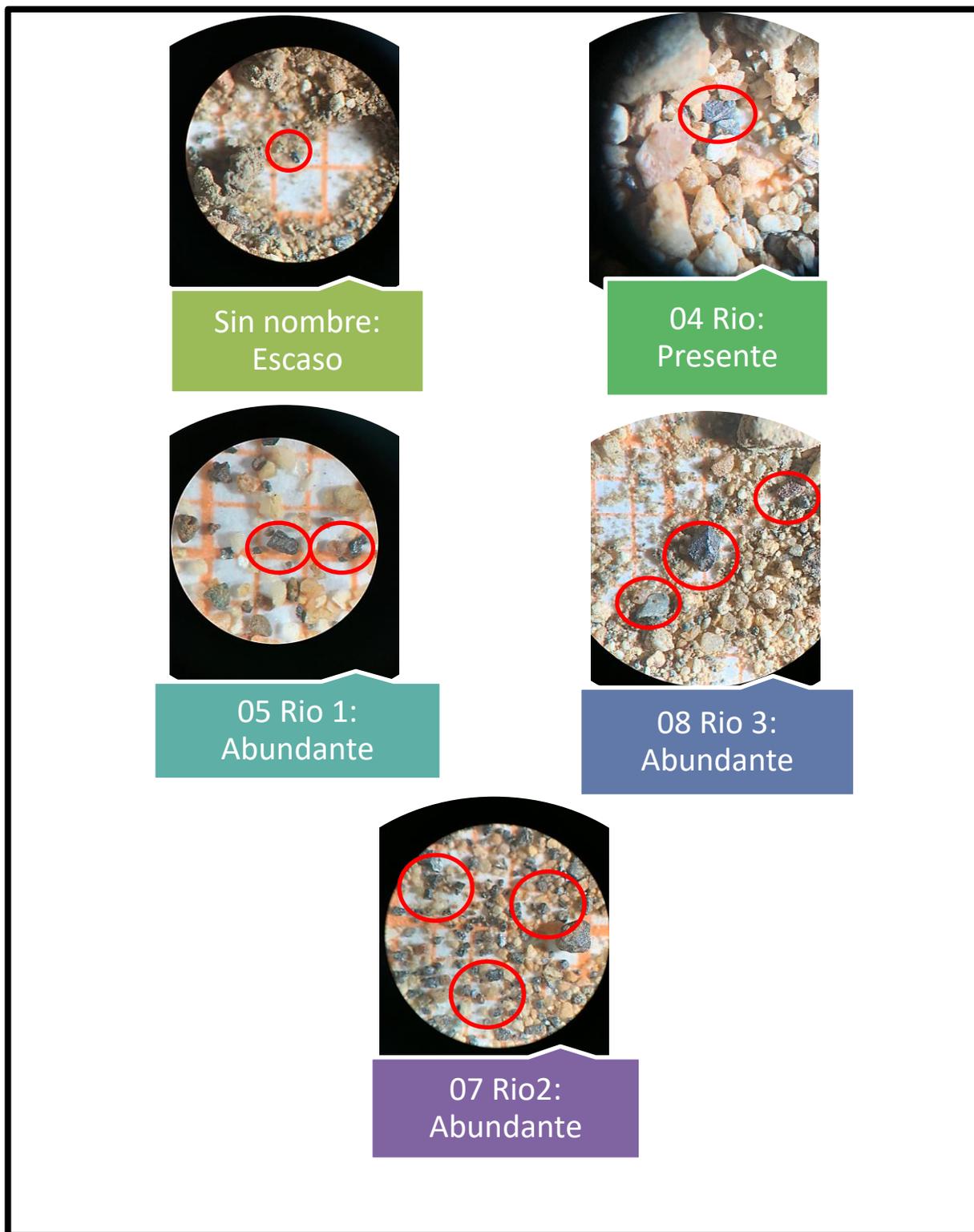


Figura N° 16 Fotografías vistas desde el microscopio óptico de las cinco muestras.

(Tamaño de fondo de partícula: 1mm)

Se observó que el mineral ya estaba liberado para un tamaño menor a medio milímetro, resaltando en círculo rojo algunos granos de ilmenita, corroborando así, la información obtenida con los análisis granulométricos de cada muestra. Por lo cual se seleccionó un corte de tamaños menor a la malla 40 (0.42 mm) de todas las muestras con base en los resultados obtenidos en la determinación de las características físicas y a la predominancia de la coloración negra en las mallas menores a la misma. Además se aprecia el brillo metálico tanto de la ilmenita como de los minerales de hierro, su hábito cristalino tabular y con esfericidad angulosa.

4.4 Ensayos de Separación

Se realizaron dos tratamientos de circuito de separación para todas las muestras, uno de separación gravimétrica y otro de separación magnética, en base a que los minerales asociados al titanio son separados eficientemente mediante los métodos antes mencionados (Ver figura 5).

4.4.1 Separación gravimétrica

Dentro de los distintos equipos de separación gravimétrica, se seleccionó la mesa tipo Wifley y en base a la bibliografía consultada se trabajó con ángulos de inclinación de 6°, 8° y 10°; variaciones de caudal de 5 a 15 litros por minuto y alimentaciones de hasta 500 g por minuto, para así poder definir la mejor combinación en base a la observación de los resultados por deficiencia de recursos disponibles.

Se procedió a pesar cada una de las muestras posteriormente de haber realizado el corte a pasante de tamiz 40 ASTM, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 7 Peso de muestras pre-ensayos

Muestra	Peso (Kg)
“Sin nombre”	5.31
04 Rio	8.28
05 Rio1	2.20
08 Rio3	2.24
07 Rio2	4.41

Ensayos operacionales mesa tipo Wifley:

Se realizaron diferentes ensayos con 6°, 8°, y 10°; caudales de cinco a quince litros por minuto y alimentación de material de cien a quinientos gramos por minuto; para determinar cuál era la mejor combinación de acuerdo a las características descritas del mineral mediante la observación del flujo que presento el mismo a lo largo de la mesa, además de la coloración del material depositado en cada recipiente. El material sólido y seco junto con un caudal específico de agua es alimentado en la parte superior de la mesa, este material queda en suspensión y la acción vibradora de la mesa causa una clasificación de tamaños debido a la densidad de las partículas, como resultado se obtiene de que las partículas similares entre si se agrupen. La acción del agua, junto con la inclinación y vibración causa que las partículas con mayor densidad sean arrastradas y estratificadas hacia el lado más bajo de la mesa, remontando los rifles y finalmente depositándose. Por el contrario las partículas más finas y de menor densidad se mueven laminarmente y fluyen hacia el extremo de descarga de Livianos o finos, ya que no pueden competir con la combinación de caudal, inclinación y vibración para realizar el viaje hacia el lado más bajo de la mesa.

Cabe destacar que para este proceso se deben hacer pruebas de ensayo para calibrar y obtener una separación rápida y con el menor estéril posible; concordando así con Aguilar Asanza & Corella Merizalde (2016).

Parámetros seleccionados:

- Angulo: 8°
- Caudal: 15 Litros por minuto
- Velocidad de alimentación: 250 gramos por minuto

La figura 17 muestra la distribución de la muestra cabeza utilizando la mesa tipo Wilfley, obteniendo resultado similares a Ndimande et al. (2016).



Figura N° 17 Distribución de material por separación gravimétrica

Se presentan dos diagramas en las figuras 18 y 19; el primero , muestra resultados iniciales poco satisfactorios de separación por gravimetría, por el contrario, el segundo, se presentan los resultados con los parámetros de trabajo, es decir con las variables ya calibradas o ajustadas para una separación gravimétrica apropiada; resaltan las diferencias de la distribución correcta, coloración de material mixto, el cual debe tener mayor contenido de tonalidades marrones que negras, a diferencia de la coloración del material pesado que debe tener una tonalidad predominante negra, característica del material de interés a concentrar. Concordando así con Ndimande et al. (2016). Se muestran además las figuras 20 y 21 complementarias de la distribución sobre la mesa tipo Wilfley

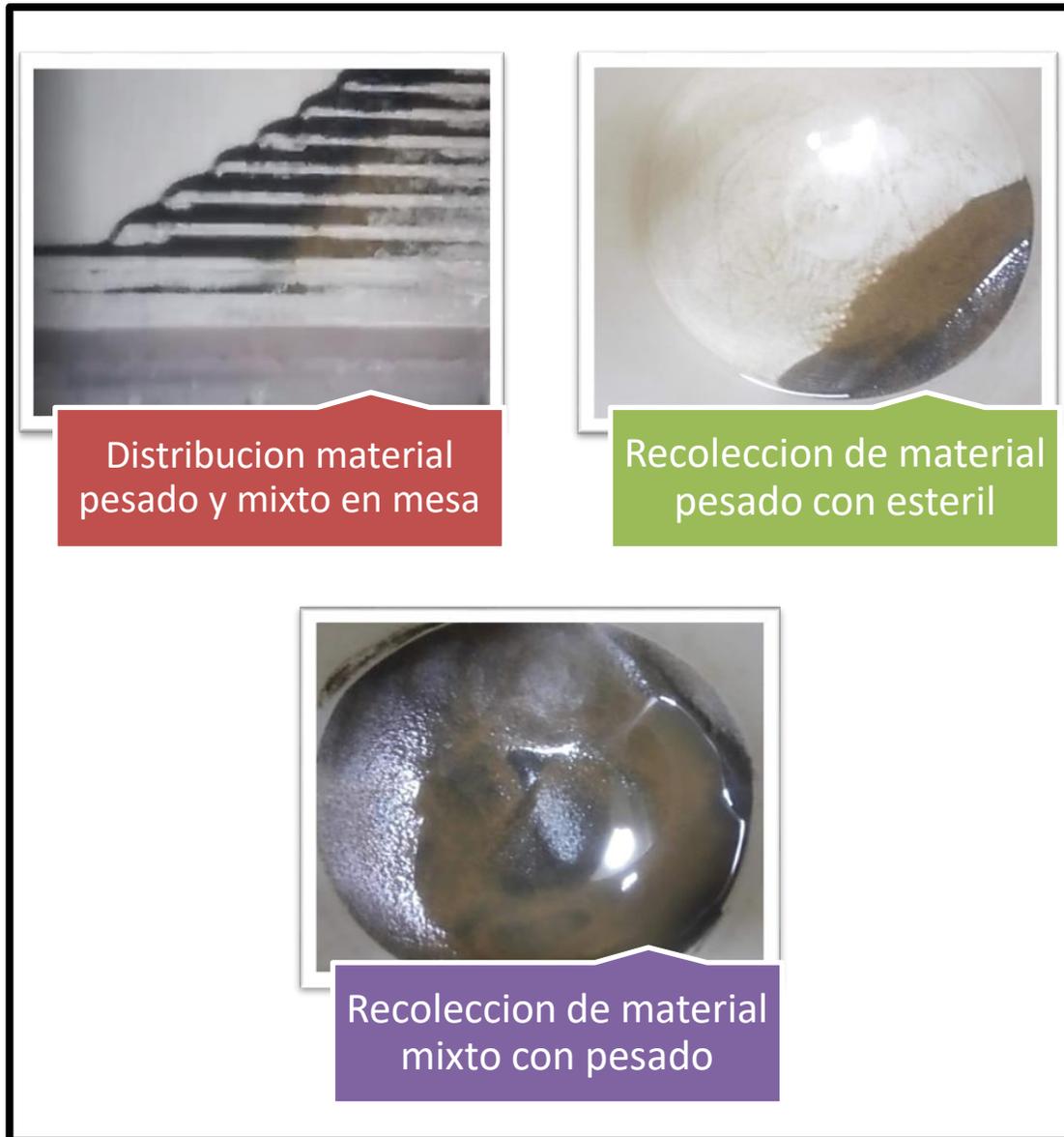


Figura N° 18 Distribución incorrecta de material

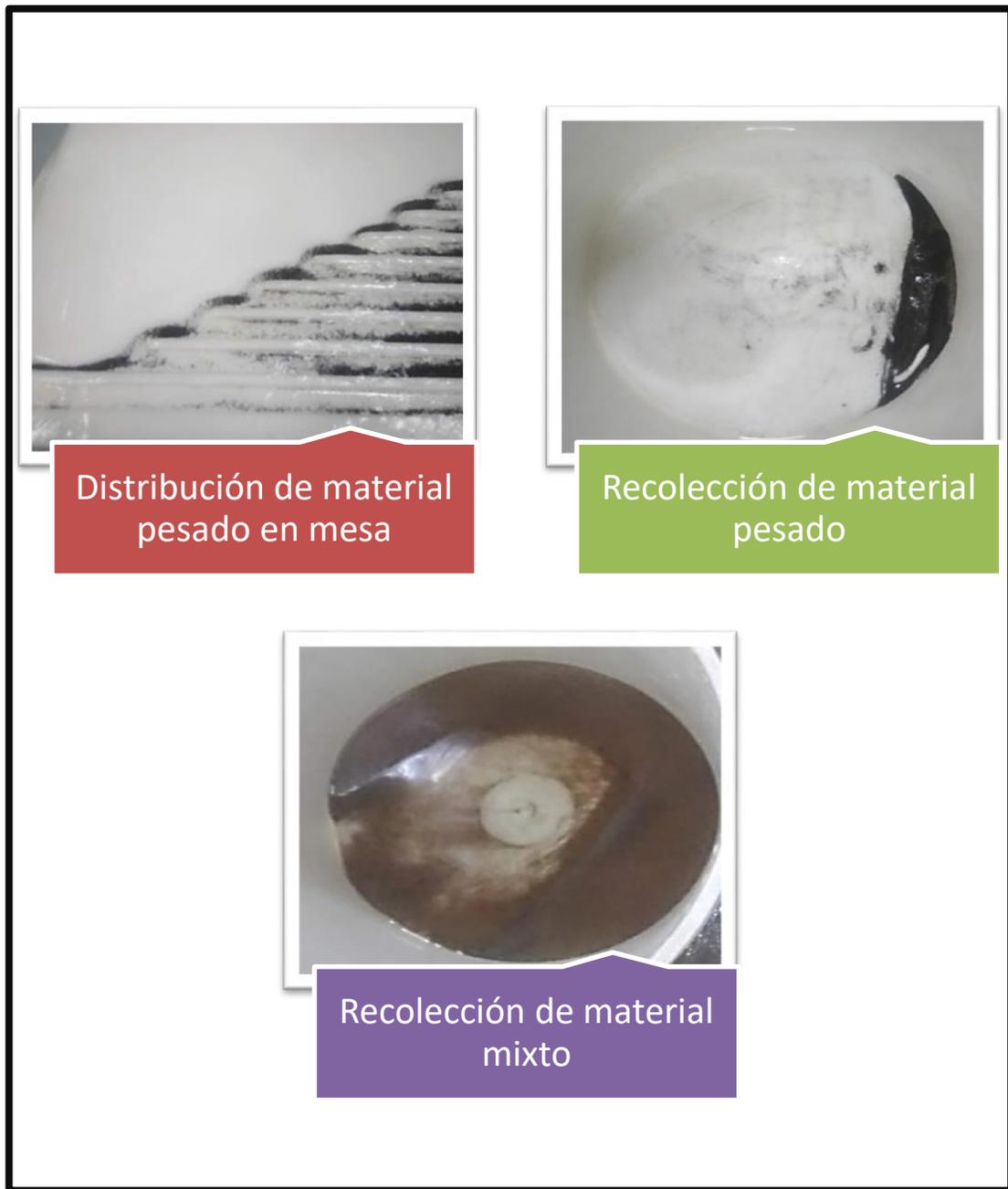


Figura N° 19 Distribución correcta

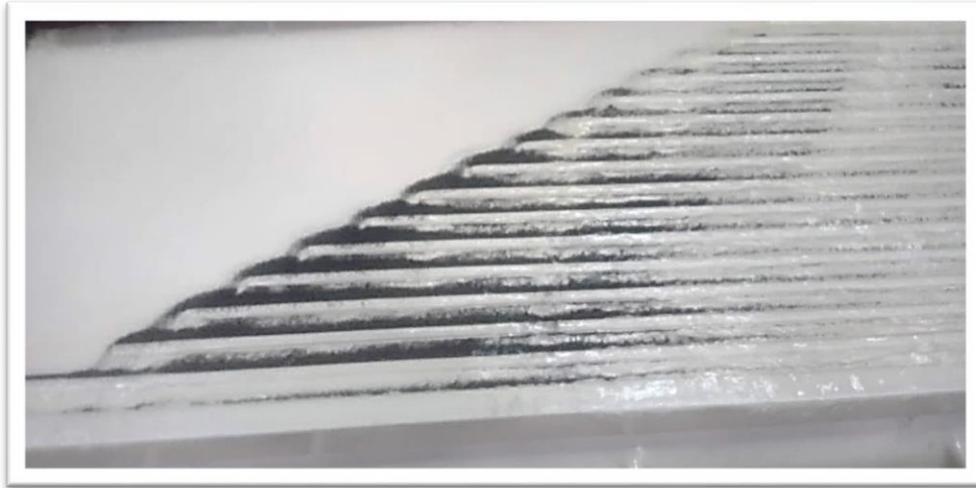


Figura N° 20. Distribución mineral pesado



Figura N° 21 Distribución mineral pesados, mixtos, livianos.

Se presenta la tabla de balance de masas utilizando la Ecuación 1

Tabla 8. Pesos de material liviano, mixto y pesado post-mesa.

Muestra	Pesado (kg)	Mixto (kg)	Liviano (kg)
Sin Nombre	0.102	3.000	2.208
04 Rio	0.178	5.410	2.692
05 Rio1	0.564	1.470	0.166
08 Rio3	0.262	1.170	0.808
07 Rio2	623.6	3.220	0.567

Los mena o material pesado obtenido es un conjunto de Ti, el cual está todo asociado a la ilmenita; y minerales de hierro; donde el parte del Fe pertenece a la ilmenita (FeTiO_3) y la otra parte a los demás minerales de hierro encontrados en la DRX (Ferropargasita, Hematita, cordierita). Este resultado es debido a que la mesa tipo Wilfley trabaja en función de las densidades de los materiales a ser separados; por consiguiente, la baja diferencia de las mismas (Minerales de hierro 5.24 gr/cm_3 y la ilmenita 4.7 gr/cm_3) da un producto con minerales de hierro, difíciles de separar mediante gravimetría.

Posteriormente para la obtención de un concentrado más refinado, se procedió a realizar el secado de material nuevamente, para luego continuar con separación magnética en seco del material mixto basada en las características magnéticas de la ilmenita, al igual que Modino et al. (2009) y Pacheco (1976).

4.4.2 Ensayos de separación magnética

Continuando con el proceso de separación del material de interés, se procedió a realizar una concentración en seco del material mixto obtenido en la concentración de la mesa tipo Wilfley. Para la realización de la separación magnética se utilizó un separador de la marca Eriez Magnetics, de rodillo y tierras raras modelo 730. Los parámetros a modificar de este equipo son tres, la posición del splitter o separador, velocidad de alimentación y velocidad de la correa. Cabe destacar que este equipo tiene parámetros pre-establecidos por fábrica para la concentración de minerales, sin embargo recomiendan el ajuste de cada uno de ellos con ensayos, ya que la geología cambia de acuerdo a cada ubicación geográfica y es necesaria la calibración correcta para mejores resultados. A continuación se muestran los resultados tras la separación magnética en las figuras 22 y 23.

Parámetros seleccionados:

- Posición Splitter: 70°
- Velocidad Alimentación: 380 gramos por minuto
- Velocidad de la correa: 172 RPM



Figura N° 22 Material estéril tras separación magnética



Figura N° 23 Concentrados de separación magnética

La diferencia de la coloración entre las figuras 22 y 23 es marcada, la primera siendo marrón, característica de material estéril y la segunda siendo la negra predominante de minerales pesado, en este caso de ilmenita y minerales de hierro.

Cabe destacar que ambos métodos no usan ningún tipo de químicos o solventes para el procesamiento de material, siendo así tecnologías amigables con el medio ambiente.

4.5 Análisis Químico post Separación Magnética

A pesar de tener cinco muestras, solo se utilizaron las muestras 05 Rio1, 08 Rio3 y 07 Rio2 para una segunda fluorescencia de rayos X, posterior a la separación magnética, ya que estas eran las que tenían una mayor concentración de titanio de acuerdo a los estudios de difracción y fluorescencia de rayos X.

Tabla 9 Peso de material mixto post separación magnética

Muestra	Peso (Kg)
05 Rio1	0.60
08 Rio3	0.56
07 Rio2	2.12

Tabla 10 Fluorescencia de rayos X post separación gravimétrica y magnética

MUESTRA	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	CaO %	Fe ₂ O ₃ %	K ₂ O %	MnO %	TiO ₂ %
05R1-MXMES	23.29	4.08	2.32	11.31	1.20	0.21	9.56
05R1-PESADOSMES	3.60	1.13	1.04	39.48	0.36	0.66	27.70
05R1-MXMESMGT	2.77	1.16	1.10	39.76	0.33	0.70	27.47
07R2-MXMES	18.87	3.44	1.94	19.44	0.95	0.35	15.34
07R2-PESADOMES	3.39	1.02	0.83	40.57	0.36	0.64	26.84
07R2-MXMESMGT	2.87	1.56	0.74	43.86	0.33	0.66	26.94
08R3-MXMES	26.67	4.48	2.29	8.45	1.48	0.15	5.86
08R3-PESADOMES	3.53	1.09	0.91	41.31	0.36	0.62	25.89
08R3-MXMESMGT	2.18	0.86	0.86	42.01	0.33	0.58	25.72

En la tabla 10 están representados todos entre los porcentajes de los patrones utilizados para una segunda fluorescencia de rayos x. Se destacan los porcentajes de SiO₂, Fe₂O₃ y TiO₂, donde se disminuyó drásticamente el porcentaje de óxido de sílice de los productos mixtos de la mesa después de un tratamiento por el separador magnético, llegando a ser bastante similares los porcentajes del producto concentrado (con identificación pesadomes y mxmesmgt) en TiO₂ de la separación magnética y gravimétrica. El producto final tiene una mejor calidad en cuanto al contenido de sílice, en el cual tenía concentraciones en la tabla 1 de 30-40 %, y disminuyeron a 2-4%.

4.6 Calculo de Tenor e Índices Metalúrgicos

La tabla 11 muestra los valores de tenor y peso durante todo el proceso de

concentración, primaria y secundaria. El tenor Amesa representa el tenor de alimentación a la mesa tipo Wilfley junto con su peso en Kg, el tenor Cmesa es del concentrado o pesado resultante del proceso. El tenor Mmesa es el tenor del Mixto del equipo, el cual fue pasado al concentrador magnético y se obtuvo un Tenor Cmag. Los tenores de concentrados en ambos equipos son significativamente más altos que los de alimentación de los mismos; así como el tenor del mixto de la mesa en 08 Rio3 y 07 Rio2 es más elevado que el tenor de la alimentación al equipo, demostrando así, que ocurre ya una concentración en el resultado mixto de la mesa tipo Wilfley.

Tabla 11 Tenores y pesos en mesa tipo Wilfley y Separador magnético

Muestra	Tenor Amesa	Peso (Kg)	Tenor Cmesa	Peso (Kg)	Tenor Mmesa	Peso (Kg)	Tenor CMagn	Peso (Kg)
05 Rio1	52.91	2.2	0.96	0.564	40.81	1.47	0.97	0.6
08 Rio3	36.70	2.24	0.96	0.262	47.86	1.17	0.97	0.56
07 Rio2	62.20	4.41	0.96	0.623	65.83	3.22	0.97	2.12

Se muestran los resultados de los cálculos de Porcentaje de recuperación (%R), razón de concentración (RC) y razón de enriquecimiento (Re) obtenidos en la mesa tipo Wilfley a partir de la alimentación a la misma y del separador magnético alimentado del producto mixto de la concentración gravimétrica.

Tabla 12 Índices metalúrgicos

Muestra	RC Mesa	RC Mag	% R Mesa	% R Mag	Re Mesa	Re Mag
05 Rio 1	3.90	2.45	46.52	97	1.81	2.38
08 Rio 3	8.55	2.08	30.60	97	2.62	2.03
07 Rio 2	7.08	1.51	21.80	97	1.54	1.47
Promedio	6.51	2.01	32.97	97	1.991	1.959

Se calculó el promedio de los índices de las 3 muestras para contrastar las diferencias entre los equipos. Con respecto a la Razón de enriquecimiento (Re) la diferencia no

es significativa, por lo cual se puede concluir que ambos equipos tienen comportamientos similares con el material; ahora bien, en cuanto a la razón de concentración (RC) de la mesa tipo Wilfley se necesitan 6.51 toneladas de material para producir 1 tonelada de concentrado y en el caso del separador magnético con solo 2.0 toneladas se obtiene 1 tonelada de concentrado, es decir un 300% de menor cantidad de material para procesamiento. De igual manera cuando analizamos los porcentajes de recuperación (%R) de los mismos equipos, se evidencia que con el separador magnético se logra una recuperación del 97% a diferencia de la mesa tipo Wilfley, donde el porcentaje de recuperación es del 32.97%, es decir casi un 300% menos.

La respuesta magnética del material es mejor que por métodos gravimétricos, ya que es posible procesar una mayor cantidad de material por minuto, es necesaria menor cantidad para obtener concentrado y además el porcentaje de recuperación es bastante elevado, obteniendo concentrados con bajo contenido de sílice.

Se presenta a continuación una comparación de los índices metalúrgicos en los gráficos 11, 12 y 13.

En los anexos 2, 3 y 4 se encuentra información resumida de cada muestra con respecto a los índices metalúrgicos de cada una, información granulométrica y resultados detallados.

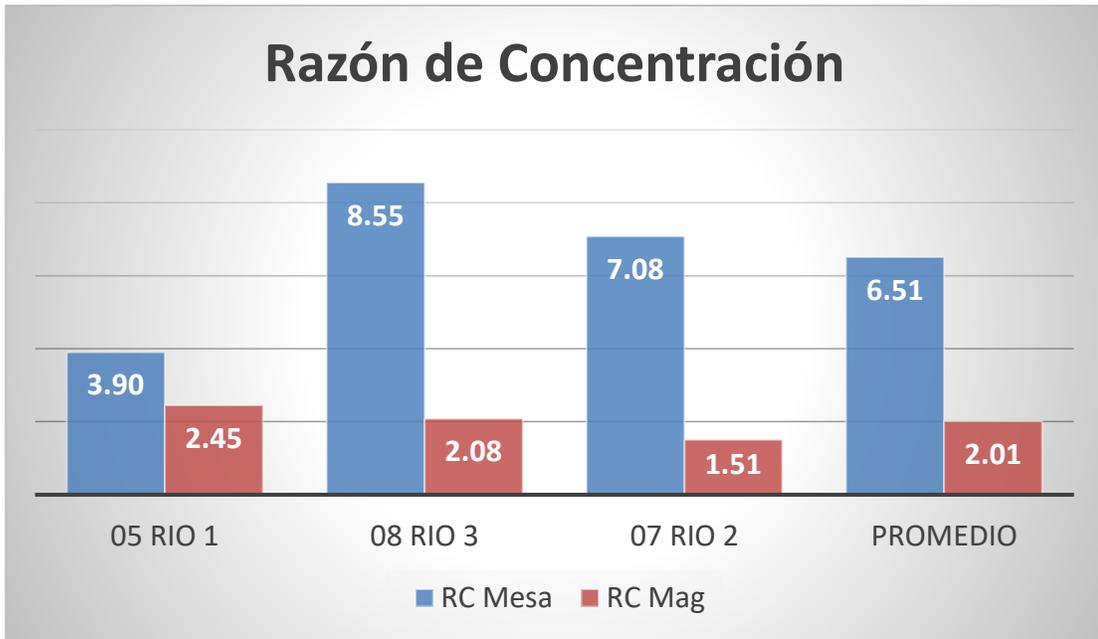


Gráfico N° 11 Razón de concentración

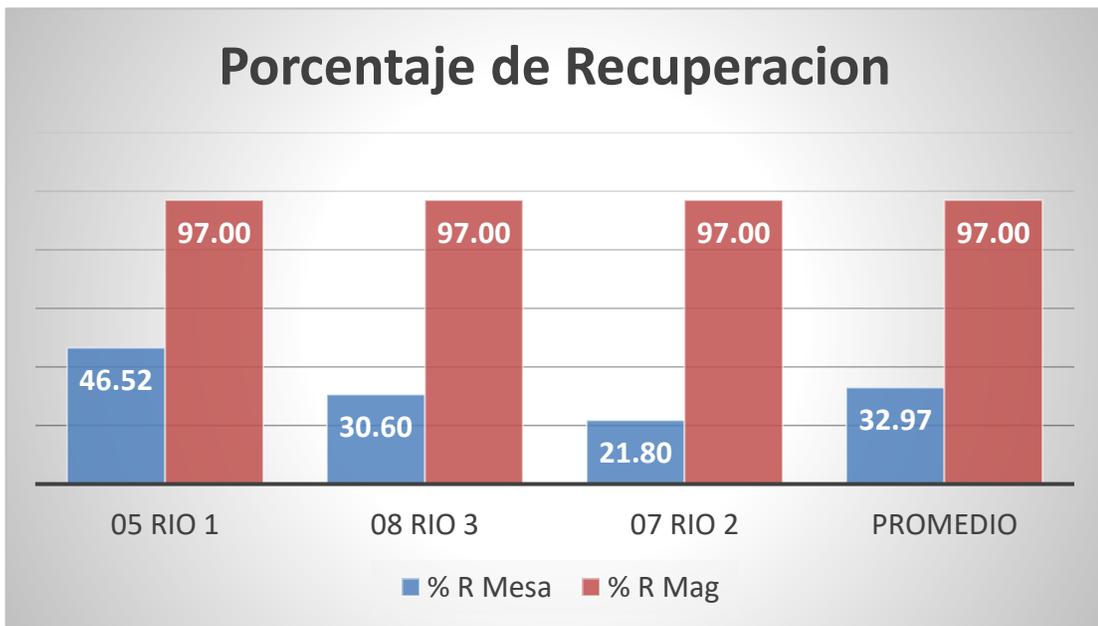


Gráfico N° 12 Porcentaje de Recuperación

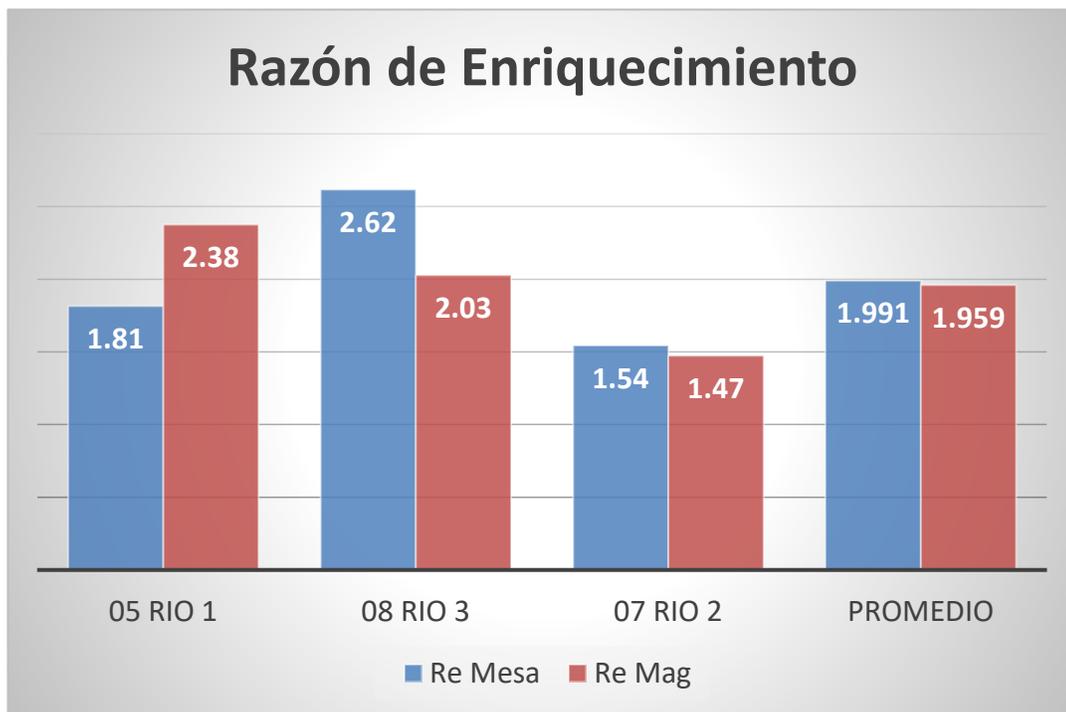


Gráfico N° 13 Razón de enriquecimiento

CAPITULO V

DISEÑO FINAL

Formulación del circuito de beneficio mineral

La figura 24 representa el diseño conceptual obtenido en el laboratorio de Beneficio Mineral, perteneciente a la Escuela de Geología, Minas y Geofísica de la Universidad Central de Venezuela.

Además se presentan dos diseños de modelo para una planta piloto, en el cual se extrapolan los resultados obtenidos en el laboratorio.

Selección de equipos

Es importante destacar que para una buena concentración, es necesario considerar una buena liberación de partículas, la distribución de tamaños en la alimentación y la diferencia de la densidad de los sólidos a separar o características especiales del mineral; por lo tanto, la selección de equipos para la propuesta de diseño está basada en la previa caracterización química, mineralógica y granulométrica del material; aunado a la revisión bibliográfica y a las características de la ilmenita. Además la necesidad específica de cada equipo, como puede ser uso de agua, gas, consumo energético, uso de químicos; es otro factor importante para la consideración de selección.

Clasificación Dimensional

Cribado

El material proviene de una pila de homogenización en húmedo, por lo tanto el cribado a realizarse es en el mismo estado que es recibido. De las 5 muestras analizadas en un principio, aproximadamente un 40% del material es pasante del tamiz 40 ASTM (0.425mm); por lo tanto para obtener de 16 toneladas de pasante malla 40 (modelo de planta piloto), se deben alimentar 40 toneladas al día.

El equipo seleccionado para este proceso de cribado fue una criba vibratoria curva

vibrosieve VS500, de poliuretano, con sección de paso trapecial y aberturas de 0.25 hasta 2 mm, la cual está destinada a procesos de clasificación de minerales en procesos de concentración gravimétrica o separación magnética. Las capacidades de este equipo van de 5 a 24 toneladas por hora en arenas.

Concentración primaria

La fracción granulométrica obtenida del cribado, puede ser concentrada en manera primaria de dos maneras. La primera, de manera gravimétrica con mesas vibratorias con un costo menor a 20.000 dólares. Este equipo tiene capacidades de 1.5 toneladas por hora, hasta 50 toneladas por hora dependiendo del material. Para el material utilizado, la capacidad puede ser de 2 toneladas por hora. Para las 16 toneladas obtenidas del cribado previo, se obtienen 1.232 kilos de material concentrado, 10.174 kilos de material mixto y 4.593 kilos de estéril.

La segunda opción, es un equipo de concentración magnética en húmedo, este equipo no ha sido probado en el laboratorio, sin embargo debido a la respuesta magnética del material, se recomienda y se sugiere en usos a nivel industrial un separador magnético de tambor en húmedo. El separador magnético sugerido es el Eriez 470 Wet Drum Separator con un costo de 50.000 dólares.

Concentración Secundaria

La segunda etapa de concentración consiste en el desbaste de la fracción mixta obtenida de la mesa vibratoria por un equipo de concentración magnética. Existen dos opciones para esta concentración magnética, una separación en seco y una separación en húmedo. Para la separación en seco es necesario utilizar un secador rotativo de capacidad 2-5 toneladas por hora, para posteriormente iniciar la separación magnética con un separador magnético de rodillo de tierras raras Eriez, el cual fue probado en laboratorio y alcanza capacidades de 136 kilos por hora, pero para la ilmenita a gran escala es sugerido de 45-90 kilos por hora según datos de fábrica, con una intensidad de campo de hasta 2 tesla, este equipo es a escala de laboratorio; para nivel industrial

el equipo alcanza capacidades de hasta 12 toneladas por hora y en 3 escalas. La segunda opción es utilizar un separador magnético de alta intensidad en húmedo para evitar el secador rotativo, cabe destacar que este equipo no fue probado en laboratorio, sin embargo debido a la respuesta magnética del material se esperan buenos resultados, igualmente la intensidad de campo puede llegar a 1.2 tesla, campo al cual la ilmenita responde perfectamente, al igual que los minerales de hierro y dependiendo del modelo tiene capacidades entre 0.3 y 250 toneladas por hora. Ambos equipos, tanto en seco como en húmedo son de alto costo, con una inversión mínima de 150.000 dólares.

En este trabajo de investigación se obtuvo un diseño a nivel de laboratorio de un circuito de beneficio para la recuperación de ilmenita de la zona de San Quintín, estado Yaracuy; además sugieren 2 diseños para planta piloto, de los cuales los equipos están disponibles para capacidades mayores a las utilizadas. Para esta selección de equipos, claro esta es necesario acondicionar la zona de San Quintín para el desarrollo minero y realizar estudios más profundos con respecto a los recursos disponibles. Se recomienda trabajar preferiblemente con la segunda propuesta de planta piloto, ya que a diferencia de la primera evita el uso del secador, con base en que existen 3 quebradas en el macizo San Quintín, estado de humedad en el que fue recibido el material y costos iniciales de inversión de equipos.

CIRCUITO A NIVEL DE LABORATORIO

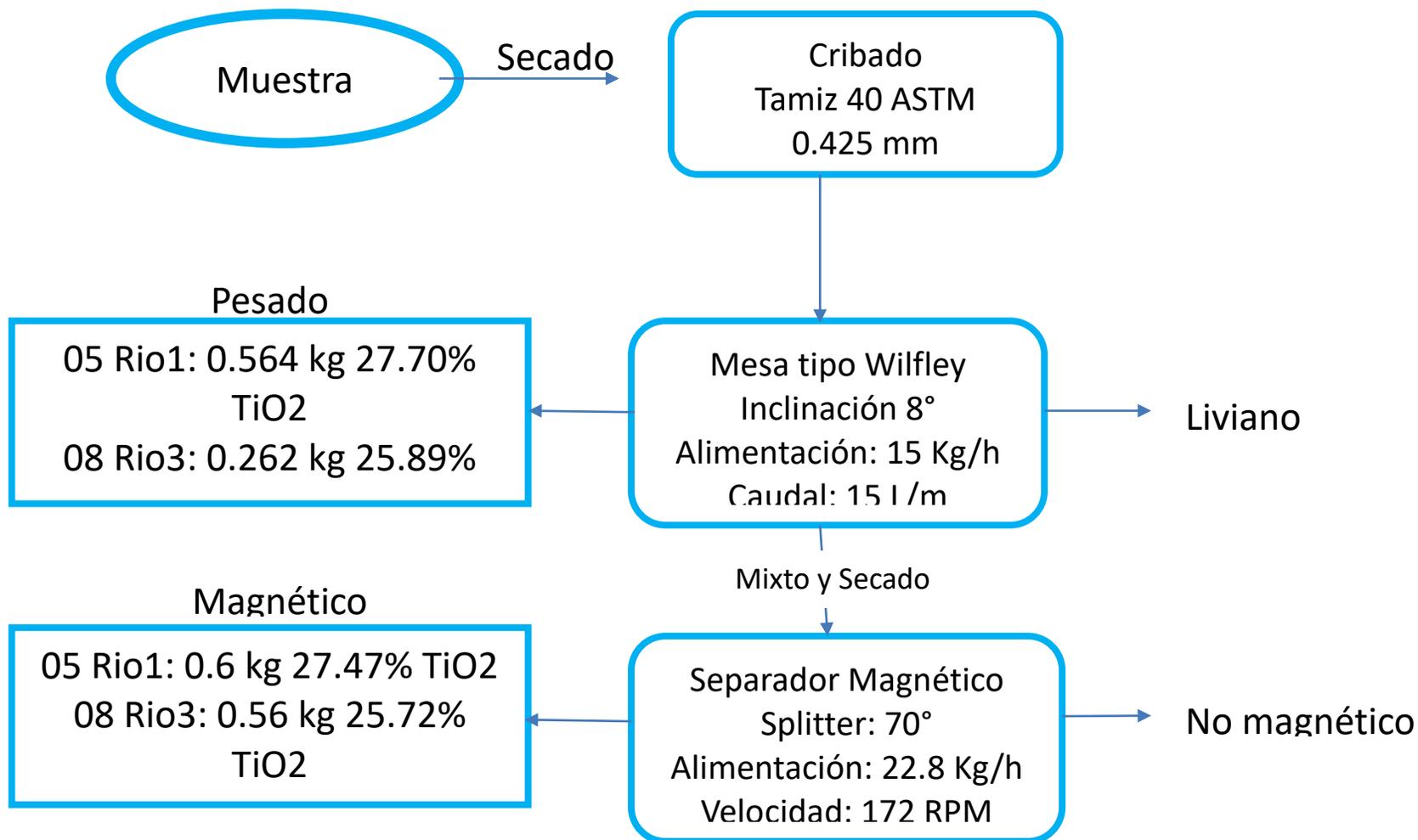


Figura N° 24 Diseño conceptual obtenido a nivel de laboratorio

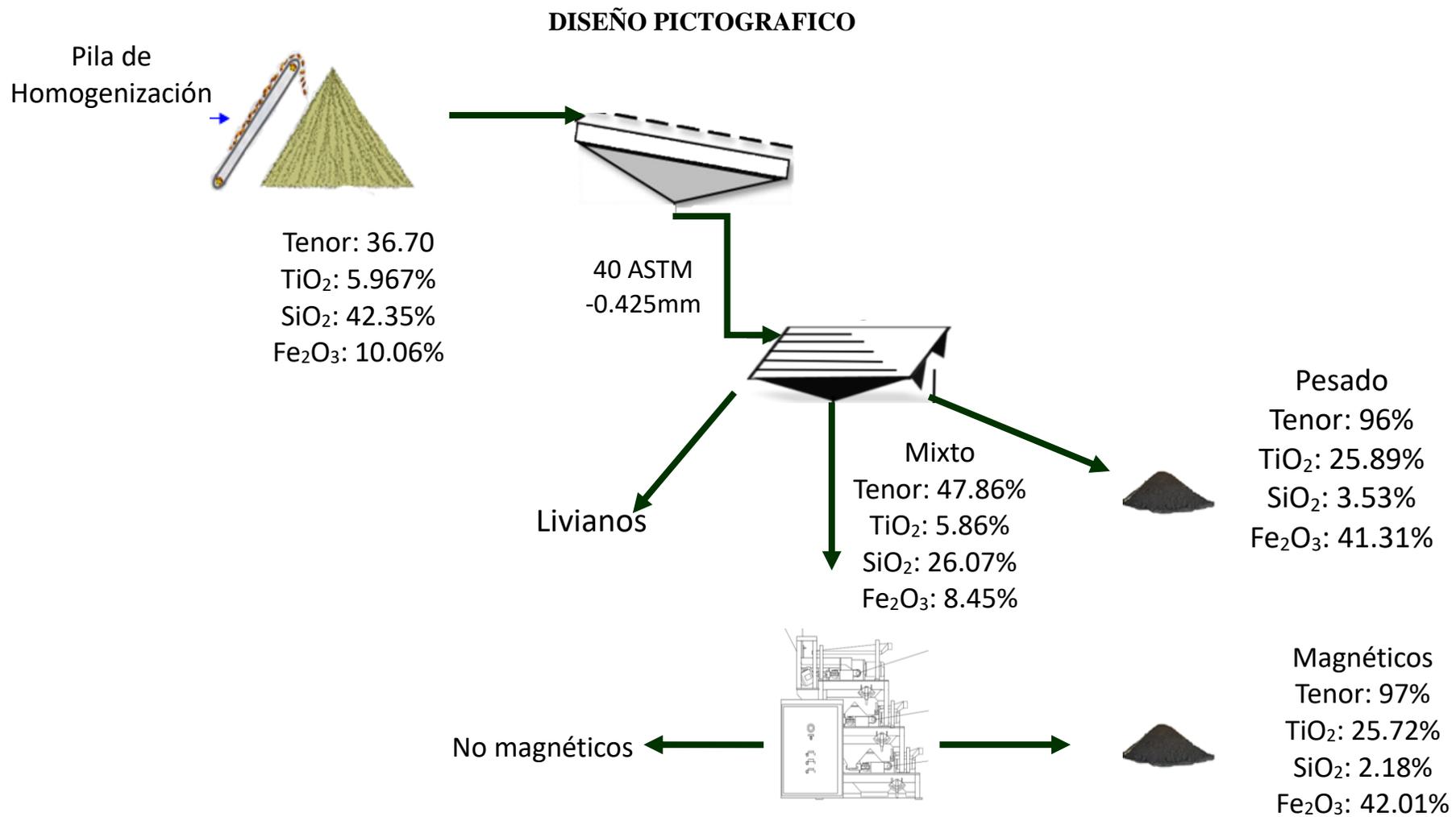


Figura N° 25 Diseño pictográfico de circuito de laboratorio

PROPUESTA PLANTA PILOTO

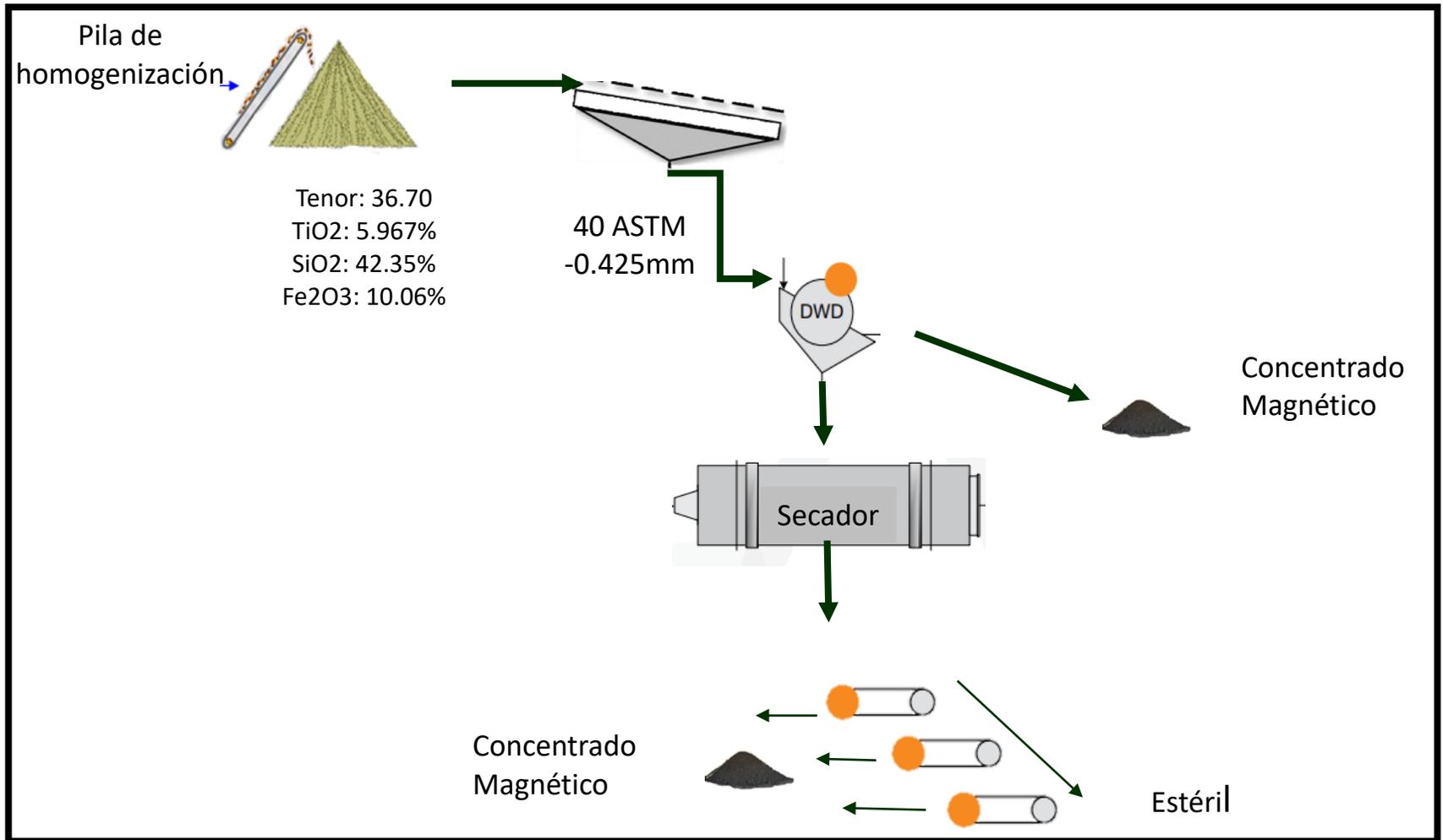


Figura N° 26 Diseño planta piloto 1 para procesar 40 tn/día

PROPUESTA PLANTA PILOTO

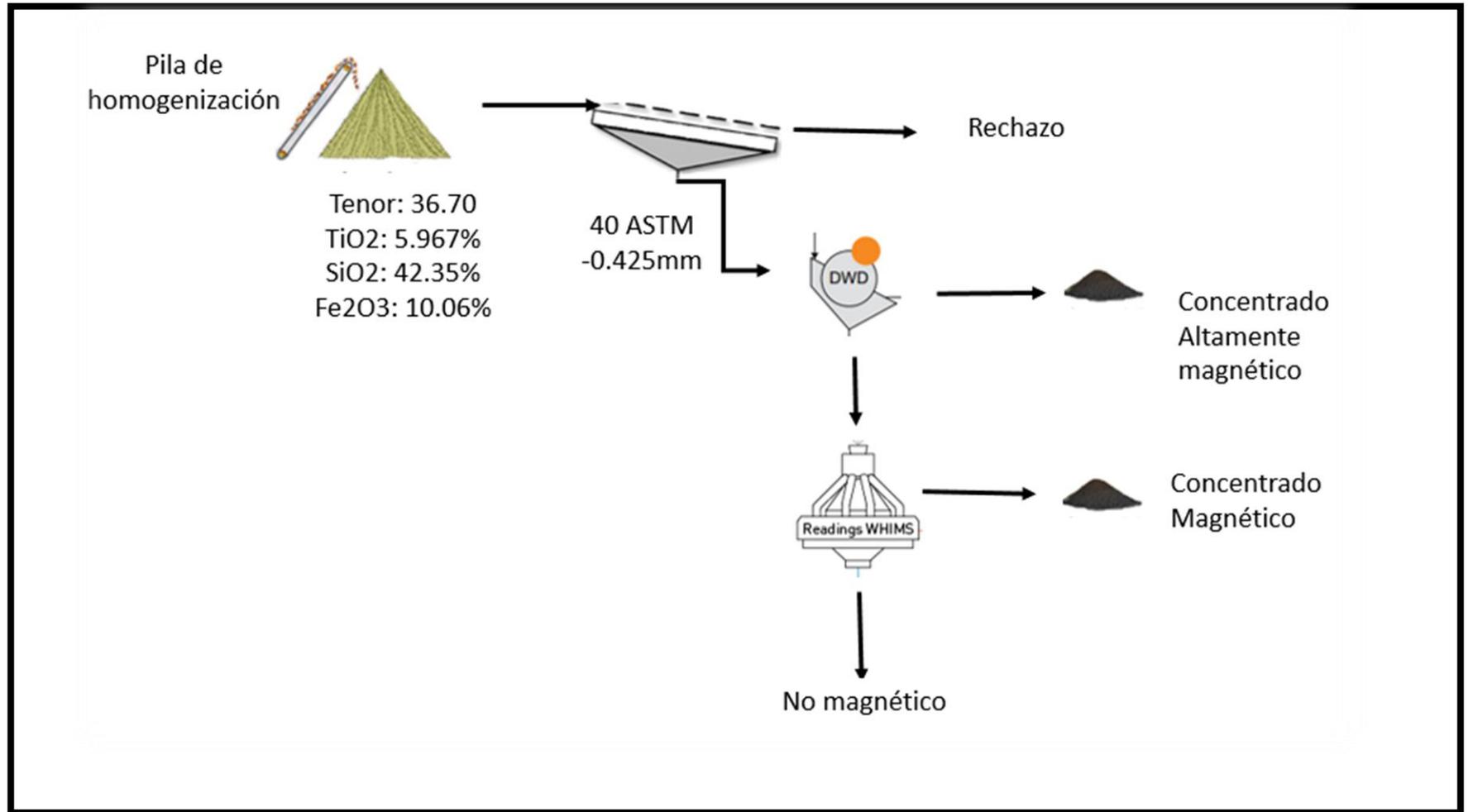


Figura N° 27 Diseño planta piloto 2 para procesar 40 tn/día

CAPITULO VI

CONCLUSIONES

- De acuerdo a la caracterización mineralógica por la técnica de DRX realizada en este estudio del área de San Quintín, donde afloran dos unidades litológicas, la unidad metavolcanosedimentaria de San Quintín, donde hay una matriz de minerales de hierro como la magnetita y hematita; la segunda unidad es la meta-gabro anortositica de Yumare donde afloran segregaciones primarias de ilmenita; se determinó que en todas las muestras había presencia de minerales de hierro, sin embargo solo en tres de las mismas había presencia de ilmenita. Mediante la técnica de FRX-ED en este estudio, arrojo que en todas las muestras había presencia de óxido de hierro y oxido de titanio, por lo cual hay una incongruencia que se debe a que posiblemente la ilmenita estaba por debajo de los límites de cuantificación del equipo de DRX.
- En este estudio se utilizaron métodos gravimétricos y magnéticos para separar y concentrar ilmenita y minerales de hierro asociados, utilizando la mesa tipo Wilfley y un separador magnético de rodillo de tierras raras, los rangos operacionales de los parámetros de los equipos fueron seleccionados en base a la granulometría y antecedentes bibliográficos, donde se reportaban resultados favorables para la mesa tipo Wilfley con ángulos entre 4 y 10°, caudales de 2 a 15 Litros por minuto y alimentaciones de hasta 15 Kg por hora. Con respecto al separador magnético Eriez, los parámetros fueron obtenidos de fábrica y ajustados mediante pruebas, los cuales son resumidos en la tabla 13.
- Los índices metalúrgicos precisan la calidad de la separación efectuada en este trabajo, Razón de enriquecimiento (Re), Razón de concentración (Rc) y Porcentaje de recuperación (%R), apoyándose previamente en el balance de masas. La razón de enriquecimiento no mostro una diferencia significativa entre los dos equipos utilizados, sin embargo la razón de concentración y el porcentaje de recuperación se inclinaron a favor del separador magnético de

rodillo de tierras raras Eriez, siendo alrededor del 300% mejor en cuanto a ambos índices.

- El circuito final a nivel de laboratorio está formado por una concentración gravimétrica primaria basada en la densidad de los minerales que componen las muestras, con una mesa tipo Wilfley modelo 13A y parámetros de ángulo de inclinación de 8°, caudal de 15 Litros por minuto y alimentación de 250 gramos por minuto, donde las inclinaciones mayores a 9° resultaba en acumulación de material pesado en la parte de ligeros e inclinaciones menores a 6° resultaba en material estancado en la mesa, al igual que una alimentación más rápida causaba una saturación de material en la mesa, caudales menores a 10 Litros por minuto no realizaban deslamado, y mayores a 15 Litros por minuto causaba una acumulación del material pesado en los livianos y mixtos.
- El producto final tiene un 700% menos de contenido de sílice, 350% más de óxido de titanio y 300% más de óxido de hierro; donde todo el óxido de titanio está asociado a la ilmenita, parte del óxido de hierro está asociado a la ilmenita y el resto a minerales de hierro como hematita.

Mesa tipo Wilfley	
Caudal	15 Litros por minuto
Velocidad de Alimentación	250 gramos por minuto
Inclinación	8°
Separador Magnético	
Posición Splitter	70°
Velocidad de Alimentación	380 gramos por minuto
Velocidad Correa	172 RPM

Tabla 13. Resumen de parámetros obtenidos

RECOMENDACIONES

Prospección y exploración

- Realizar un muestreo sistemático de la zona para determinar los recursos disponibles y poder diseñar un variograma en función de la geología de la zona.

Líneas de Investigación

- Combinar una separación electrostática al circuito propuesto en este trabajo, en base a la revisión bibliográfica y antecedentes de respuesta del mineral ante este método.
- Se sugiere realizar mantenimiento a la correa del equipo Eriez 730 con los representantes en Venezuela, de lo contrario abstenerse a manipular la misma debido a lo delicado del Kevlar que está hecha.

Industrial

- Utilizar un separador magnético de tambor en húmedo como separación primaria en vez de mesa tipo Wilfley, basándose en la respuesta favorable del material ante los métodos magnéticos y además es un método que requiere menor utilización de agua, siendo así más amigable con el medio ambiente y menor supervisión por parte de un operador.

BIBLIOGRAFIA

- Aguilar Asanza, M., & Corella Merizalde, J. (Mayo de 2016). Diseño y construcción de una mesa concentradora para la optimización del proceso de extracción de Oro en una empresa minera de Zaruma. Guayaquil, Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana del Ecuador.
- Bedinger, G. (Marzo de 2018). Titanium. *2015 Minerals Yearbook*. Estados Unidos: U.S. Geological Survey.
- Bellizia, A., & Rodríguez, G. (1976). Geología del estado Yaracuy. Caracas: Mem. IV Congr. Geol. Venezolano. Bol. Geol. Public. Esp 5.
- Bellizia, Rodríguez, & Zambrano. (1970). Mapa geológico y de recursos minerales del edo. yaracuy. Venezuela: Ministerio de Minas e Hidrocarburos.
- Bustamante, O., Gaviria, A., & Restrepo, O. (2008). Concentración de minerales. Medellín, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Chácon, L. (1990). Beneficio y clorinación a lecho fijo de ilmenita proveniente de arenas negras aluviales venezolanas. Caracas: Universidad Central de Venezuela.
- Cortez, J., & Guillen, N. (2010). Segunda unidad del curso de química iii. industria minero-metalúrgica. Mexico: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Deiana, A., Granados, D., & Sardella, M. (2018). Balance de Masa. San Juan, Argentina: Universidad Nacional de San Juan.
- González, F., Crespo, A., & Urbani, F. (01 de 01 de 2008). Geología de los macizos igneo-metamórficos del norte de Yumare, estado Yaracuy y Falcon. Venezuela.
- Hurtado, J. (2010). Guía para la comprobación holística de la ciencia. Caracas, Venezuela.
- Kelly, E., & Spottiswood, D. (1990). Introducción al procesamiento de materiales. Ciudad de México, México: Lumusa.
- Ndimande, S., Durgean, U., Labuschagne, J., Buthelezi, N., Nam, J., Hulley, J., & Khoza, I. (9 de Marzo de 2016). Gravity concentration- Shaking Table.

Sudafrica.

- Pacheco, A. (Abril de 1976). Ensayos Industriales de la Mena Titanifera de San Quintin, Edo Yaracuy. Caracas, Venezuela: Universidad Central de Venezuela.
- Pavez, O. (s.f.). Apuntes de Concentracion de Minerales II. Atacama, Chile: Universidad de Atacama.
- Pelaez, E. (1981). Preparación y Concentración de Minerales. Caracas, Venezuela: Universidad Central de Venezuela.
- Perez, M., Vargas, K., Bisbal, R., Melendez, W., Marrero, S., & Gonzalez, L. (Noviembre de 2018). Determinación de elementos mayoritarios en minerales que contienen niobio y tántalo mediante fluorescencia de rayos x por dispersión de energía. Caracas, Venezuela.
- Rodríguez, S. (1975). Anortositas titaníferas del Complejo de San Quintín, estado Yaracuy. Caracas: Ministerio de Energia e Hidrocarburos, Dirección de Geología, División de Recursos Minerales.
- Rodriguez, S. (1986). Recursos minerales de venezuela. Caracas, Venezuela: Producciones graficas Reveron.
- Sarmiento Santiago, P. M. (Diciembre de 2011). Definición y análisis del proceso más ventajoso para la concentración de la Ilmenita presente en la arena de la playa Ventanilla en el Estado de Oaxaca. Mexico D.F, Mexico: Universidad Nacional Autonoma de Mexico.
- Urbani, F., Gonzalez, A., Mendi, D., & Camposano, A. (2007). Consideraciones geológicas y geoquímicas de la zona de Yumare, estados Falcón y Yaracuy. Venezuela. Caracas: Boletin de la Academia de Ciencias Fisicas, Matemáticas y Naturales.
- Urbani, F., Grande, S., Gomez, A., Mendi, D., Reategui, W., & Baquero, M. (Junio de 2015). Descripción estratigráfica actualizada de algunas unidades geológicas de la región comprendida entre Carora y Cabo Codera, Venezuela. Caracas, Venezuela: Universidad Central de Venezuela. Escuela de Geología, Minas y Geofísica.

Valderrama, L. (2008). Concentración de minerales de titanio contenidos en las arenas de playas de la region de atacama-chile. Chile: Universidad de Atacama.

Vilcapoma, J., & Chavez, Z. (2012). Prueba experimental a nivel de laboratorio de concentracion gravimetrica y flotacion de minerales de oro en la planta concentradora "Caselita" en Condoroma- cuzco. Huancayo, Peru.

ANEXO 1

Instrumento de recolección de datos:

Se tomaron en cuenta las variables modificables de los equipos a utilizar para ajustarlas de acuerdo a las características del material.

1. Recolección de datos para mesa tipo Wilfley

Fecha	(1.1)Número de Prueba	(1.2)Caudal	(1.3)Velocidad de Alimentación	(1.4)Angulo de inclinación

2. Recolección de datos para separador magnético Eriez

Fecha	(2.1)Número de prueba	(2.2)Posición Splitter	(2.3)Velocidad de Alimentación	(2.4)Velocidad de correa

Observación: _____

ANEXO 2

MUESTRA 05 RIO 1

	
<p>Pesado Mesa tipo Wilfley Mixto tratado por el separador magnético</p>	<p>Mixto mesa tipo wilfley Estéril y magnético</p>
	

Análisis de fluorescencia de rayos X

Muestra	SiO₂ %	Al₂O₃ %	CaO %	Fe₂O₃ %	K₂O %	MnO %	TiO₂ %
05 Rio 1 Inicial	43.80	9.24	1.78	11.99	1.66	0.22	7.26
05r1-Mxmes	23.29	4.08	2.32	11.31	1.20	0.21	9.56
05r1- Pesadosmes	3.60	1.13	1.04	39.48	0.36	0.66	27.70
05r1-Mxmesmgt	2.77	1.16	1.10	39.76	0.33	0.70	27.47

Calculo de índices metalúrgicos

Peso Inicial	Pesado mesa	Mixto mesa	Liviano mesa	Mixto Mag	RC Mesa	RC Mag	Re mesa	Re mag	%R mag	%R Mesa
2.2 Kg	0.564	1.47	0.166	0.6	3.90	2.45	1.81	2.38	97	46.52

Análisis granulométrico

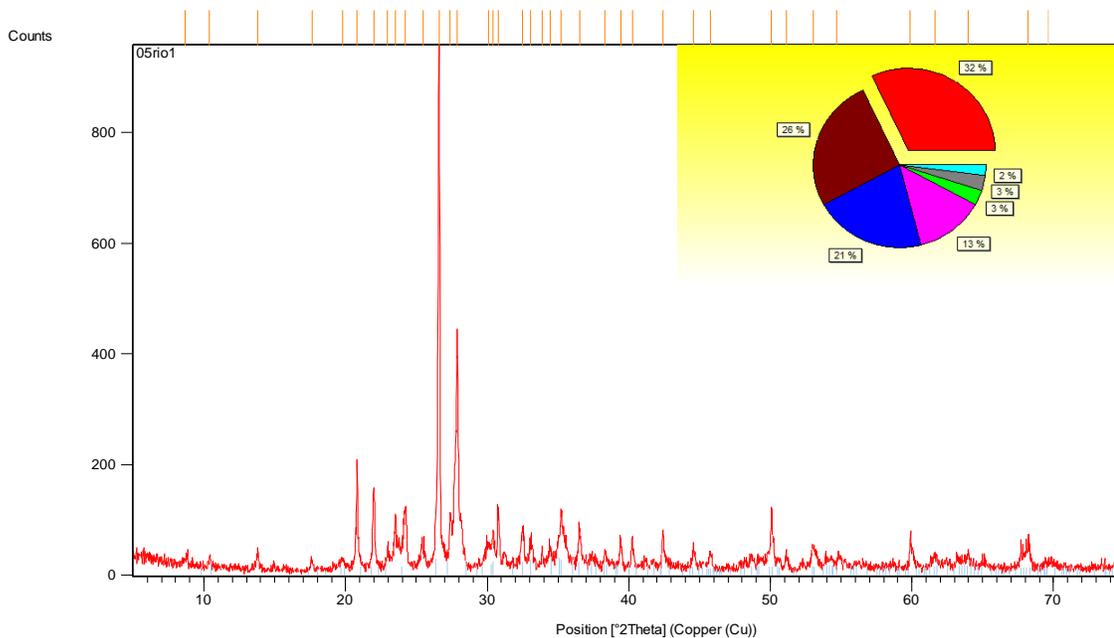
Tamiz	Abert (mm)	Abert (mm)	PESO RET (g)	% RET PAR	% RET AC	% PASANTE
10	2	1.42	28.20	14.10	14.10	85.90
20	0.84	0.63	32.40	16.20	30.30	69.70
40	0.42	0.34	71.60	35.80	66.10	33.90
60	0.25	0.23	35.80	17.90	84.00	16.00
70	0.21	0.19	10.20	5.10	89.10	10.90
100	0.16	0.08	16.50	8.25	97.35	2.65
Bandeja	0	0.00	4.50	2.25	99.60	0.40
			199.2			

Análisis de Difracción de Rayos X

Condiciones de Medición:

Dataset Name	05rio1
File name	E:\DRX espectros\05rio1.rd
Sample Identification	teg alexandra
Comment	Exported by X'Pert SW Generated by Laboratorio in project Proj
Measurement Date / Time	10/05/2019 12:51:00 p.m.
Raw Data Origin	PHILIPS-binary (scan) (.RD)
Scan Axis	Gonio
Start Position [$^{\circ}$ 2Th.]	5,0100
End Position [$^{\circ}$ 2Th.]	74,9900
Step Size [$^{\circ}$ 2Th.]	0,0200
Scan Step Time [s]	0,5000
Scan Type	Continuous
Offset [$^{\circ}$ 2Th.]	0,0000
Divergence Slit Type	Fixed
Divergence Slit Size [$^{\circ}$]	1,0000
Specimen Length [mm]	10,00
Receiving Slit Size [mm]	0,1000
Measurement Temperature [$^{\circ}$ C]	0,00
Anode Material	Cu
K-Alpha1 [\AA]	1,54060
K-Alpha2 [\AA]	1,54443
K-Beta [\AA]	1,39225
K-A2 / K-A1 Ratio	0,50000
Generator Settings	10 mA, 10 kV
Diffractometer Type	PW3710
Diffractometer Number	1
Goniometer Radius [mm]	173,00
Dist. Focus-Diverg. Slit [mm]	91,00
Incident Beam Monochromator	No
Spinning	No

Grafico Principal, Vista de Análisis:



Lista de picos:

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
8,6713	14,15	0,4723	10,19765	1,51
10,3787	16,18	0,2362	8,52362	1,72
13,7988	36,06	0,1181	6,41773	3,84
17,6173	15,76	0,2362	5,03437	1,68
19,7831	12,96	0,4723	4,48783	1,38
20,8101	194,11	0,0787	4,26862	20,67
22,0325	122,72	0,1771	4,03447	13,07
22,9667	27,07	0,2362	3,87243	2,88
23,5044	85,29	0,1181	3,78505	9,08
24,2303	101,64	0,1968	3,67327	10,82
25,4550	30,19	0,3149	3,49926	3,21
26,5886	939,08	0,1378	3,35259	100,00
27,3840	89,91	0,0984	3,25698	9,57
27,8795	390,34	0,1181	3,20022	41,57
30,1015	32,19	0,4723	2,96886	3,43
30,4315	53,79	0,1181	2,93742	5,73
30,7615	84,98	0,0787	2,90665	9,05
32,5177	62,49	0,1574	2,75357	6,65
33,0635	38,39	0,1574	2,70935	4,09
33,8895	26,13	0,1181	2,64518	2,78
34,4515	27,88	0,2362	2,60331	2,97

35,2285	89,26	0,1181	2,54765	9,50
36,5090	64,89	0,1574	2,46119	6,91
38,3335	21,32	0,2362	2,34814	2,27
39,4340	43,07	0,1181	2,28511	4,59
40,2401	47,31	0,1574	2,24117	5,04
42,4037	60,15	0,1574	2,13169	6,41
44,5969	28,86	0,1574	2,03182	3,07
45,7817	24,96	0,1968	1,98196	2,66
50,0893	106,73	0,0787	1,82115	11,37
51,1294	24,87	0,1968	1,78652	2,65
53,0611	32,81	0,3149	1,72595	3,49
54,6489	9,44	0,6298	1,67950	1,00
59,8843	51,99	0,1181	1,54458	5,54
61,6443	19,58	0,3936	1,50463	2,08
63,9546	15,28	0,4723	1,45574	1,63
68,2197	40,95	0,2880	1,37362	4,36
69,6637	7,43	0,9600	1,35198	0,79

Lista de patrones:

Visible	Ref. Code	Score	Compound Name	Displacement [°2Th.]	Scale Factor	Chemical Formula
	01-083-0539	60	Quartz	0,000	0,986	Si O2
	00-009-0466	43	Albite, ordered	0,000	0,434	Na Al Si3 O8
	01-073-1255	32	Ilmenite	0,000	0,091	Fe1.04 Ti.96 O3
	00-041-0586	18	Ankerite	0,000	0,072	Ca (Fe +2 , Mg) (C O3)2
	01-071-1153	19	Albite high	0,000	0,172	Na (Al Si3 O8)
	01-074-1758	6	Dickite	0,000	0,103	Al2 Si2 O5 (O H)4 (H C O N H2)
	01-075-0701	13	Enstatite	0,000	0,082	Mg28.25 Sc3.81 Co4.36 Li1.4 Si36.49 O112

ANEXO 3

MUESTRA 08 RIO 3

	
<p>Pesado Mesa tipo Wilfley Mixto tratado por el separador magnético</p>	<p>Mixto mesa tipo wilfley Estéril separación magnética</p>
	

Muestra	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	CaO %	Fe ₂ O ₃ %	K ₂ O %	MnO %	TiO ₂ %	V (ppm)
08 Rio 3 Inicial	42.35 5	9.216	1.834	10.061	1.831	0.194	5.967	535.35 3
08r3-Mxmes	26.67	4.48	2.29	8.45	1.48	0.15	5.86	455.26
08r3- Pesadomes	3.53	1.09	0.91	41.31	0.36	0.62	25.89	2199.6 6
08r3- Mxmesmgt	2.18	0.86	0.86	42.01	0.33	0.58	25.72	1755.1 8

Análisis de fluorescencia de rayos X

Calculo Índices metalúrgicos

Peso Inicial	Pesado mesa	Mixto mesa	Liviano mesa	Mixto Mag	RC Mesa	RC Maga	Re mesa	Re maga	%R maga	%R Mesa
2.24 Kg	0.262	1.17	0.808	0.56	8.55	2.08	2.62	2.03	97	30.5 9

Análisis granulométrico

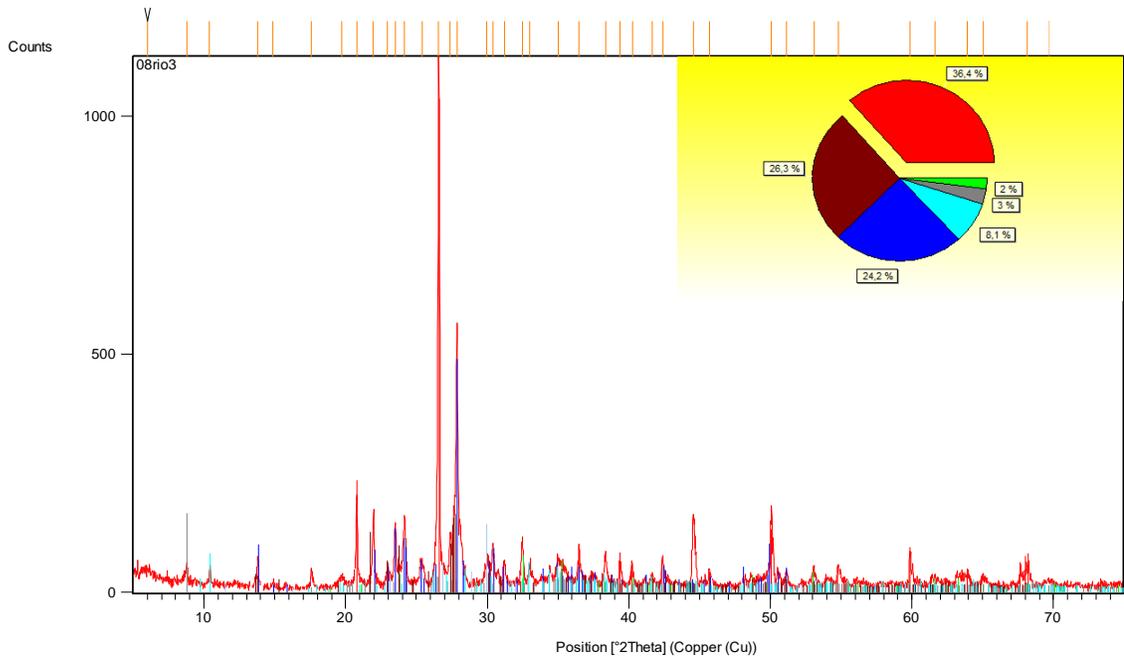
Tamiz	Abert (mm)	Abert (mm)	PESO RET (g)	% RET PAR	% RET AC	% PASANTE
10	2	1.42	22.80	11.40	11.40	88.60
20	0.84	0.63	31.30	15.65	27.05	72.95
40	0.42	0.34	74.10	37.05	64.10	35.90
60	0.25	0.23	39.10	19.55	83.65	16.35
70	0.21	0.19	11.20	5.60	89.25	10.75
100	0.16	0.08	13.80	6.90	96.15	3.85
Bandeja	0	0.00	6.80	3.40	99.55	0.45
			199.1			

Análisis de difracción de rayos X:

Condiciones de medición:

Dataset Name	08rio3
File name	E:\DRX espectros\08rio3.rd
Sample Identification	teg alexandra
Comment	Exported by X'Pert SW Generated by Laboratorio in project Proj
Measurement Date / Time	10/05/2019 12:19:00 p.m.
Raw Data Origin	PHILIPS-binary (scan) (.RD)
Scan Axis	Gonio
Start Position [$^{\circ}$ 2Th.]	5,0100
End Position [$^{\circ}$ 2Th.]	74,9900
Step Size [$^{\circ}$ 2Th.]	0,0200
Scan Step Time [s]	0,5000
Scan Type	Continuous
Offset [$^{\circ}$ 2Th.]	0,0000
Divergence Slit Type	Fixed
Divergence Slit Size [$^{\circ}$]	1,0000
Specimen Length [mm]	10,00
Receiving Slit Size [mm]	0,1000
Measurement Temperature [$^{\circ}$ C]	0,00
Anode Material	Cu
K-Alpha1 [\AA]	1,54060
K-Alpha2 [\AA]	1,54443
K-Beta [\AA]	1,39225
K-A2 / K-A1 Ratio	0,50000
Generator Settings	10 mA, 10 kV
Diffractometer Type	PW3710
Diffractometer Number	1
Goniometer Radius [mm]	173,00
Dist. Focus-Diverg. Slit [mm]	91,00
Incident Beam Monochromator	No
Spinning	No

Gráfico principal, vista de análisis:



Lista de picos:

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
6,0118	12,49	0,9446	14,70161	1,15
8,7846	36,32	0,1574	10,06641	3,36
10,3919	21,65	0,2362	8,51276	2,00
13,8069	58,72	0,0984	6,41396	5,43
14,8767	11,52	0,2362	5,95504	1,06
17,6015	32,08	0,1574	5,03886	2,96
19,7436	18,39	0,3149	4,49672	1,70
20,7916	178,32	0,1181	4,27238	16,48
21,9470	127,14	0,1378	4,05000	11,75
22,9606	40,27	0,1181	3,87345	3,72
23,4976	121,62	0,0984	3,78614	11,24
24,1630	131,35	0,1574	3,68336	12,14
25,4007	42,78	0,3149	3,50662	3,95
26,5605	1082,31	0,1378	3,35607	100,00
27,3642	97,56	0,1378	3,25930	9,01
27,8675	544,54	0,0984	3,20157	50,31
29,9682	45,51	0,2362	2,98176	4,21
30,4217	71,34	0,1181	2,93834	6,59
31,1978	43,29	0,1574	2,86699	4,00

32,4687	90,66	0,1378	2,75762	8,38
33,0142	36,04	0,1574	2,71328	3,33
35,0053	42,67	0,3936	2,56338	3,94
36,4746	64,71	0,1574	2,46343	5,98
38,3557	53,79	0,1181	2,34683	4,97
39,4034	44,01	0,1574	2,28681	4,07
40,2433	31,60	0,1574	2,24100	2,92
41,6636	11,41	0,2362	2,16783	1,05
42,3900	56,53	0,1574	2,13235	5,22
44,5754	142,80	0,1968	2,03275	13,19
45,7063	36,48	0,1181	1,98505	3,37
50,0788	157,70	0,0984	1,82150	14,57
51,1430	26,16	0,1968	1,78608	2,42
53,0698	24,71	0,3149	1,72568	2,28
54,8268	26,21	0,2362	1,67447	2,42
59,8716	70,87	0,0787	1,54487	6,55
61,6093	14,44	0,4723	1,50541	1,33
63,8907	20,02	0,7872	1,45704	1,85
65,0610	11,29	0,4723	1,43364	1,04
68,1652	35,97	0,3840	1,37458	3,32
69,7048	8,10	0,7680	1,35129	0,75

Lista de Patrones:

Visible	Ref. Code	Score	Compound Name	Displacement [°2Th.]	Scale Factor	Chemical Formula
*	01-083-0539	59	Quartz	0,000	0,898	Si O2
*	00-009-0466	46	Albite, ordered	0,000	0,414	Na Al Si3 O8
*	01-073-1255	21	Ilmenite	0,000	0,054	Fe1.04 Ti.96 O3
*	01-074-1758	9	Dickite	0,000	0,130	Al2 Si2 O5 (O H)4 (H C O N H2)
*	01-083-1613	22	Albite high	0,000	0,125	Na (Al Si3 O8)
*	01-085-1423	12	Ferropargasite	0,000	0,058	Na Ca2 (Fe , Mg)4 Al (Si6 Al2) O22 (O H)2

ANEXO 4

MUESTRA 07 RIO 2

	
<p>Pesado Mesa tipo Wilfley Mixto tratado por el separador magnético</p>	<p>Mixto mesa tipo wilfley Estéril separación magnética</p>
	

Análisis de fluorescencia de rayos X

Muestra	SiO2 %	Al2O3 %	CaO %	Fe2O3 %	K2O %	MnO %	TiO2 %	V(ppm)
07 Rio2 Inicial	31.814	8.297	1.695	17.787	1.245	0.288	13.367	1136.83
07r2-Mxmes	18.87	3.44	1.94	19.44	0.95	0.35	15.34	1243.19
07r2-Pesadomes	3.39	1.02	0.83	40.57	0.36	0.64	26.84	2167.03
07r2-Mxmesmgt	2.87	1.56	0.74	43.86	0.33	0.66	26.94	2304.45

Calculo de Índices metalúrgicos

Peso Inicial	Peso mesa	Mixto mesa	Liviano mesa	Mixto Mag	RC Mesa	RC Mag	Remesa	Remag	%R mesa	%R Mag
4.41 Kg	0.623	3.22	0.567	2.12	7.08	1.51	1.54	1.47	97	21.80

Análisis granulométrico

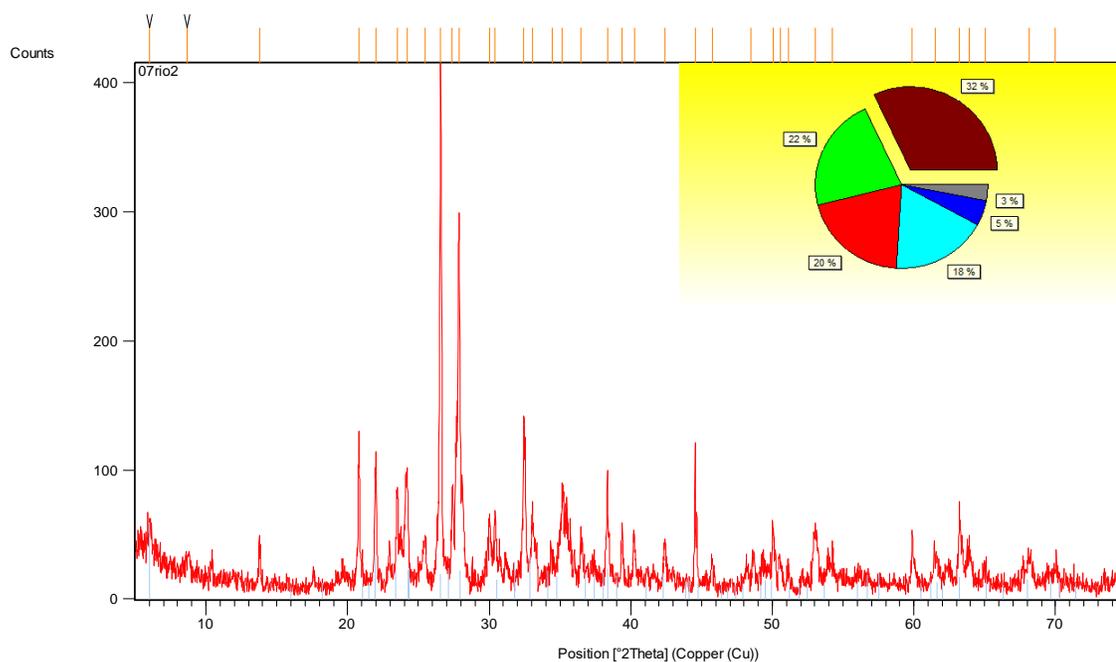
Tamiz	Abert (mm)	Abert (mm)	PESO RET (g)	% RET PAR	% RET AC	% PASANTE
10	2	1.42	40.10	20.05	20.05	79.95
20	0.84	0.63	36.60	18.30	38.35	61.65
40	0.42	0.34	52.80	26.40	64.75	35.25
60	0.25	0.23	35.70	17.85	82.60	17.40
70	0.21	0.19	8.60	4.30	86.90	13.10
100	0.16	0.08	19.80	9.90	96.80	3.20
Bandeja	0	0.00	5.90	2.95	99.75	0.25
			199.5			

Análisis de difracción de rayos X:

Condiciones de medición:

Dataset Name	07rio2
File name	E:\DRX espectros\07rio2.rd
Sample Identification	teg alexandra
Comment	Exported by X'Pert SW Generated by Laboratorio in project Proj
Measurement Date / Time	10/05/2019 01:53:00 p.m.
Raw Data Origin	PHILIPS-binary (scan) (.RD)
Scan Axis	Gonio
Start Position [$^{\circ}$ 2Th.]	5,0100
End Position [$^{\circ}$ 2Th.]	74,9900
Step Size [$^{\circ}$ 2Th.]	0,0200
Scan Step Time [s]	0,5000
Scan Type	Continuous
Offset [$^{\circ}$ 2Th.]	0,0000
Divergence Slit Type	Fixed
Divergence Slit Size [$^{\circ}$]	1,0000
Specimen Length [mm]	10,00
Receiving Slit Size [mm]	0,1000
Measurement Temperature [$^{\circ}$ C]	0,00
Anode Material	Cu
K-Alpha1 [\AA]	1,54060
K-Alpha2 [\AA]	1,54443
K-Beta [\AA]	1,39225
K-A2 / K-A1 Ratio	0,50000
Generator Settings	10 mA, 10 kV
Diffractometer Type	PW3710
Diffractometer Number	1
Goniometer Radius [mm]	173,00
Dist. Focus-Diverg. Slit [mm]	91,00
Incident Beam Monochromator	No
Spinning	No

Gráfico principal, vista de análisis:



Lista de picos:

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
6,0087	20,15	0,4723	14,70927	5,02
8,6828	12,14	0,4723	10,18418	3,02
13,7812	32,18	0,1181	6,42589	8,01
20,7716	92,59	0,1181	4,27645	23,04
21,9770	95,17	0,1574	4,04454	23,68
23,5480	64,34	0,1378	3,77814	16,01
24,1869	79,48	0,2362	3,67977	19,78
25,4888	29,70	0,2362	3,49469	7,39
26,5667	401,86	0,1181	3,35530	100,00
27,3978	72,28	0,1181	3,25538	17,99
27,8679	284,05	0,1181	3,20152	70,68
30,0347	47,34	0,1574	2,97531	11,78
30,4347	47,31	0,1181	2,93711	11,77
32,4455	124,81	0,0984	2,75954	31,06
33,0566	51,98	0,1574	2,70990	12,93
34,4325	18,45	0,2362	2,60470	4,59
35,1629	62,84	0,4723	2,55225	15,64
36,4999	29,13	0,1968	2,46177	7,25
38,3466	83,51	0,0787	2,34736	20,78
39,3776	32,15	0,1181	2,28825	8,00
40,2447	31,23	0,1181	2,24092	7,77
42,4085	33,30	0,1574	2,13146	8,29

44,5483	109,58	0,0590	2,03393	27,27
45,7887	15,36	0,2362	1,98168	3,82
48,4743	9,86	0,7872	1,87798	2,45
50,0516	45,33	0,1574	1,82243	11,28
50,5765	18,53	0,2362	1,80474	4,61
51,1202	15,62	0,2362	1,78682	3,89
53,0345	42,22	0,3936	1,72675	10,51
54,2557	17,11	0,5510	1,69073	4,26
59,8731	37,99	0,1574	1,54484	9,45
61,5361	20,31	0,3149	1,50702	5,05
63,2179	49,66	0,1574	1,47092	12,36
63,8909	22,36	0,2362	1,45704	5,56
65,0725	10,58	0,4723	1,43341	2,63
68,1514	20,96	0,3149	1,37597	5,22
69,9572	10,94	0,9600	1,34369	2,72

Lista de Patrones:

Visible	Ref. Code	Score	Compound Name	Displacement [°2Th.]	Scale Factor	Chemical Formula
	01-083-0539	51	Quartz	0,000	0,865	Si O2
	01-073-1256	36	Ilmenite	0,000	0,211	Fe1.10 Ti.90 O3
	00-009-0466	40	Albite, ordered	0,000	0,637	Na Al Si3 O8
	01-072-0469	19	Hematite	0,000	0,124	Fe2 O3
	01-083-1611	16	Albite high	0,000	0,268	Na (Al Si3 O8)
	01-075-0701	17	Enstatite	0,000	0,160	Mg28.25 Sc3.81 Co4.36 Li1.4 Si36.49 O112