



UNIVERSIDAD DEL AZUAY
” FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA”
ESCUELA DE INGENIERÍA EN MINAS

**Enriquecimiento de alúmina presente en un caolín de la parroquia El
Tablón, San Antonio de Cumbe, cantón Saraguro.**

Trabajo de gradación previo a la obtención del título de:
INGENIERA EN MINAS

Autora:
GÉNESIS ARLETTE VERGARA CARAGUAY

Director:
JUAN RODRIGO CALDERÓN MACHUCA

CUENCA, ECUADOR

2019

DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedico a mi familia, en especial a mis padres Wilman Vergara y Patricia Caraguay quienes con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más en mi vida profesional, con su ejemplo de esfuerzo y valentía.

A mis hermanos Andrés y Sarahi por estar conmigo durante todos estos años de estudio, brindándome su cariño y apoyo incondicional. A mi familia, porque con sus oraciones y palabras de aliento me acompañaron a cumplir esta meta.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad del Azuay, a las autoridades, docentes y personal administrativo quienes apoyaron mi proyecto, y de manera especial a mí Director de Tesis el Dr. Juan Calderón que siempre estuvo pendiente y guiándome en cada una de mis actividades hasta culminar este proyecto.

INDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	iv
ÍNDICE DE TABLAS.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	ix
RESUMEN.....	x
ABSTRACT.....	xi
INTRODUCCIÒN.....	1
 CAPÍTULO I: MARCO TÈORICO	3
1.1 Cerámica	3
1.2 Materiales Cerámicos.....	4
1.3 Propiedades de los cerámicos.....	4
1.3.1 Propiedades físicas	4
1.3.2 Propiedades térmicas	5
1.3.3 Propiedades eléctricas.....	6
1.3.4 Propiedades magnéticas	7
1.3.5 Propiedades ópticas	8
1.4 Materias primas cerámicas	8
1.4.1 Refractarios	9
1.5 Arcilla	9
1.6 Mineralogía del caolín	9
1.6.1 Propiedades físicas y químicas.....	11
1.6.2 Métodos de beneficio	12
1.6.3 Usos/aplicaciones	12
1.7 Óxido de aluminio	14

1.8	Óxido de silicio.....	14
1.9	Concentración Gravimétrica	14
1.10	Dispersión	15
1.11	Clasificación.....	15
1.11.1	Espiral	16
1.11.2	Hidrociclón.....	17
1.12	Métodos de análisis mineralógico	18
1.12.1	Difracción de rayos X.....	18
1.12.2	Fluorescencia de rayos X	20
1.12.3	Absorción atómica	20
1.13	Área de estudio	21
1.13.1	Ubicación del área de estudio.....	21
1.13.2	Geología	23

CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS..... 25

2.1	Obtención de la muestra.....	25
2.2	Caracterización del material.....	25
2.2.1	Densidad del material	26
2.2.2	Análisis granulométrico	27
2.2.3	Preparación de la pulpa	30
2.2.4	Caudal	31
2.3	Balance de masas.....	31
2.4	Recuperación	32
2.5	Factor metalúrgico	33
2.6	Pruebas de lavado manual	33
2.7	Pruebas en Espiral.....	34
2.8	Pruebas en hidrociclón.....	34
2.9	Análisis por Fluorescencia de rayos X.....	37
2.10	Índice de relación.....	37

CAPÍTULO III: RESULTADOS	39
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	50
BIBLIOGRAFÍA	53
ANEXOS	56

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Coordenadas de ubicación del área de estudio	21
Tabla 2.1 Análisis granulométrico M1 (material mayor a malla #4).....	28
Tabla 2.2 Análisis granulométrico M2 (material menor a malla #4).....	29
Tabla 2.3 Datos de caudal	31
Tabla 2.4 Composición mineralógica del mineral de cabeza	37
Tabla 3.1 Resultados de Recuperación de Al_2O_3	46
Tabla 3.2 Resultados de Recuperación SiO_2	48

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Estructura de la caolinita	11
Figura 1.2 Espiral de concentración	17
Figura 1.3 Esquema de funcionamiento de un hidrociclón. 1) Alimento; 2) Rebose; 3) Descarga; 4) Torbellino secundario; 5) Nucleo de aire; 6) Torbellino Primerio	18
Figura 1.4 Mapa de ubicación del área de estudio.....	22
Figura 1.5 Mapa geológico de la zona de estudio	24
Figura 2.1 Secado de material	25
Figura 2.2 Serie de tamices utilizados para el análisis granulométrico	27
Figura 2.3 Gráfica del Análisis granulométrico M1 (material mayor a Malla #4).....	28
Figura 2.4 Gráfica del análisis granulométrico M2 (material menor a Malla #4).....	29
Figura 2.5 Esquema de un concentrador de dos productos	32
Figura 2.6 Celda de flotación Denver	34
Figura 2.7 Hidrociclón	35
Figura 2.8 Diagrama de flujo del procedimiento experimental.....	36
Figura 3.1 Resultados clasificación primaria	39
Figura 3.2 Resultados obtenidos de clasificación granulométrica	41
Figura 3.3 Resultados de contenido de Al_2O_3	43
Figura 3.4 Resultados de contenido de SiO_2	44
Figura 3.5 Resumen Índices de relación	49

ÍNDICE DE ANEXOS

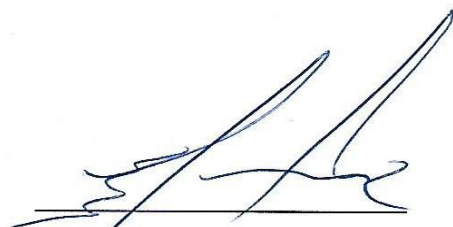
Anexo 1. Ejercicios de cálculo de caudal.....	56
Anexo 2 Resumen de resultados de análisis químico	57
Anexo 3 Análisis químico	58

**ENRIQUECIMIENTO DE ALÚMINA PRESENTE EN UN CAOLÍN DE LA
PARROQUIA EL TABLÓN, SAN ANTONIO DE CUMBE, CANTÓN
SARAGURO.**

RESUMEN

El presente trabajo contempla el desarrollo de pruebas a nivel de laboratorio para concentrar alúmina a partir de un caolín. Se utilizó un agitador mecánico, un espiral de concentración y un hidrociclón. Se realizaron pruebas de lavado y clasificación en función de la densidad del material, ajustando variables operacionales como: fracción de sólidos y caudal de alimentación; de acuerdo a la capacidad del equipo. Las fracciones obtenidas se clasificaron granulométricamente, se secaron y se analizó los componentes por fluorescencia de rayos X para determinar la concentración de alúmina (Al_2O_3) y sílice (SiO_2). Los resultados muestran que mediante las técnicas aplicadas es posible elevar la concentración de alúmina inicial de 24,4% a 32,5%.

Palabras claves: Caolín, clasificación, alúmina.



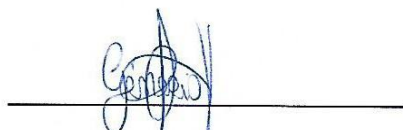
Ing. Leonardo Núñez Rodas

Coordinador de Escuela



Dr. Juan Calderón Machuca

Director de Tesis



Génesis Arlette Vergara Caraguay

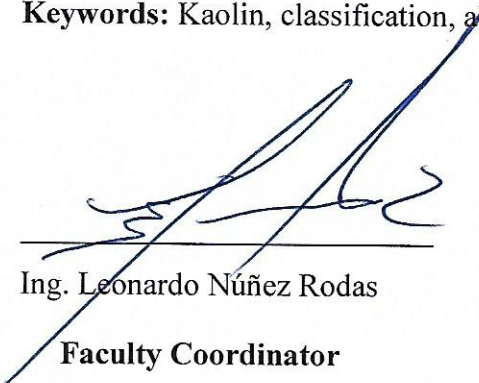
Estudiante

**ALUMINA ENRICHMENT IN A KAOLIN OF THE EL TABLÓN PARISH,
SAN ANTONIO DE CUMBE, SARAGURO CANTON.**

ABSTRACT

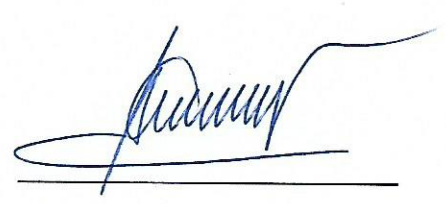
This paper presents the development of laboratory-level tests to concentrate alumina from a kaolin. A mechanical stirrer, a concentration spiral and a hydrocyclone were used. Washing and classification tests were performed based on the density of the material, adjusting operational variables such as solids fraction and feed flow according to the capacity of the equipment. The fractions obtained were graded granulometrically, were dried and their components were analyzed by X-ray fluorescence to determine the concentration of alumina (Al_2O_3) and silica (SiO_2). The results show that it is possible to raise the initial alumina concentration from 24.4% to 32.5% using the applied techniques.

Keywords: Kaolin, classification, alumina.



Ing. Leonardo Núñez Rodas

Faculty Coordinator



Dr. Juan Calderón Machuca

Thesis Director



Génesis Arlette Vergara Caraguay

Author



Translated by
Ing. Paúl Arpi

Génesis Arlette Vergara Caraguay

Trabajo de titulación

Dr. Juan Rodrigo Calderón Machuca

Septiembre 2019

**ENRIQUECIMIENTO DE ALÚMINA PRESENTE EN UN CAOLÍN DE LA
PARROQUIA EL TABLÓN, SAN ANTONIO DE CUMBE, CANTÓN
SARAGURO.**

INTRODUCCIÓN

La concentración de minerales tiene como fin la separación del mineral valioso de la ganga, para alcanzar este objetivo es necesario el cálculo de distintos factores operacionales. Estos parámetros deben ser óptimos para conseguir un producto de calidad. Cabe mencionar que, para obtener un real beneficio del mineral, el proceso a emplearse debe ser de bajo costo y amigable con el ambiente.

Al momento de implementar métodos de separación se debe tener en cuenta las propiedades del material como: peso específico, conductividad eléctrica, adsorción entre otros. Cada uno de estos métodos emplea diferentes técnicas según las características del material a tratar, para lo cual existen diferentes equipos como: sedimentadores, hidrociclones, espirales, mesas vibratorias, separadores magnéticos, separadores eléctricos, celdas de flotación, JIG, entre otros.

El objetivo de este proyecto de tesis es incrementar el porcentaje de alúmina presente en un caolín, mediante la utilización de un espiral de concentración y un hidrociclón, controlando los parámetros operacionales para obtener un concentrado.

La ley de alúmina es uno de los parámetros operativos más importantes que se toman en cuenta para el uso industrial de la arcilla (Rivera, 2006).

El primero de los procesos a realizar será un lavado manual del material, utilizando una flotadora Denver para la agitación de la mezcla, generando una dispersión de las partículas, el arrastre de los materiales finos (arcilla), se sedimenta y se obtiene 3 productos. El segundo proceso empleado es una clasificación utilizando el espiral de concentración, en donde se recolectan 3 productos, , salida 1, salida 2 y salida 3; donde se produce una separación del material de menor a mayor densidad. El tercer proceso aplicado mediante la utilización de un hidrociclón, obtuvo una separación de 2 productos. Todos estos productos posteriormente son sometidos a una clasificación granulométrica, secado y análisis por fluorescencia de rayos X para establecer el contenido de Al_2O_3 y SiO_2 .

La metodología para el desarrollo de este trabajo se basa en la recopilación de información e investigación bibliográfica y en la realización de ensayos.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

Este capítulo asienta la base teórica que nos permite explicar los procesos desarrollados en la investigación y la información base de la zona de estudio.

1.1 Cerámica

La palabra “cerámica” proviene del griego keramikos, que significa “alfarería”, pero el arte de elaborar figuras, vasijas y otros objetos de arcilla es mucho más antiguo que la palabra. A diferencia de otros materiales, la cerámica es duradera, de ahí los hallazgos de tantas piezas desde tiempos prehistóricos. Descubrimientos que reflejan las realidades sociales y culturales de las civilizaciones antiguas. (Wilhide & Hodge, 2018)

La cerámica prehistórica se elaboraba a base de largos rollos de arcilla que luego eran alisados para dar forma a las vasijas. El pellizado y las placas fueron otros métodos primarios de elaboración. (Wilhide & Hodge, 2018)

La cerámica tuvo un rol muy importante en las primeras culturas mediterráneas previas a las civilizaciones griega y romana. Las vasijas contienen pinturas de figuras o de formas naturales (Wilhide & Hodge, 2018).

La civilización griega desarrollo una cerámica más sofisticada entre los años 1000 a.C. y 400 d.C. Los motivos geométricos propios de la cerámica griega temprana dieron paso a representaciones detalladas de figuras humanas ocupadas en todo tipo de actividades cotidianas. Una parte de la producción de vasijas era destinada a usos prácticos como para contener vino, aceite, perfume y agua, Entre los recipientes había ánforas, copas, jarras, cuencos y vasos. (Wilhide & Hodge, 2018)

1.2 Materiales Cerámicos

El comportamiento de los materiales está definido por su estructura electrónica. Esta estructura determina la naturaleza de los enlaces atómicos. Lo que permite definir las propiedades mecánicas, físicas y químicas de dicho material. (Rocha, 2005)

Los materiales cerámicos contienen compuestos conformados por elementos metálicos y no metálicos. Existen muchos de estos compuestos que van desde el Al_2O_3 a los vidrios, arcillas, refractarios, etc. En general los compuestos cerámicos son más estables en ambientes químicos y térmicos. (Rocha, 2005)

1.3 Propiedades de los cerámicos

1.3.1 Propiedades físicas

1.3.1.1 Densidad

Según Rocha (2005), la densidad es una medida de masa por unidad de volumen y se reporta en unidades de gramos por centímetro cúbico. Existen diferentes interpretaciones del término “densidad”, a continuación se detalla los conceptos:

- Densidad cristalográfica.- Es la densidad ideal que podría ser calculada a partir de la composición de una red cristalina libre de defectos.
- Gravedad específica.- Es lo mismo que densidad cristalográfica.
- Densidad teórica.- Es lo mismo que densidad cristalográfica, pero tomando en consideración soluciones sólidas y fases múltiples.
- Densidad total.- Es la densidad medida en un cuerpo cerámico, que incluye todos los defectos de red, fases presentes y porosidad debida al proceso de fabricación.

La densidad está determinada por el tamaño, el peso de los elementos y por el empaquetamiento de la estructura. Elementos de bajo número y peso atómico resultan en materiales con baja densidad cristalográfica. Por consiguiente, elementos con alto número y peso atómico resultan en materiales con alta densidad cristalográfica (Rocha, 2005).

1.3.1.2 Temperatura de fusión

La alta temperatura es una de las características más importantes que condicionan las aplicaciones de los materiales cerámicos. Sin embargo, no todos los cerámicos tienen un elevado punto de fusión (Rocha, 2005).

1.3.2 Propiedades térmicas

1.3.2.1 Capacidad calórica

La capacidad calorífica se define como la energía requerida para elevar la temperatura de un material y se reporta en unidades de cal/mol °C. La capacidad calorífica de un material cerámico se incrementa con la temperatura hasta alrededor de los 1000°C, después de esta temperatura ocurren incrementos muy pequeños de la capacidad calorífica (Rocha, 2005).

1.3.2.2 Conductividad térmica

La conductividad térmica (k) es la velocidad con que el flujo de calor pasa a través de un material y se reporta en unidades de cal/s cm² °C cm, donde las calorías son la cantidad de calor, los cm² representan el tamaño de la sección transversal a través de la cual el calor está pasando, °C es la temperatura del cuerpo cerámico y cm es la distancia que el calor debe recorrer (Rocha, 2005).

La cantidad de calor transferido está controlada por la cantidad de energía térmica presente, la naturaleza del flujo de calor en el material y el calor disipado. La energía calorífica presente es una función de la capacidad calorífica volumétrica (e). Los medios de conducción del calor son los electrones o los fonones, cuando este ocurre por medio de los fonones se llegan a tener vibraciones simples en la red cristalina. La cantidad de calor disipada está una función de los efectos de dispersión y puede disminuir en función de la distancia por las ondas de la red (Rocha, 2005).

La conductividad térmica es directamente proporcional a la capacidad calorífica (c), a la cantidad y a la velocidad de los medios de transporte (v) y a el patrón principal (λ), mejor conocido como coeficiente de conductividad térmica y que es una propiedad de cada material (Rocha, 2005).

$$K = \alpha c \lambda \Delta$$

1.3.2.3 Expansión térmica

La mayoría de los materiales modifican sus dimensiones al variar la temperatura, a este efecto se lo denomina como expansión térmica; la cual se debe a que al aumentar la temperatura aumenta la velocidad de las partículas internas del material, por lo que la distancia de separación entre ellas se vuelve mayor (Jiménez, 2017).

Los datos de expansión térmica son reportados en términos de coeficiente de expansión térmica lineal (α):

$$\alpha = (\Delta l / l_0) \Delta T$$

Donde:

l_0 = Longitud del componente a temperatura ambiente

Δl = Variación de longitud para el incremento de ΔT

1.3.3 Propiedades eléctricas

1.3.3.1 Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica es la medida de la capacidad (o de la aptitud) de un material para dejar pasar (o dejar circular) libremente la corriente eléctrica. La conductividad depende de la estructura atómica y molecular del material. Los metales son buenos conductores porque tienen una estructura con muchos electrones con vínculos débiles, y esto permite su movimiento. La conductividad también depende de otros factores físicos del propio material, y de la temperatura (Zonaemec, 2019).

1.3.3.2 Semiconductores

Algunos óxidos metálicos, tales como CoO , NiO , Cu_2O y Fe_2O_3 , tienen un intervalo de energía entre bandas de electrones llenas y vacías de manera tal que la conducción sólo ocurrirá cuando una fuente de energía externa es aplicada para cerrar ese intervalo vacío de energía. A estos materiales se les conoce como semiconductores. Un incremento en la temperatura puede proveer esa energía necesaria (Rocha, 2005).

1.3.3.3 Aislantes térmicos

Los materiales aislantes se pueden definir como aquellos que presentan una elevada resistencia al paso del calor, reduciendo la transferencia de calor a su cara opuesta, por lo tanto se podría decir que protegen del frío y del calor (Palomo, 2017).

1.3.3.4 Propiedades dieléctricas

Los materiales cerámicos aislantes son frecuentemente usados debido a sus propiedades dieléctricas. El término dieléctrico se refiere a la polarización que ocurre cuando el material es colocado dentro de un campo eléctrico. La carga negativa cambia en la medida que se acerca hacia el electrodo positivo y la carga positiva cambia al acercarse al electrodo negativo. La polarización total resultante de una combinación de efectos electrónicos, iónicos y la orientación de los dipolos es conocida como constante dieléctrica (k'') (Rocha, 2005).

Otra propiedad dieléctrica importante es la resistencia dieléctrica, definida como la capacidad de los materiales de resistir un campo eléctrico sin que se fracturen y tiene unidades de volts por unidad de espesor del material dieléctrico (Rocha, 2005).

1.3.4 Propiedades magnéticas

Las propiedades magnéticas intrínsecas de un material están determinadas por su estructura electrónica y su estructura cristalina. De acuerdo con el principio de exclusión de Pauli sólo dos electrones pueden ocupar un nivel de energía dado, además, ambos electrones deben tener espines opuestos. Estos espines producen un momento magnético. Si el nivel de energía es ocupado por ambos electrones el momento magnético se cancela debido a la oposición de los espines. Un momento magnético neto ocurre solo cuando los niveles de energía de los electrones están ocupados sólo a la mitad, situación que se da en elementos tales como: los de transición, tierras raras, los actínidos y en algunas estructuras derivadas de esos elementos (Rocha, 2005).

1.3.5 Propiedades ópticas

Las propiedades ópticas de un material incluyen la absorción de luz, la transparencia, el índice de refracción, el color, y la fosforescencia. Estas propiedades están definidas principalmente por el nivel de interacción entre la radiación electromagnética y los electrones del material (Rocha, 2005).

1.4 Materias primas cerámicas

Las materias primas cerámicas son los materiales de partida con los que se fabrica el producto cerámico. Los productos cerámicos clásicos, que constituyen la "cerámica tradicional", están preparados con materias primas naturales, que de acuerdo con su función pueden ser plásticas o no plásticas (Galán & Aparicio, 2006).

Las materias plásticas son esencialmente: arcillas y caolines, y en menor proporción algunas otras de naturaleza parecida, que contienen minerales arcillosos en cantidades sustanciales, tales como la arcilla compacta, la pizarra arcillosa, margas y loess (Monzonis & Villar, 1988).

Según su origen pueden ser:

- Naturales: arcilla, caolín, cuarzo, feldespato, nefelina sienita, wollastonita, caliza, talco, etc.
- Sintéticas: corindón, carburo de silicio, wollastonita sintética, óxidos colorantes, dióxido de circonio, etc.

También podrían clasificarse según su refractariedad o uso, que, desde un punto de vista práctico, se agrupan en:

- Refractarios: arcilla, caolín y cuarzo.
- Fundentes: bórax, carbonato sódico, minio, etc.
- Colorantes: óxidos metálicos, como el de cobre, hierro, cobalto, níquel, etc., o pigmentos cerámicos.
- Opacificantes: SnO_2 , TiO_2 , CaO , ZrO_2 y otros.

1.4.1 Refractarios

Son materiales con alta resistencia, estabilidad mecánica, e inertes químicamente a temperaturas del orden de 1400°C y superiores (Jara, S.F.).

Son productos policristalinos que contienen una o más fases cristalinas y usualmente fase líquida o vítrea. Las propiedades físicas de estos materiales dependen de la microestructura o textura del material (Jara, S.F.).

Para la elaboración de cerámica refractaria se recomienda materiales arcillosos con un elevado contenido en alúmina, con bajos contenidos de hierro y alcalinos (Díaz & Torrecillas, 2002).

Según Santos, Malagón y Córdoba, 2009, una arcilla con alto contenido de alúmina, cercano al 30%, podría ser usada para la fabricación de ladrillos refractarios, siempre y cuando durante su proceso de beneficio se logre eliminar el sílice y en gran medida sus impurezas (Fe y Ti), dado que estos óxidos metálicos reducen el punto de fusión de los refractarios.

1.5 Arcilla

El término arcilla, geológicamente es utilizado para describir tamaños de sedimentos o para nombrar a un tipo de roca. El tamaño de la arcilla de entre 2 a 4 μm , y sus propiedades químicas dependen de su estructura y tamaño (Hernández, 2017).

Murray (2007), se refiere a la arcilla como cualquiera material de grano fino, terroso, natural, arcilloso. Los minerales arcillosos son silicatos de aluminio hidratados y en algunos de estos minerales, el hierro y el magnesio sustituyen al aluminio y en algunos hay elementos alcalinos y alcalinotérreos presentes como componentes esenciales.

1.6 Mineralogía del caolín

Caolinita es el nombre que recibe un mineral del grupo de la arcilla, blanco, silicato aluminio hidratado. Se denomina Caolín a productos compuestos de caolinita principalmente (Bartolomé, 1997).

Según Bartolomé (1997), la fórmula estructural de la caolinita es $\text{Al}_2\text{SiO}_5(\text{OH})_4$ y su composición centesimal responde a:

- $\text{SiO}_2=46,53 \%$,
- $\text{Al}_2\text{O}_3=39,49 \%$
- $\text{H}_2\text{O}=13,98 \%$

La estructura de la caolinita está formada por una capa de tetraedros de sílice y otra de octaedros de alúmina, combinadas de tal forma que los vértices libres de los tetraedros de sílice están en uno de los planos aniónicos de los octaedros (Bartolomé, 1997; Murray, 2007).

En el plano común a tetraedros y octaedros, los $2/3$ de los huecos están ocupados por oxígenos y el resto por oxhidrilos. En la capa octaédrica, solamente $2/3$ de los huecos están ocupados por aluminios distribuidos hexagonalmente en el centro de la capa (Bartolomé, 1997; Murray, 2007).

Ambas capas que forman una lámina miden $7,14 \text{ \AA}$ de espesor y son continuas. Estas láminas se unen mediante enlaces de hidrógeno entre los grupos OH de la capa octaédrica y los átomos de oxígeno de la capa tetraédrica. (Bartolomé, 1997; Murray, 2007).

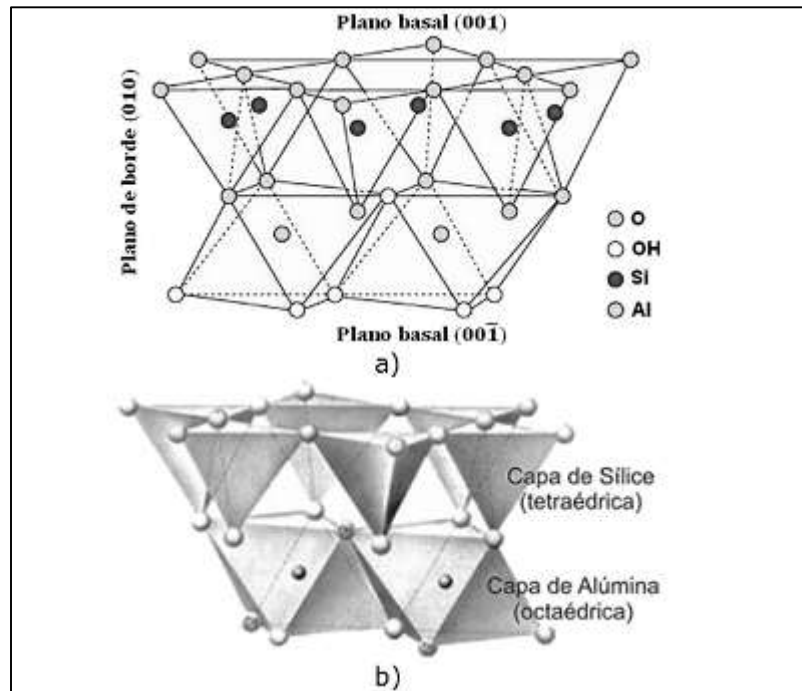


Figura 1.1 Estructura de la caolinita

Fuente: Murray, 2007

1.6.1 Propiedades físicas y químicas

La caolinita tiene ciertas propiedades, físicas y químicas que permiten su uso en varios campos industriales. Siendo su peso específico de 2 a 2,6 gr/cm³: su dureza según la escala de Mohs es de 2: es de color blanco, es untoso al tacto; es terroso mate o nacarado cuando es cristalino; su plasticidad es de baja a moderada. (Hurbult, 1959).

Otras propiedades importantes son su resistencia a altas temperaturas, no es tóxico ni abrasivo y tiene elevada refractariedad y facilidad de dispersión. Es un aislante eléctrico, es moldeable (Hernández, 2017).

Los caolines de alta calidad son caracterizados por bajos niveles de impurezas como hierro, titanio y minerales de tierras alcalinas. Siendo esta propiedad principal que define su aplicación (Hernández, 2017).

1.6.2 Métodos de beneficio

El mineral de caolín se procesa para mejorar sus propiedades dentro de un rango específico determinado por la aplicación de uso final. El procesamiento se puede dividir en tres tipos básicos: húmedo, seco y térmico (Elzea, 2014, Murray 1961).

El tratamiento en seco es un proceso sencillo, que consiste de varias etapas, la primera es una etapa de secado, luego una de molienda y finalmente una clasificación para aislar las partículas perjudiciales (Bartolomé, 1997).

Por lo general, el procesamiento en húmedo se utiliza en caolines con contenidos superiores de alúmina, este proceso es más complejo que el anterior. Atravesando por procesos de molienda, agitación, centrifugación, filtrado y secado (Murray, 1961).

El procesamiento térmico se utiliza para la especialidad de cerámica, pintura, refractario, y los grados de papel (Elzea, 2014).

1.6.3 Usos/aplicaciones

Se trata de un mineral muy importante desde el punto de vista industrial. Siendo uno de los minerales más versátiles en sus diversas aplicaciones gracias a sus variadas características.

Los principales usos a los que se destina en la actualidad son:

- **Fabricación de papel**

El principal consumidor de caolín es la industria papelera, utilizando más del 50 % de la producción. Se usa el caolín como revestimiento y relleno de papel. Como relleno, el caolín se mezcla con las fibras de celulosa en la pulpa de madera y como recubrimiento, el caolín se mezcla con agua, adhesivos y diversos aditivos y se recubre sobre la superficie del papel. El recubrimiento hace que la hoja de papel sea más suave, más brillante, más brillante, más opaca y lo más importante, mejora la capacidad de impresión. Para que pueda ser destinado a este uso las especificaciones de calidad requeridas son muy estrictas, tanto en pureza como en color o tamaño de grano (García. & Suárez, 2013; Murray ,2007).

- **Cerámica y refractarios**

Es importante el uso del caolín en la fabricación de materiales cerámicos (porcelana, gres, loza sanitaria o de mesa, electrocerámica) y de refractarios (aislantes térmicos y cementos) (García. & Suárez, 2013).

Los usos cerámicos requieren, en gran medida, caolines que produzcan piezas blancas después de la cocción a altas temperaturas y tengan alta resistencia mecánica antes y después de la cocción (Bartolomé, 1997).

- **Fibra de vidrio**

El contenido de óxido de hierro y carbón son los parámetros de control para esta industria (Bartolomé, 1997).

- **Industria de pintura**

El caolín en esta industria debido a su blancura y capacidad hidrofílica es un material muy competitivo (Bartolomé, 1997).

- **Otros usos**

Además, se utilizan caolines en otras industrias y en menores cantidades: como carga más económica sustituyendo a las resinas en pinturas, aislantes, caucho. También como carga de abonos, pesticidas y alimentos de animales (García. & Suárez, 2013).

La industria química consume cantidades significativas de caolín en la fabricación de sulfato, fosfato y cloruro de Al, así como para la fabricación de zeolitas sintéticas (García. & Suárez, 2013).

La industria farmacéutica utiliza caolín como elemento inerte en cosméticos y como elemento activo en absorbentes estomacales (García. & Suárez, 2013).

1.7 Óxido de aluminio

El óxido de aluminio o alúmina (Al_2O_3), es uno de los elementos más abundantes en la corteza terrestre. Su estabilidad química y térmica; resistencia eléctrica y térmica han hecho de este compuesto sea aplicable para diversos usos. Su densidad varía entre 3,75 a 3,95 gr/cm³ (Auerkari, 1996).

La alúmina tiene un módulo de elasticidad de 300 a 400 GPa, resistencia mecánica de 300 a 500 MPa; dureza Vickers de 20 GPa y temperatura máxima de utilización continua de 1700 °C (Boch & Niepce, 2007).

1.8 Óxido de silicio

El óxido de silicio conocido comúnmente como sílice, SiO_2 , es una materia prima polimórfica que se encuentra en la naturaleza en un estado amorfo (ópalo, guijarros) o forma cristalizada (cuarzo, cristobalita y tridimita). Arena contiene entre 95 y 100% de masa de cuarzo (Boch & Niepce, 2007).

El tamaño del grano oscila entre 0,0625 mm a 2 mm de diámetro, siendo su densidad de 2,65 gr/cm³. Su dureza es 7 en la escala de Mohr, su temperatura de fusión es de 1550 °C (Gutiérrez, 1978).

1.9 Concentración Gravimétrica

Concentración gravimétrica es el método usado para separar partículas de minerales de diferentes pesos específicos, aprovechando sus diferencias de movimiento en respuesta a una o más fuerzas iguales aplicadas a dos partículas de igual tamaño. Al tener lo anterior, lograremos una diferencia en las trayectorias de las partículas (López, 1987).

En todos los procesos de concentración gravimétrica un factor importante es el tamaño de las partículas. La diferencia en gravedades específicas no es la causa de las diferencias de movimiento entre las partículas, sino las diferencias en sus pesos específicos dentro del medio en común en el que se están moviendo los fragmentos. De esta manera, una partícula de una gravedad específica dada muy alta y de tamaño pequeño, tendrá el mismo movimiento en un determinado medio que el de otra de menor gravedad específica y gran tamaño. Por lo tanto, dado que todas las menas naturales de mineral quebrado tienen un

rango de tamaños grandes, es necesario si la separación se ve afectada, a tener un paso previo de clasificación con objeto de controlar el tamaño de las partículas, y de esta manera hacer que el movimiento de los fragmentos de diferentes pesos específicos, sea efectivamente diferencial (López, 1987).

La forma de las partículas, también es un factor determinante en el éxito del proceso, ya que mientras mayor sea la superficie que presente la partícula para recibir la fuerza, mayor será el efecto de esta (López, 1987).

La forma de las partículas dependerá en su gran mayoría, del cruceo característico del mineral en proceso. Ejemplo: Galena - cubico; Cuarzo - concoide; Asbesto - fibroso, etc (López, 1987).

1.10 Dispersión

El proceso de dispersión consiste en formar una solución del mineral con un disolvente, que comúnmente es agua, y agitarlo fuertemente para causar una dispersión de las moléculas conglomeradas, formando grupos más pequeños, y más idealmente en moléculas dispersas. En ocasiones no es suficiente esta agitación para generar este proceso, por lo que se usan sustancias llamadas dispersantes, que hacen que varíe el Ph del agua obligando a las moléculas a dispersarse (Flores, Reyes, Legorreta, & Hernández, 2009).

1.11 Clasificación

Según Agustín y Concha (1994), se denomina clasificación a la operación de separación de los componentes de una mezcla de partículas en dos o más fracciones de acuerdo a su tamaño, siendo cada grupo obtenido más uniforme en esta propiedad que la mezcla original. Generalmente la clasificación es afectada por otras variables del material o del medio ambiente.

La mayoría de los dispositivos de separación, en los clasificadores producen dos productos. La corriente de respuesta positiva y la corriente de respuesta negativa, esta primera contiene partículas de asentamiento más rápido, y se las denomina arenas o producto de descarga inferior, por lo general contiene poca agua, lo que conlleva a que se

separe la corriente del dispositivo por gravedad, por medios mecánicos y simple presión inducida (Doroteo, 2010).

La corriente de respuesta negativa es denominada derrame o lamas, la cual está conformada por las partículas de asentamiento más lento en el agua restante, y en esencia se descarga como por el desplazamiento que sobre ella ejerce la alimentación (Doroteo, 2010).

1.11.1 Espiral

El principio de funcionamiento de la espiral es una combinación de escurrimiento laminar y acción centrífuga. Una vez en la espiral, los minerales comienzan inmediatamente a depositarse de acuerdo a sus tamaños, forma y densidades (Carbajal & Chavéz, 2015).

El concentrador de espiral consiste en una canaleta helicoidal con cuatro a siete vueltas. Su funcionamiento puede ser comparado con el de una batea cónica, donde las partículas livianas se mueven por la acción del agua hacia el borde y las partículas pesadas se concentran en el centro (Bueno, 2013).

Las partículas más pesadas se van hacia en el fondo, donde la fricción y el lastre actúan para aminorar la velocidad del material. Debido a la forma de espiral del lecho de la canaleta, las fuerzas centrífugas en la pulpa llevan al material más liviano hacia el borde de la espiral (Bueno, 2013).

Las espirales pueden ser utilizadas para una variación de tamaño de grano desde 2 mm hasta aproximadamente. 30 mm. Por lo general, las espirales se caracterizan por su alta recuperación, pero también por su bajo factor de enriquecimiento, y es debido a este motivo que las espirales son utilizadas exitosamente en la fase de preconcentración. (Bueno, 2013).



Figura 1.2 Espiral de concentración

1.11.2 Hidrociclón

La función principal del hidrociclón es separar los sólidos suspendidos en un determinado flujo de la pulpa de “alimentación”, en dos fracciones, una denominada “descarga” que lleva en suspensión los sólidos más gruesos y otra fracción que llamada “rebose” que lleva en suspensión los sólidos más finos. (Ampmineral, 2017).

La pulpa de alimentación entra tangencialmente en la parte cilíndrica a una cierta presión, lo que genera su rotación alrededor del eje longitudinal del hidrociclón, formándose un “torbellino primario” descendente hacia el vértice inferior del hidrociclón (Ampmineral, 2017).

Las partículas más gruesas giran cercanas a la pared por efecto de la aceleración centrífuga, siendo evacuadas a través de la boquilla en forma de pulpa espesa. Debido a las reducidas dimensiones de dicha boquilla, solamente se descarga una parte de la suspensión, creándose en el vértice inferior un “torbellino secundario” de trayectoria ascendente, que es donde se produce la separación al generarse en este punto las mayores aceleraciones tangenciales. Esta corriente arrastra hacia el rebose las partículas finas junto

con la mayor parte del líquido, que se descarga a través de un tubo central situado en el cuerpo cilíndrico superior del hidrociclón. (Ampmineral, 2017).

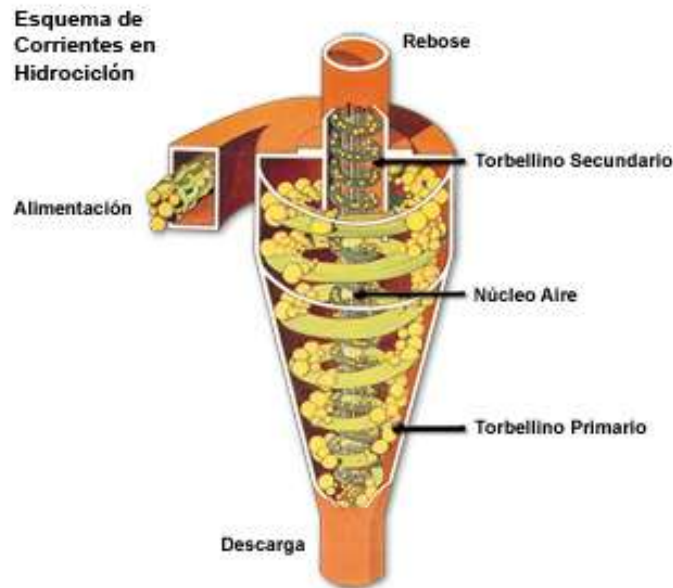


Figura 1.3 Esquema de funcionamiento de un hidrociclón. 1) Alimento; 2) Rebose; 3) Descarga; 4) Torbellino secundario; 5) Núcleo de aire; 6) Torbellino Primario

Fuente: Ampmineral, 2017

1.12 Métodos de análisis mineralógico

1.12.1 Difracción de rayos X

La radiación X fue descubierta por el físico alemán Roentgen en el año 1895. Los alemanes Laue, Knipping y Friedrich, y el inglés W. L. Bragg, en el año 1912, aclararon la naturaleza de los RX y los fenómenos que se producen cuando éstos inciden sobre un cristal. (Vera, 2016)

La unidad de medida en la región de los RX es el angstrom (Å), equivalente a 10^{-10} m. Los RX son radiación electromagnética de la misma naturaleza que la luz (6000 Å), pero de longitud de onda mucho más corta (0.5 – 2.5 Å) (Vera, 2016).

La principal aportación de estos científicos fue la famosa ley de Bragg:

$$\lambda = 2 d \sin \theta$$

Que permite deducir las distancias interplanares (d_{hkl}) de los cristales a partir del ángulo (θ) al que reflejan los rayos X de longitud de onda λ . En esta ecuación los planos cristalinos están representados por los índices de Miller (hkl) y n es un número entero que indica el retraso con el que interfieren las ondas reflejadas por planos sucesivos (ugr.es, 2019).

En general la ecuación se simplifica:

$$\lambda = 2 d_{HKL} \sin\theta$$

Indicando los símbolos HKL ($H = nh$, $K = nk$, $L = nL$) los índices de las reflexiones típicas de cada fase cristalina. Pronto se dedujo que el fenómeno de difracción de los rayos X estaba condicionado por el número y distribución de los electrones que intervienen en la estructura cristalina. El estudio de la función densidad electrónica ($\rho(x,y,z)$) de los cristales, al ser periódica, resultó ser un instrumento valioso para el estudio de la naturaleza cristalina que pudo ser analizada con resolución insospechada antes de la segunda mitad del siglo XX (ugr.es, 2019).

En la actualidad, la difracción de rayos X tienen muchas aplicaciones en el estudio de la materia sólida. Unas veces a partir de mezclas de polvo mono o policristalinas y otras a partir de cristales con menos de un milímetro de diámetro, pueden realizarse estudios no destructivos de diversos tipos (ugr.es, 2019):

- Análisis cualitativo.
- Análisis cuantitativo
- Análisis microtextural
- Tamaño de cristalito= mosaico= dominio coherente. Cristalinidad.
- Deformación no homogénea (strain)
- Tensores de dilatación térmica (termodifracción)
- Cambios de fase (reacciones en estado sólido, procesos secuenciales)
- Análisis estructural. Posiciones atómicas, oscilaciones atómicas de carácter térmico, desorden posicional, etc.)

1.12.2 Fluorescencia de rayos X

Los espectros de rayos X característicos se excitan cuando se irradia una muestra con un haz de radiación X de longitud de onda suficientemente corta. Las intensidades de los rayos X fluorescentes resultantes son casi 1000 veces más bajas que la de un haz de rayos X obtenido por excitación directa con electrones. El método de fluorescencia requiere de tubos de rayos X de alta intensidad, de unos detectores muy sensibles y sistemas ópticos de rayos X adecuados (Rpsqualitases, 2019).

La intensidad es un factor importante, puesto que afectará al tiempo que se necesitará para medir el espectro. Es necesario que sean detectados y recibidos un determinado número de cuantos en el detector para que el error estadístico de la medición se reduzca lo suficiente. La sensibilidad del análisis, contemplada como la concentración detectable más baja de un determinado elemento en la muestra, dependerá de la relación pico-radiación de fondo para las líneas espectrales. Se presentan pocos casos de interferencia espectral, debido a la relativa simplicidad de los espectros de rayos X (Rpsqualitases, 2019).

Cuando se irradia con un haz de rayos X una muestra de composición desconocida, esta emitirá las radiaciones características de los elementos que la componen. Si podemos identificar la longitud de onda o energía de cada una de estas radiaciones características, podremos conocer los elementos que componen la muestra, y si podemos medir sus intensidades, podremos conocer sus respectivas concentraciones (Rpsqualitases, 2019).

1.12.3 Absorción atómica

Este método consiste en transformar la muestra problema (que puede encontrarse en disolución o sólida) en átomos en estado de vapor y medir la radiación electromagnética absorbida por dichos átomos (UNAM, 2019).

La mayor parte de la información útil se obtiene operando en las regiones UV, visible y rayos X. Los espectros atómicos están constituidos por picos estrechos y bien definidos que se originan por transiciones entre los diferentes niveles de energía electrónica, estas líneas de resonancia tienen origen en el estado basal y un destino en diferentes estados excitados (UNAM, 2019).

La absorción atómica es el proceso que ocurre cuando átomos de un elemento en estado fundamental absorben energía radiante a una longitud de onda específica. La cantidad de radiación absorbida aumenta al incrementar el número de átomos del elemento presentes en el “camino óptico”, esto permite utilizar a la absorción atómica con fines cuantitativos. Este método puede detectar cantidades tan bajas como 10-14gramos (UNAM, 2019).

La absorción de radiación por átomos libres involucra una transición de estos átomos desde el altamente poblado estado basal hasta un estado electrónico excitado (UNAM, 2019).

1.13 Área de estudio

1.13.1 Ubicación del área de estudio

La concesión minera “BLANCO PLATEADO” con código 6000025, se encuentra ubicada en la provincia de Loja, en el cantón Saraguro, en las parroquias El Tablón y San Antonio de Cumbe. Sus coordenadas UTM del punto de partida y los demás vértices, referenciados al DATUM PSAD-5 y a la zona geográfica N° 17, así como las distancias de los lados del polígono que la delimitan son:

Tabla 1.1 Coordenadas de ubicación del área de estudio

PUNTOS	X	Y
P.P	702400	9605600
1	702800	9605600
2	702800	9604800
3	701900	9604800
4	701900	9605400
5	702400	9605400

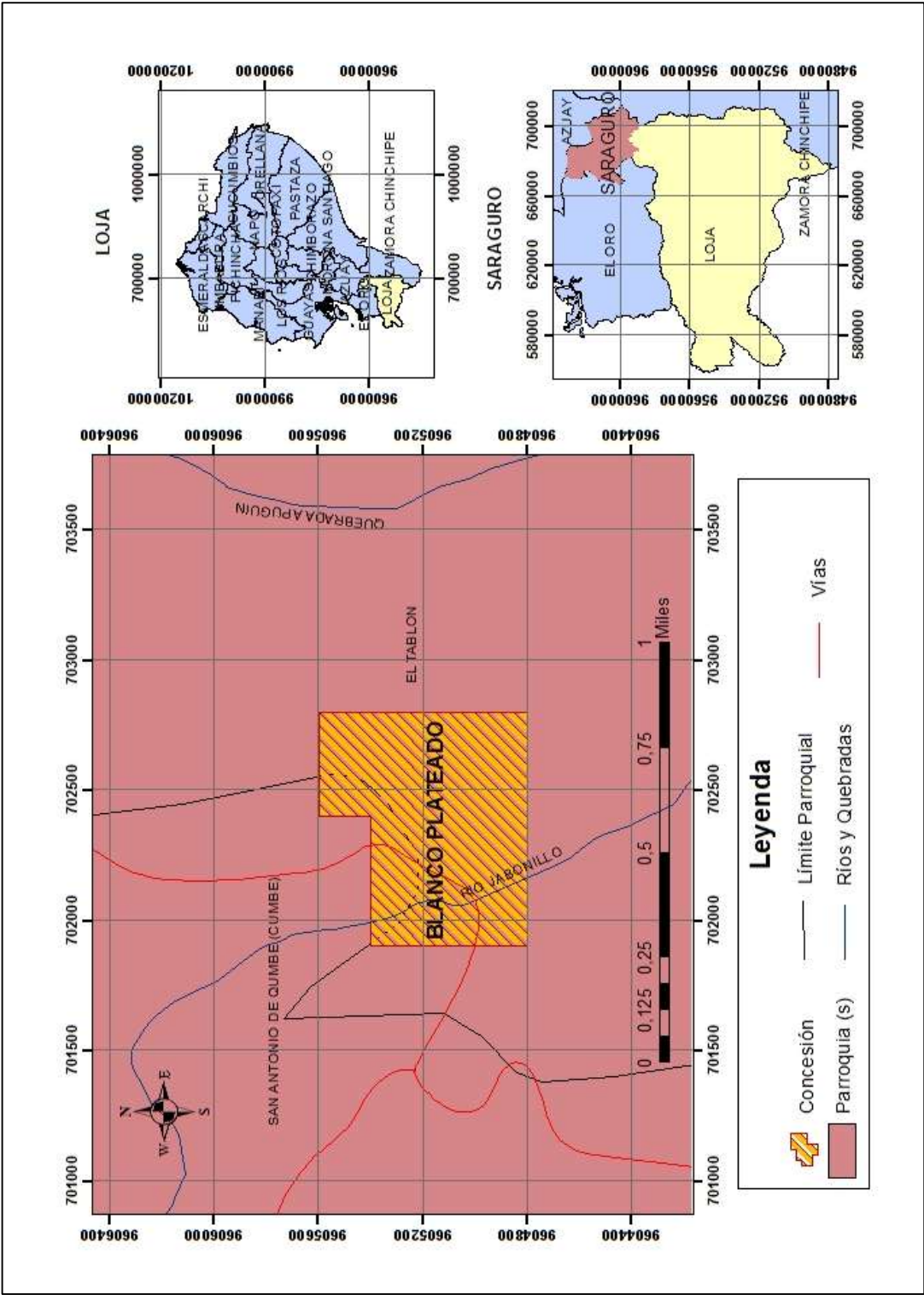


Figura 1.4 Mapa de ubicación del área de estudio

1.13.2 Geología

La hoja geológica de Saraguro cubre una superficie aproximada de 512 km². Esta zona presenta una morfología accidentada tipo montañoso andino de relieve irregular, con altitudes que varían entre 1200 y 3700 msnm.

Dentro de la zona de estudio se puede distinguir 2 formaciones:

Formación Jubones (M_{Sj})

Consiste de tobas de cristales de composición riolítica a riodacítica, tobas de cristales ignimbríticas, tobas de ceniza con peperitas y tobas de ceniza fina. Se presentan de forma masiva, con diaclasamiento columnar y altamente meteorizadas, en sitios puntuales se encuentran diaclasadas formando bloques subangulares de tamaño métrico. La formación se encuentra sobreyaciendolas unidades Río Oña, El Duco, El Tambo, Chilpe Potrero y subyaciendo la Unidad Carboncillo (INIGEMM, 2017).

Unidad Carboncillo (MPLc)

Incluye tobas de composición ácida altamente meteorizadas con tonos rojizos, capas de tobas ligeramente estratificadas, capas de tobas formadas por caída, tobas líticas y tobas de lapilli. La unidad se encuentra sobreyaciendo discordantemente a las unidades El Duco, Quebrada Tasqui, Cullo Pugroy la Formación Jubones. Con base a su relación estratigráfica se asume una edad mio-pliocénica (INIGEMM, 2017).

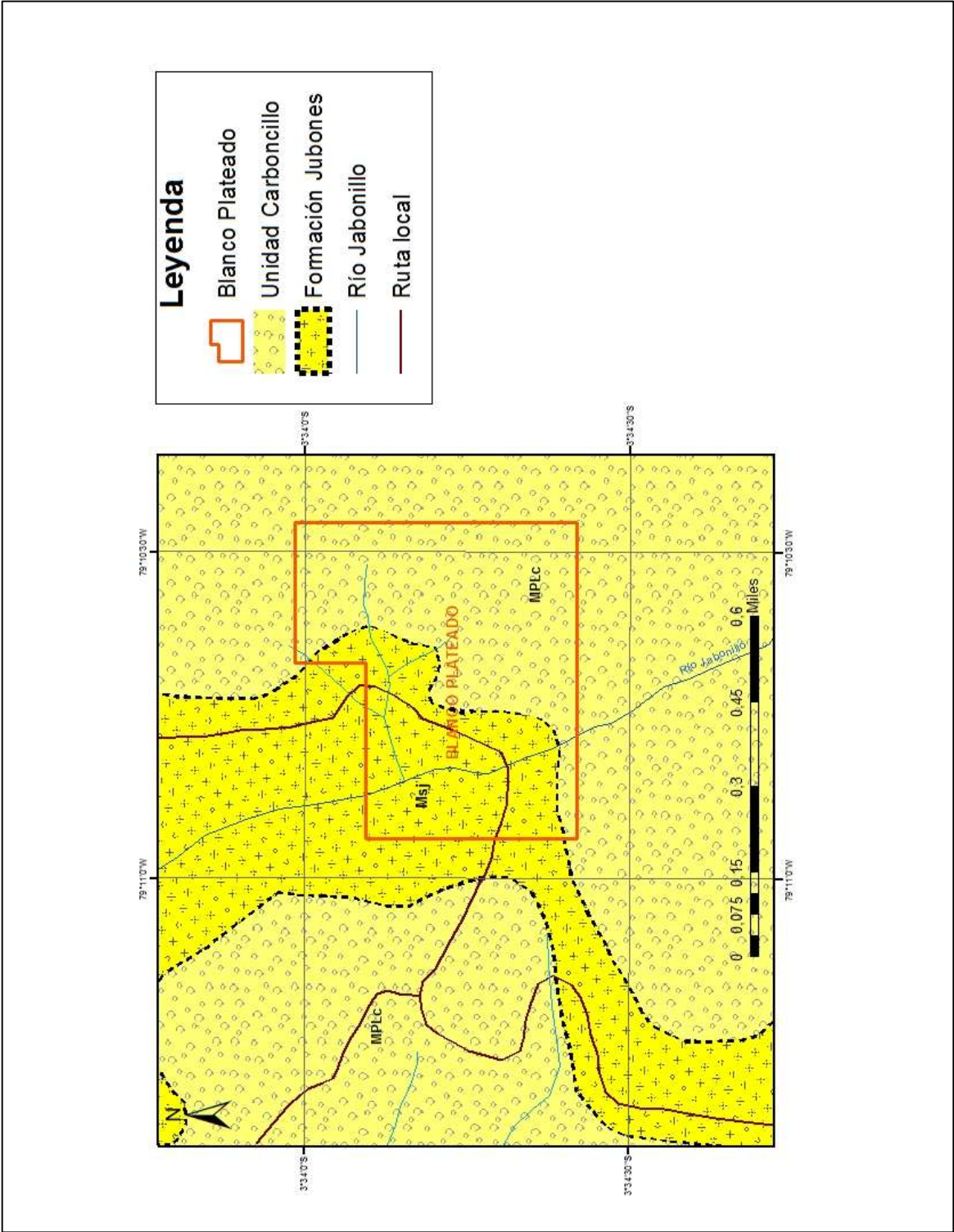


Figura 1.5 Mapa geológico de la zona de estudio

CAPÍTULO II

MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Obtención de la muestra

El material se obtuvo de una cantera ubicada en el Cantón Saraguro perteneciente a la Provincia de Loja. El material con el que se trabajó fue el obtenido directamente de cantera, sin ningún tratamiento previo.

2.2 Caracterización del material

Para este análisis utilizamos material previamente secado en un espacio cerrado con poca ventilación y posteriormente tamizado.



Figura 2.1 Secado de material

Dicho material fue tamizado utilizando la malla # 4 (4,75 mm) que permite seleccionar el material para los equipos de laboratorio. Obteniéndose 2 tipos de materiales:

- Material 1 (M1): siendo el material retenido en la malla # 4, es decir el material con una granulometría mayor a 4,75 mm.
- Material 2 (M2): siendo el material pasante en la malla # 4, es decir el material con una granulometría menor a 4,75 mm.

2.2.1 Densidad del material

La densidad real se calcula a partir del conocimiento de dos parámetros; la masa y el volumen de una cierta cantidad de arcilla. La masa se determina pesando directamente la arcilla y el volumen de manera indirecta por el cálculo de la masa y la densidad del agua (o cualquier otro fluido) desplazado por la muestra de arcilla.

Formula de densidad:

$$\delta = \frac{m}{v} \quad (\text{Torrelavega, 2010})$$

δ = Densidad

m = Masa

v = Volumen

La densidad del material se determinó de la siguiente manera:

1. Se toma una porción del material y se pesa una cantidad de 2.11 g (M₁)
2. Se pesa el picnómetro vacío y con tapa el cual tiene un peso de 18.83 gr.
3. Se pesa el picnómetro con agua el mismo tiene un peso de 28.98gr, (M₂)
4. Peso del picnómetro con la muestra y más agua de relleno 30.08 gr, (M₃)

La densidad será la relación entre el peso seco (M₁), y la diferencia entre el volumen final (M₃) y el volumen inicial (M₂).

$$V = \frac{M_1 + M_2 - M_3}{d}$$

Siendo d la densidad del agua = 1 gr/cm³

$$\delta = \frac{M_1}{M_1 + M_2 - M_3}$$

$$\delta = \frac{2.11}{(2.11 + 29.98 - 30.08)}$$

$$\delta = \frac{2.11 \text{ gr}}{1 \text{ cm}^3} = 2.11 \text{ gr/cm}^3$$

2.2.2 Análisis granulométrico

El objetivo de este análisis de tamaño de partícula, fue para determinar la distribución peso-tamaño de las partículas minerales elementales de la arcilla. Esta técnica permite determinar cuantitativamente la distribución de las partículas del suelo según su tamaño, determinado por la malla anterior y posterior.



Figura 2.2 Serie de tamices utilizados para el análisis granulométrico

El análisis granulométrico para el material 1 (M1) y el material 2 (M2) ha sido determinado en la tabla 2.1 y 2.2.

Tabla 2.1 Análisis granulométrico M1 (material mayor a malla #4)

N TAMIZ"	FAC MALLA mm	PESO PARCIAL	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% PASANTE ACUMULADO
3	75	0	0	0	100
2,5	63	0,2329	24,177307	24,177307	75,822693
2	50	0,1355	14,066231	38,243538	61,756462
1,5	38,1	0,0003	0,0311429	38,274681	61,725319
1	25	0,107	11,107651	49,382332	50,617668
trescuartos	19	0,0291	3,0208658	52,403197	47,596803
unmedio	12,5	0,0661	6,8618291	59,265026	40,734974
FONDO		0,3924	40,734974	100	0
TOTAL		0,9633	100		

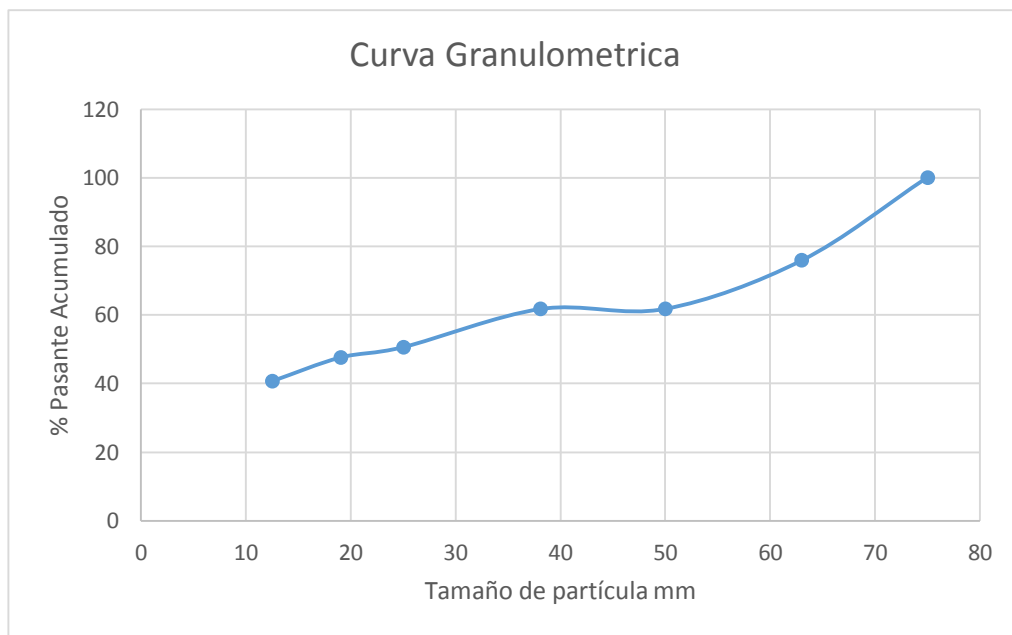


Figura 2.3 Gráfica del Análisis granulométrico M1 (material mayor a Malla #4)

Tabla 2.2 Análisis granulométrico M2 (material menor a malla #4)

N TAMIZ"	FAC MALLA mm	PESO PARCIAL	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% PASANTE ACUMULADO
4	4,75	0	0	0	100
10	2	0	0	0	100
16	1,18	0,305	38,903061	38,903061	61,096939
30	0,6	0,131	16,709184	55,612245	44,387755
50	0,3	0,11	14,030612	69,642857	30,357143
80	0,17	0,08	10,204082	79,846939	20,153061
100	0,14	0,015	1,9132653	81,760204	18,239796
200	0,074	0,056	7,1428571	88,903061	11,096939
FONDO		0,087	11,096939	100	0
TOTAL		0,784	100		

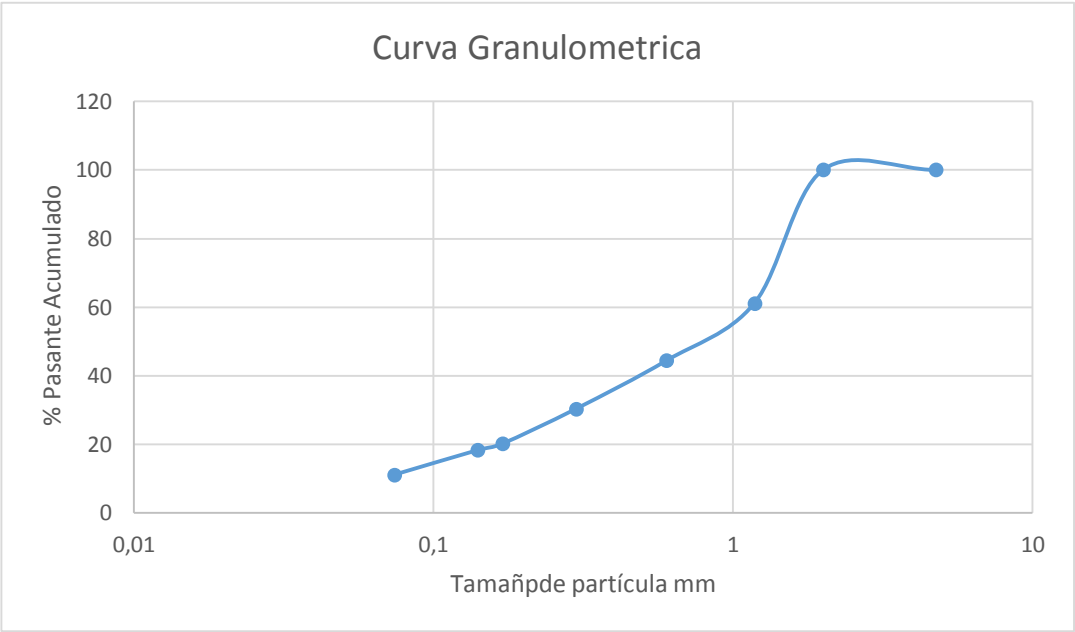


Figura 2.4 Gráfica del análisis granulométrico M2 (material menor a Malla #4)

2.2.3 Preparación de la pulpa

Para conocer la cantidad de material a utilizar en cada uno de los equipos (espiral e hidrociclón), se determina mediante una relación peso / peso como se indica en la siguiente ecuación:

$$\Phi = \frac{W_s}{W_s + W_l}$$

Dónde:

Φ : Fracción de sólidos

Ws: Peso muestra (Kg)

Wl: Peso líquido (agua) (Kg)

Para realizar un primer experimento y conocer las variables operaciones se utilizó una pulpa al 30% de fracción de sólidos. Debido a la alta densidad del material y el exceso del material de alimentación, el equipo colapso. Por tal motivo se procedió a modificar la fracción de sólidos a 24%.

Pulpa al 24%, con una cantidad de 40 ltrs de agua.

$$0.24 = \frac{W_s}{W_s + 40 \text{ ltrs}}$$

$$0.24 (W_s + 40 \text{ ltrs}) = W_s$$

$$0.24 W_s + 9.6 \text{ ltrs} = W_s$$

$$9.6 \text{ ltrs} = W_s - 0.24 W_s$$

$$9.6 \text{ ltrs} = 0.76 W_s$$

$$W_s = 12,63 \text{ Kg (muestra)}$$

Una vez determinado el peso de la muestra, se utilizó esta cantidad de material para todos los ensayos con respecto a la espiral de concentración e hidrociclón.

2.2.4 Caudal

El caudal es la cantidad de fluido que circular por una sección en un determinado tiempo. A continuación la fórmula:

$$Q = \frac{v}{t}$$

Q= caudal

v= volumen

t= tiempo

El caudal correspondiente se calculó mediante un cronometro, el cual nos indica el tiempo en el que se llena un recipiente con capacidad de 10 litros. Considerando que puede existir un margen de error, se realizó varios cálculos de caudal, y se tomó una media de los mismos.

En el espiral de concentración se realizó una medición y se tomaron 3 datos de caudal.

Tabla 2.3 Datos de caudal

Cálculo de caudal			
Fracción de sólidos	Volumen	Tiempo	Caudal
24%	10 l.	7,56 s.	79,36 l/min
24%	10 l.	7,79 s.	77,02 l/min
24%	10 l.	8,29 s.	72,37 l/min
		Media	76,20 l/min

2.3 Balance de masas

Como se puede apreciar en la figura 4.5, tenemos un concentrador, con dos productos, concentrado y colas. El flujo masico de cada corriente representa las letras mayúsculas, mientras que las letras minúsculas nos indica la ley de cada corriente.

Dependiendo del equipo concentrador se puede obtener mas de 2 productos, como en el caso del espiral de concentración, donde obtenemos: concentrados, medios y colas.

$$A = C + T$$

Donde:

A = Flujo másico del alimento

C = Flujo másico del concentrado

T = Flujo másico de las colas

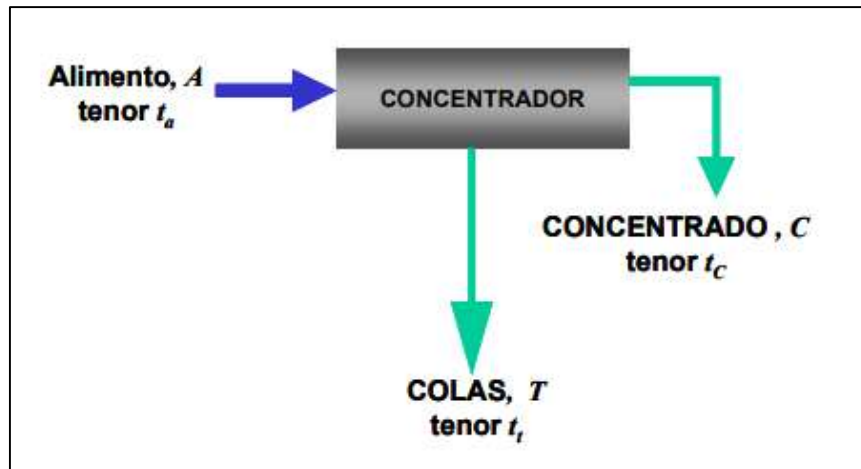


Figura 2.5 Esquema de un concentrador de dos productos

Fuente: (Bustamente, Gaviria, & Restrepo, 2008)

2.4 Recuperación

La recuperación es la relación entre la cantidad de material útil que hay en el concentrado y con respecto a la cantidad de ese mismo material en la alimentación.

$$R = \frac{c \cdot C}{a \cdot A}$$

Donde:

Fuente: (Bustamente, Gaviria, & Restrepo, 2008)

C = Flujo másico del concentrado

c= Ley útil en concentrado

A= Flujo másico de la alimentación

a= Ley útil en la alimentación

2.5 Factor metalúrgico

Es un número adimensional que se obtiene multiplicando el grado de concentrado por recuperación y dividido el producto anterior entre la ley de cabeza.

$$FM = \frac{(L_{Producto} \cdot R_{Producto})}{L_{Cabeza}} \quad \text{Fuente: (Rivera, 2006)}$$

Donde:

FM = Factor metalúrgico (%)

$L_{Producto}$ = Ley de alúmina recuperada (%)

$R_{Producto}$ = Recuperación de alúmina

L_{Cabeza} = Ley de cabeza

2.6 Pruebas de lavado manual

En diversos estudios, se ha publicado que la dispersión y agitación son factores importantes previos a la aplicación de diversos procesos, como la flotación. Esta etapa es indispensable debido a la distribución de tamaños de las partículas del caolín, así como para ayudar a liberar las partículas de caolinita de sus impurezas. (Hernández, Legorreta, & Mata, 2012) (Tenorio, Legorreta, & Hernández, 2009)

El objetivo de este proceso es que mediante la dispersión de las partículas producto de la agitación de la mezcla, y posterior clasificación se logre agrupar el mineral de interés en una granulometría específica. Basándonos en el tamaño de las partículas de arcilla, mediante el lavado se produce un arrastre de estas partículas, siendo la alúmina más densa, se tiene como resultado una separación y concentración del mineral de interés.

Para este proceso se pesó 29 Kg de muestra de M1 y se utilizó una cantidad de agua considerable para su lavado. Se procedió a utilizar el sistema de agitación de una celda de flotación Denver durante 5 min a 1300 rpm. Posteriormente se esperó 5 s. para su decantación y por último se realizó una clasificación granulométrica utilizando las mallas #40 (425 µm) y #100 (150 µm).

El mismo proceso se realizó con 5 Kg de muestra de M2.



Figura 2.6 Celda de flotación Denver

2.7 Pruebas en Espiral

En este equipo se realizó una prueba con 12,86 Kg de muestra de M2 con una pulpa del 24% en fracción de sólidos, con un tiempo de recirculación de 30 min.

Tanque de recirculación: Es un tanque de poliéster en el cual se prepara la pulpa para el ensayo, el cual tiene una capacidad volumétrica de 0.35m^3 y es sostenido por una estructura de hierro.

En la parte inferior se encuentra la cañería de alimento a la bomba y en la parte superior en una estructura se ubica el hidrociclón, el mismo descarga los productos nuevamente al tanque.

Posteriormente se recogieron los 3 productos del espiral y se realizó una clasificación granulométrica utilizando las mallas #40 y #100.

Por último se procedió a secar cada muestra para su envío y análisis en laboratorio.

2.8 Pruebas en hidrociclón

Para el experimento se utilizó un hidrociclón Krebs modelo D3B. En este equipo se realizó una prueba con 12,86 Kg de muestra de M2 con una pulpa del 24% en fracción de sólidos, con un tiempo de recirculación de 30 min.

Se calculó un caudal para la descarga de 45,76 l/min y para el rebose un caudal de 17,24 l/min.

Posteriormente se recogieron los 2 productos del hidrociclón, descarga y rebose; se realizó una clasificación granulométrica utilizando las mallas #40 y #100.

Por último se procedió a secar cada muestra para su envío y análisis en laboratorio.



Figura 2.7 Hidrociclón

A continuación en la figura 2.8 se presenta un esquema en donde se sintetiza el proceso experimental explicado anteriormente.

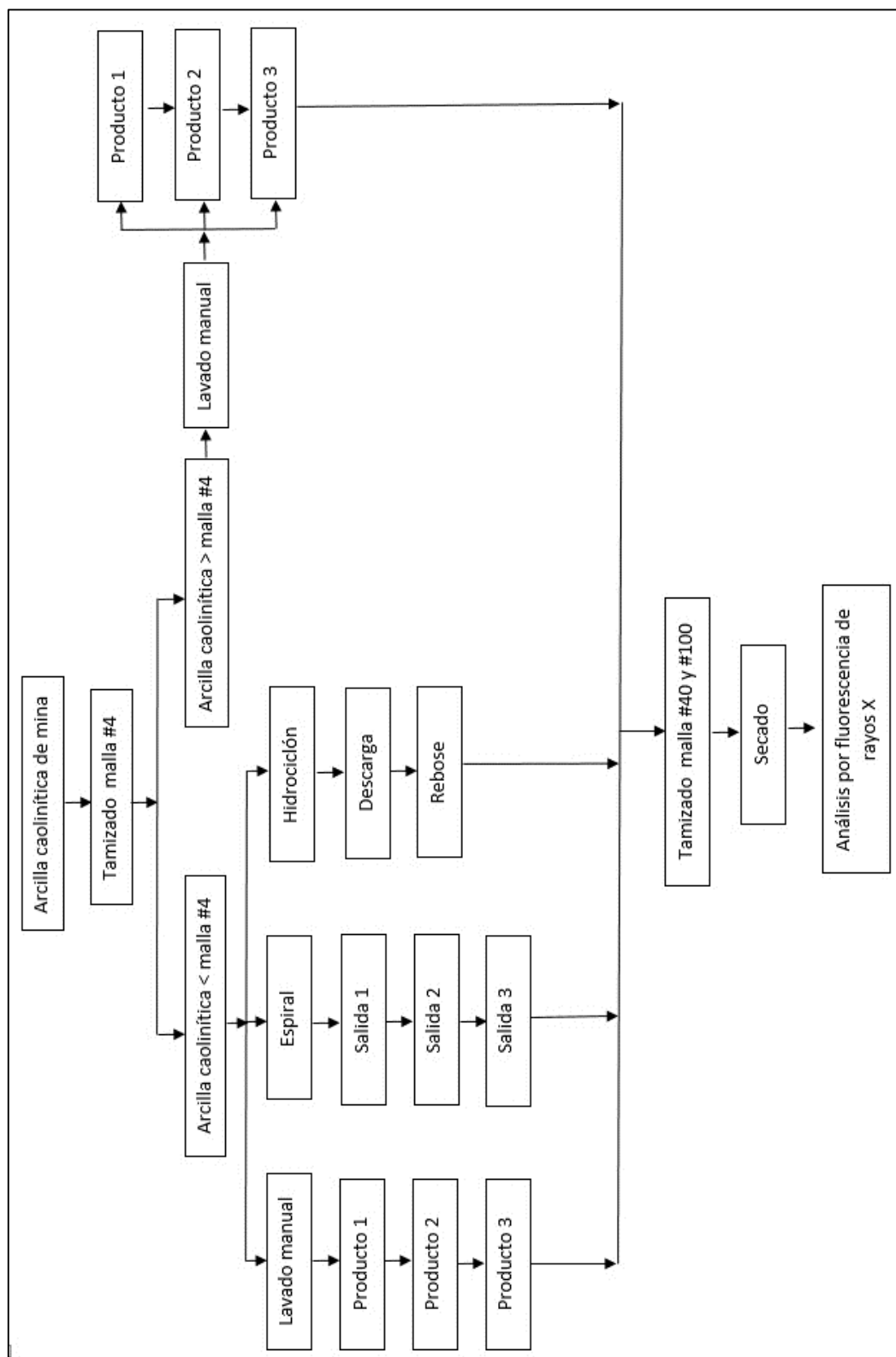


Figura 2.8 Diagrama de flujo del procedimiento experimental

2.9 Análisis por Fluorescencia de rayos X

En la presente investigación mediante el análisis por Fluorescencia de rayos X se determina el porcentaje de los compuestos presente en el mineral de cabeza y en las muestras procesadas.

Para realizar estas pruebas se empleó un equipo portátil S1 Turbo marca Bruker.

Los 2 componentes principales determinados por este método son: SiO_2 (sílice) y Al_2O_3 (alúmina).

A continuación se presenta el análisis efectuado al mineral de cabeza, los demás análisis se muestran en los resultados (Capítulo III).

Tabla 2.4 Composición mineralógica del mineral de cabeza

Compuesto	Ley %
Al_2O_3	24,40
SiO_2	46,20
TiO_2	0,3
CaO	0,13
Fe_2O_3	1,02
MnO	0,05

Donde:

Al_2O_3 = alúmina

SiO_2 = sílice

TiO_2 = anatasa

CaO = óxido de calcio

2.10 Índice de relación

Los números índices son una medida estadística que permite comparar una magnitud simple o compleja en dos situaciones diferentes al tiempo o al espacio tomando una de ellas como referencia. (De la Fuente, S.F.)

Basados en esta teoría, adaptamos este índice de relación. El cual nos indica la relación entre el porcentaje de alúmina y sílice. Si su respuesta se acerca a 1, obtenemos un material con alto porcentaje de alúmina; mientras que, si este factor tiende a 0, tenemos un material con más sílice.

$$i = \frac{\% Al_2O_3}{\% SiO_2}$$

CAPÍTULO III

RESULTADOS

Análisis granulométrico

Se realizó una clasificación primaria, con el material extraído directamente de la mina, sin ningún tratamiento previo. Se procedió a tamizar este material por la malla #4 (4,75mm). Obteniendo 2 productos, el material con una granulometría mayor a la malla #4 denominada grueso, y el material con granulometría menor denominado fino.

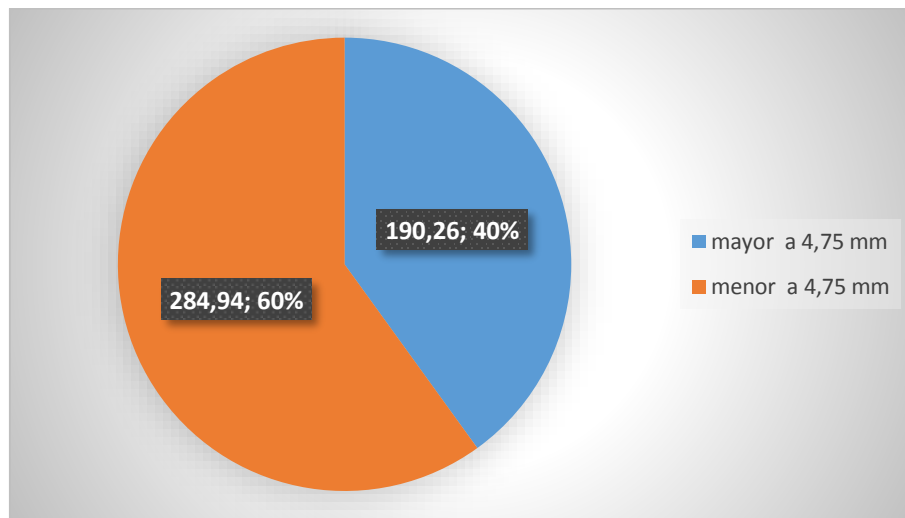


Figura 3.1 Resultados clasificación primaria

Como podemos apreciar en la figura 3.1 los resultados de una primera clasificación del material, se obtuvo un 60% del material con una granulometría menor a malla #4; y un 40% de material superior a 4,75 mm.

Dentro de este 60% de material fino encontramos tenemos una de ley de alúmina de 24 % y sílice 52,9 %.

En el material grueso, es decir con un tamaño mayor a la malla #4 obtuvimos una ley de alúmina de 26,8 % y 50,8 % de sílice.

Los resultados del análisis granulométrico nos muestra el comportamiento del material en diferentes granulometrías, evidenciando que alrededor de un 30 a 50% de material posee una granulometría mayor a la malla #40, y de un 50 a 90% del material posee un tamaño menor a la malla #100 (150 μm), como podemos apreciar en la figura 3.2.

Se determina que en las distribuciones granulométricas de la muestra de cabeza la mayor parte de mineral se encuentra en las fracciones gruesas, es decir el material con un tamaño mayor a 425 μm . Dentro del material de tamaño menor a 150 μm , encontramos alta concentración de sílice.

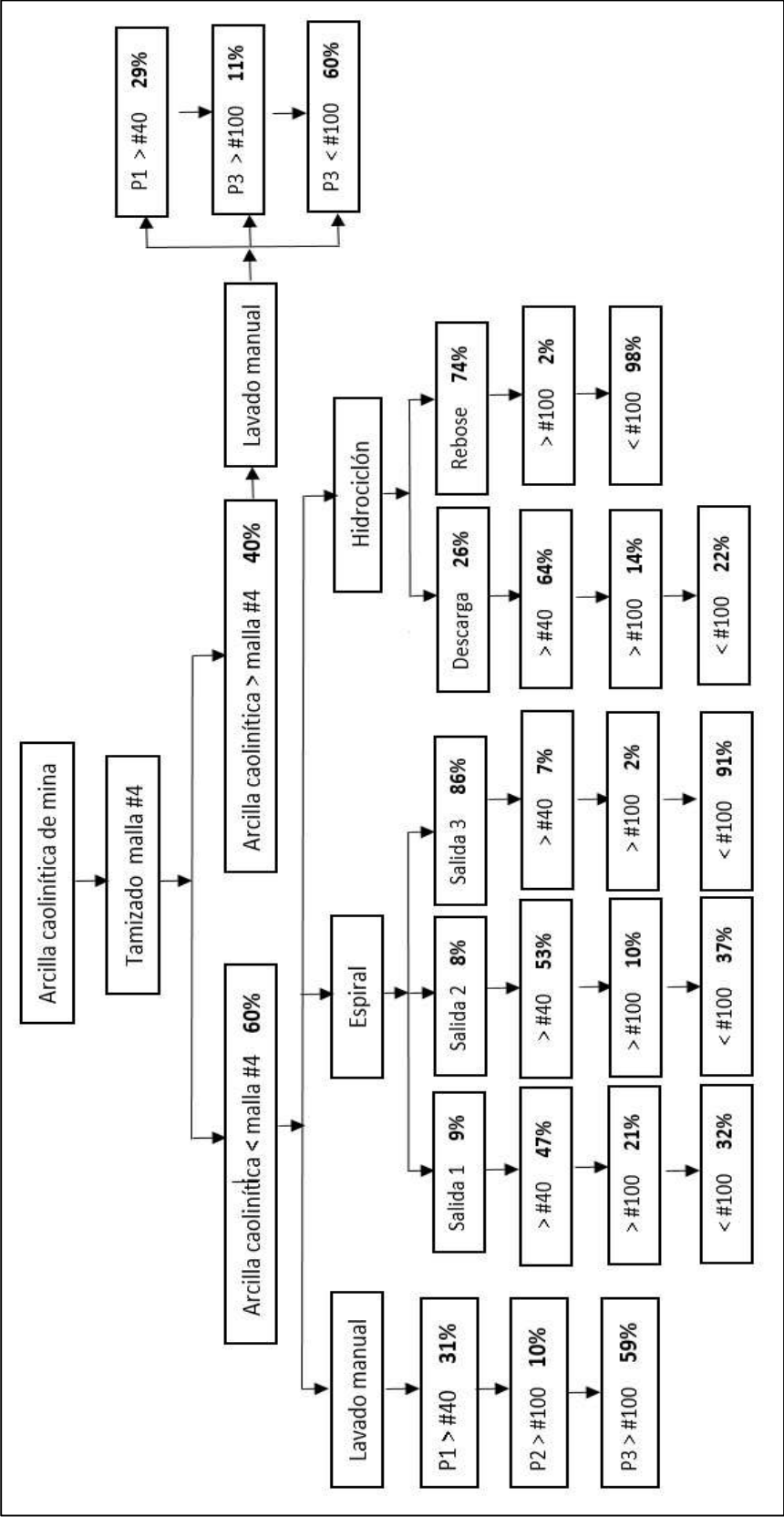


Figura 3.2 Resultados obtenidos de clasificación granulométrica

Concentración de alúmina y sílice

De los resultados previamente presentados, se determina que en el proceso de lavado, obtenemos una alta concentración de alúmina en el material M2 (<4,75 mm), sometido a agitación durante 5 min a 1300 rpm. El mejor resultado se obtiene para una granulometría mayor que malla #40, con un porcentaje de alúmina del 31,4 %, en comparación con la ley del mineral de cabeza del 24,4% de Al_2O_3 . Los resultados se desfavorecen en el material con granulometría mayor a la malla #100, al resultar un porcentaje de sílice elevado, de 65,8%.

El en proceso de concentración el en espiral, encontramos el mejor resultado en la salida #3, como el en caso del lavado encontramos mayor concentración de alúmina en el material con una granulometría mayor a la malla #40, obteniendo un porcentaje de alúmina elevado, del 32,7 %; y se observa una disminución en la concentración de sílice de un 42% en comparación con el 46,2% de sílice presente en el mineral de cabeza.

El hidrociclizado, en donde la descarga presenta arcilla con mayor contenido de alúmina, mientras que el rebose nos arroja material con mayor contenido de sílice. Obteniendo el mejor resultado en el material con una granulometría mayor a la malla #40, con un porcentaje de 31,4% de Al_2O_3 , y una baja concentración de sílice de 39,9%. Siendo este resultado el más factible por sus porcentajes en comparación con el mineral de cabeza que presenta 24,4 % de alúmina y 46,2% de sílice.

Los resultados de los análisis químicos por fluorescencia de rayos X, de la muestra de cabeza de la arcilla base y de las muestras de arcilla procesada, nos muestran la presencia de impurezas de sílice (SiO_2) y hematita (Fe_2O_3) principalmente; También, contiene anatasa (TiO_2) y óxido de magnesio (MgO) (Ver Anexo 3).

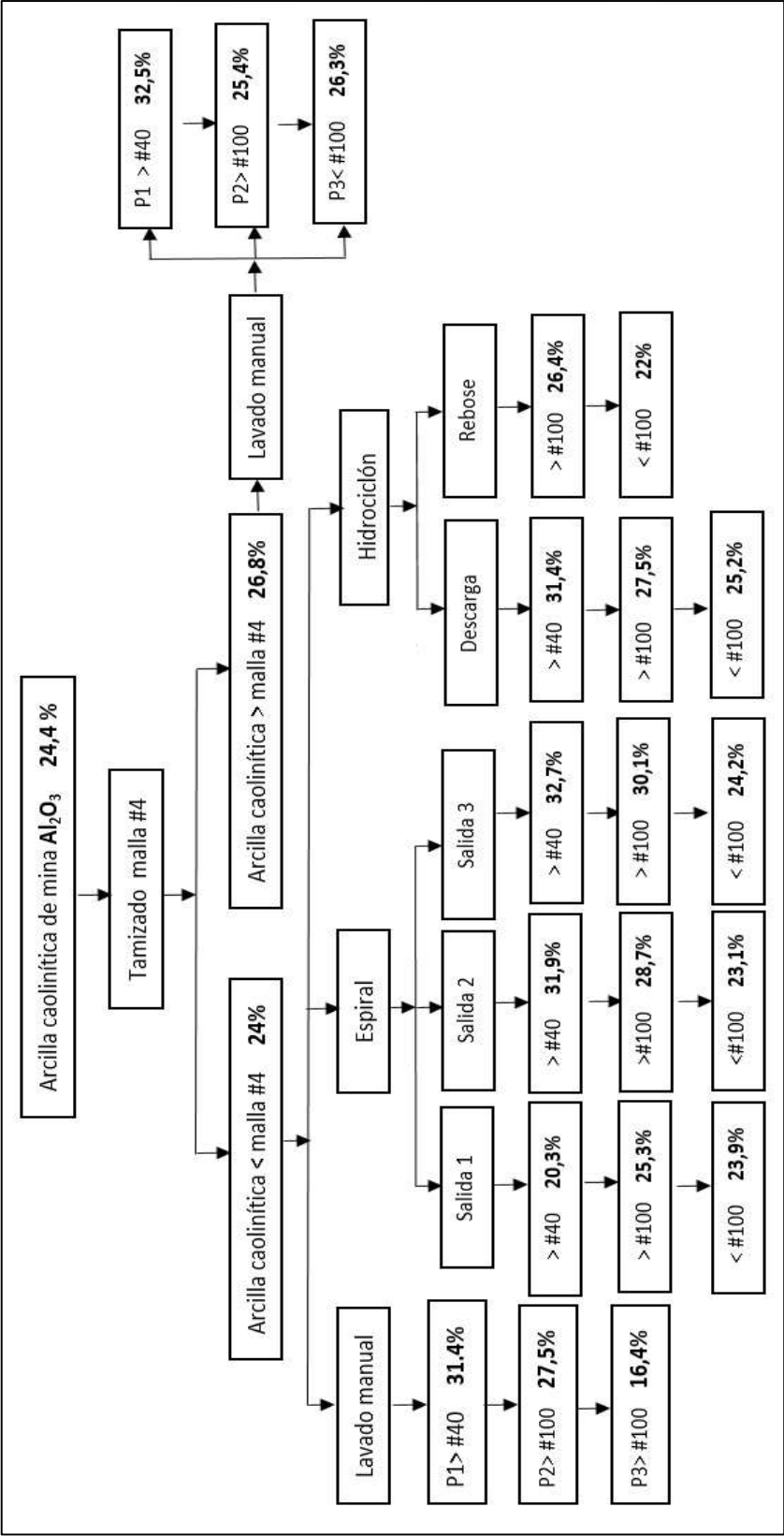


Figura 3.3 Resultados de contenido de Al_2O_3

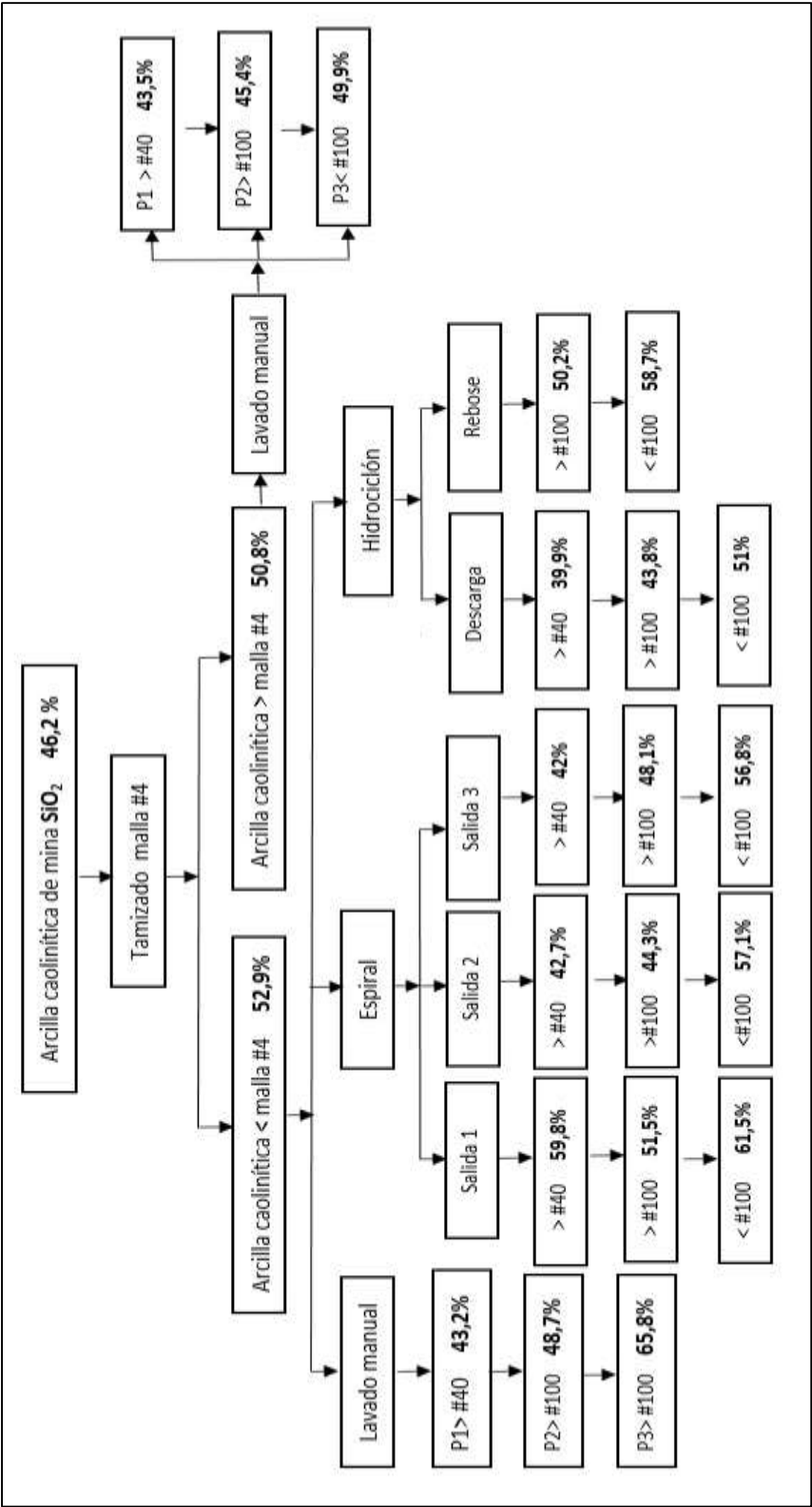


Figura 3.4 Resultados de contenido de SiO₂

Recuperación de Al_2O_3

Como podemos observar en la tabla 3.1, se determina leyes variables de alúmina y buenas recuperaciones. El mejor resultado tomando en cuenta estos dos parámetros se obtiene en el proceso de lavado con una granulometría mayor a malla #40 con un contenido de alúmina del 32,5% y una recuperación del 38,52%; aunque en algunos casos se obtienen altas recuperaciones pero con bajas leyes.

Las arcillas que se recuperan en granulometrías menores a malla #100 son de baja calidad en cuanto a la ley de alúmina y con baja recuperación. De igual manera se está granulometría se encuentran altas recuperación pero con bajas leyes, lo que es no factible para aprovechar el material.

Tabla 3.1 Resultados de Recuperación de Al_2O_3

Descripción	Al_2O_3 (%)	Recuperación (%)	FM (%)
Material de cabeza	24,4		
LAVADO			
M1 - tamaño mayor a malla #40	32,5	38,52	51,30
M1 - tamaño menor a malla #40 y mayor que malla #100	25,4	11,35	11,81
M1 - tamaño menor a malla #100	26,3	64,87	69,92
M2 - tamaño mayor a malla #40	31,4	40,15	51,67
M2 - tamaño menor a malla #40 y mayor que malla #100	27,5	11,00	12,40
M2 - tamaño menor a malla #100	16,4	39,68	26,67
ESPIRAL			
Salida 1			
M2 - tamaño mayor a malla #40	20,3	3,45	2,87
M2 - tamaño menor a malla #40 y mayor que malla #100	25,3	2,34	2,42
M2 - tamaño menor a malla #100	23,9	2,75	2,69
Salida 2			
M2 - tamaño mayor a malla #40	31,9	5,33	6,97
M2 - tamaño menor a malla #40 y mayor que malla #100	28,7	0,95	1,11
M2 - tamaño menor a malla #100	23,1	2,72	2,58
Salida 3			
M2 - tamaño mayor a malla #40	32,7	8,78	11,77
M2 - tamaño menor a malla #40 y mayor que malla #100	30,1	1,98	2,45
M2 - tamaño menor a malla #100	24,2	77,11	76,48
HIDROCICLÓN			
Descarga			
M2 - tamaño mayor a malla #40	31,4	20,89	26,88
M2 - tamaño menor a malla #40 y mayor que malla #100	27,5	4,24	4,78
M2 - tamaño menor a malla #100	25,2	5,79	5,98
Rebose			
M2 - tamaño mayor que malla #100	26,4	1,42	1,53
M2 - tamaño menor a malla # 100	22	65,90	59,42

Recuperación de SiO₂

En la tabla 3.2, encontramos los resultados de contenido de sílice y su recuperación. Siendo la granulometría un parámetro importante, notamos que en los procesos aplicados tenemos una alta recuperación de sílice en granulometrías menores a malla #100, así como leyes muy significativas.

La arcilla recuperada del proceso en el espiral de concentración, obtenida por la salida 3, es decir los finos, con una ley de sílice de 56,8% y una recuperación de 93,5%, es el mejor resultado encontrado.

Tabla 3.2 Resultados de Recuperación SiO₂

Descripción	SiO ₂	Recuperación %	F.M. %
Material de cabeza	46,2		
LAVADO			
M1 - tamaño mayor a malla 40	43,5	27,2	25,63
M1 - tamaño menor a malla 40 y mayor que malla 100	45,4	10,7	10,53
M1 - tamaño menor a malla 100	49,9	65,0	70,21
M2 - tamaño mayor a malla 40	43,2	29,2	27,28
M2 - tamaño menor a malla 40 y mayor que malla 100	48,7	10,3	10,84
M2 - tamaño menor a malla 100	65,8	84,1	119,76
ESPIRAL			
Salida 1			
M2 - tamaño mayor a malla 40	59,8	5,4	6,99
M2 - tamaño menor a malla 40 y mayor que malla 100	51,5	2,1	2,36
M2 - tamaño menor a malla 100	61,5	3,8	5,00
Salida 2			
M2 - tamaño mayor a malla 40	42,7	3,8	3,50
M2 - tamaño menor a malla 40 y mayor que malla 100	44,3	0,8	0,74
M2 - tamaño menor a malla 100	57,1	3,6	4,42
Salida 3			
M2 - tamaño mayor a malla 40	42	5,5	4,97
M2 - tamaño menor a malla 40 y mayor que malla 100	48,1	1,3	1,37
M2 - tamaño menor a malla 100	56,8	93,5	114,91
HIDROCICLON			
Descarga			
M2 - tamaño mayor a malla 40	39,9	14,2	12,30
M2 - tamaño menor a malla 40 y mayor que malla 100	43,8	3,5	3,27
M2 - tamaño menor a malla 100	51	6,4	7,04
Rebose			
M2 - tamaño menor a malla 40 y mayor que malla 100	50,2	1,4	1,57
M2 - tamaño menor a malla 100	58,7	92,4	117,45

Índice de relación

Como podemos apreciar en la gráfica tenemos el mayor índice de relación de 0,79 en la muestra 19, esta muestra fue tratada en el hidrociclón, obtenida por la descarga del clasificador, siendo partículas de tamaño mayor a la malla #40. Dicha muestra contiene 31,4% de alúmina y 39,9% de sílice. Obteniendo un material enriquecido en alúmina.

El menor índice encontrado es de 0,25 de la muestra 9, esta muestra resulto de un lavado manual, siendo partículas de tamaño menor a la malla #100. Esta muestra contiene 16,4% de alúmina y 65,8% de sílice. Resultando un material rico en sílice.

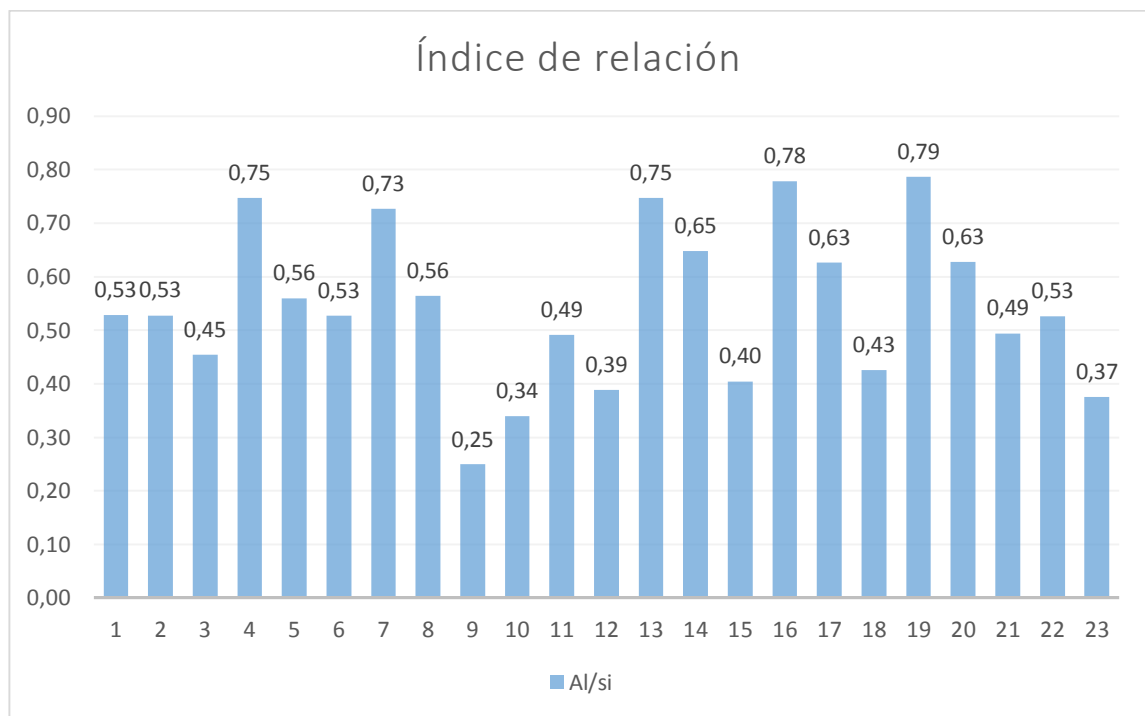


Figura 3.5 Resumen Índices de relación

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

Considerando los resultados obtenidos podemos concluir:

- Se concluye que al realizar una primera clasificación del material mediante tamizado, utilizando la malla #4 (4,75mm), se logra una primera concentración de alúmina en el material del 26,8% en el material con una granulometría mayor a 4,75mm, es decir el material que no paso la malla #4, correspondiente a la muestra No. 2.
- Se puede evidenciar que la mayor concentración de alúmina (Al_2O_3) de todos los procesos realizados se encuentra en las partículas con una granulométrica mayor a la malla #40, es decir partículas con tamaños mayores a 425 μm .
- Los mayores porcentajes de sílice (SiO_2) obtenidos de los procesos empleados se encuentran en las partículas con una granulometría menor a malla #100 (150 μm).
- Se concluye que una vez realizados los diferentes ensayos en los equipos de clasificación y basados en nuestros objetivos, es posible concentrar la alúmina; así elevando el uso industrial del caolín, siendo el mejor resultado el obtenido del procese realizado con el Espiral de concentración, elevando el porcentaje de alúmina de una 24% a 32,7%; empleando una pulpa al 24% de sólidos y un caudal de 76,20 l/min, correspondiente a la muestra No. 16.
- Las recuperación de alúmina de la arcilla caolinítica recuperada obtenidas en el proceso de lavado son mejores que las obtenidas en los procesos utilizando el espiral y el hidrociclón.

- Respecto al método de lavado manual encontramos el mejor resultado en cuanto a ley y recuperación de alúmina, obteniendo una ley de 32,5% con una recuperación del 38,52%.
- La clasificación en el espiral de concentración, nos mostró el comportamiento del material granulométricamente, resultado por la Salida 1 leyes bajas de alúmina, mientras que por la salida 3, es decir el material grueso, obtuvimos altas leyes.
- Mediante la clasificación, se logró separar la arcilla empleando un Hidrociclón Krebs modelo D3B. Se recuperó la sílice por el rebose en el material con una granulometría menor a la malla #100 (150 μ m); y la alúmina por la descarga del clasificador en el material con una granulometría mayor a la malla #40 (425 μ m).
- Se concluye que para el hidrociclón empleado en el estudio realizado por Rivera denominado “Estudio referente al procesamiento de arcilla, factibilidad para la recuperación de caolinita de menas de arcilla con baja ley con altos contenidos de sílice en Cemento Andino S.A.”, puede trabajar con pulpa del 30% en fracción de sólidos, esto podría deberse a un granulometría más fina. En nuestro caso no podemos trabajar con este porcentaje de sólidos, ya que en nuestro hidrociclón debido a la densidad existieron problemas de funcionamiento.
- Mediante los resultado obtenidos del índice de relación $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$, se concluye que la arcilla recuperada con un alto índice es la obtenida de la descarga del hidrociclón, con partículas mayores a la malla #40. Con un porcentaje de alúmina de 31,4% y sílice de 39,9%.

Recomendaciones

- Se recomienda la utilización de pulpas menores al 30% de fracción de sólidos, para los equipos Espiral e Hidrociclón, ya que al experimentar con fracciones iguales o mayores a la recomendada ocasiona la obstrucción de los equipos.
- Se recomienda que el material tratado mediante del proceso de hidrociclonado, obtenido en la descarga, con una granulometría mayor a malla #40, es factible para el uso en la industria cerámica debido a su concentración de Al_2O_3 de 31,4% y de SiO_2 de 39,9%.
- Se recomienda, siendo el caso de obtener un material con alto contenido de sílice, trabajar con el material obtenido del proceso de lavado con material con una granulometría menor a malla #100, obteniendo un porcentaje de SiO_2 de 61,5%.
- Se recomienda un flujo de alimentación para el espiral de concentración de un rango comprendido entre 72 a 79 l/min.

BIBLIOGRAFÍA

- Auerkari, P. (1996). *Mechanical and physical properties of engineering alumina ceramics* . Technical Research Centre of Finland.
- Austin, L., & Concha, F. (1994). Diseño y simulación de circuitos de molienda y clasificación. . Concepcion: CYTED.
- Bartolome, J. (1997). El Caolín: composición, estructura, génesis y aplicaciones. Boletín Sociedad Española de Ceramica y Vidrio .
- Boch, P., & Niepce, J. (2007). *Ceramic Materials Processes, Properties and Applications* . California: ISTE Ltd .
- Bueno, H. (2013). Pruebas Metalúrgicas de concentración de espirales Humphreys. Universidad Nacional del centro del Perú. Perú.
- Bustamente, O., Gaviria, A., & Restrepo, O. (2008). Concentración de Minerales. Obtenido de
file:///C:/Users/hp/Downloads/CONCENTRACIONminerales%20.pdf
- Carbajal, C., & Chavéz, A. (2015). Estudio del concentrador gravimétrico helicoidal hecho con fibra de vidrio y sus parámetros de funcionamiento. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. Arequipa, Perú.
- De la Fuente, S. (S.F.). Estadística Descriptiva: Número Índices. Madrid: Universiad Autónoma de Madrid .
- Díaz, L., & Torrecillas, R. (2002). Arcillas cerámicas: una revisión de sus distintos tipos, significados y aplicaciones. Oviedo: Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio .
- Doroteo, E. (2010). Diseño y operación de un hidrociclón para mejorar la técnica de lavado de suelos. Univerisas Nacional Autonoma de México. México D.F., México.
- Elzea, J. (2014). *Mining and processing kaolin. Elements*.
- Flores, J., Reyes, V., Legorreta, F., & Hernández, L. (2009). Purificación de caolín por electrolisis. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Hidalgo.
- Galán, E., & Aparicio, P. (2006). Materias primas para la industria cerámica. Sevilla: Universidad de Sevilla.
- García, E., & Suárez, M. (2013). Las arcillas: propiedades y usos.

- Gutiérrez, E. (1978). Química Inorgánica . España : Editorial REVERTÉ S.A.
- Hernández, Y. (2017). Caracterización mineralógica y geoquímica de caolines del área de Huayacocotla, Veracruz, (México) para uso industrial. Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- Hernández, L., Legorreta, F., & Mata, P. (2012). Estudio de la remoción de impurezas de arcillas caoliníticas del estado de Hidalgo, México . *Rev. LatiAm. Metal. Mat.*, 308-315.
- Huerta, S. (S.F.). Sedimentación. Universidad Autónoma Metropolitana. México.
- Hurbult, D. (1959). Manual de Mineralogia. Reverte S.A. México.
- Jara, J. (S.F.). Aplicaciones de los refractarios. Universidad Nancional de San Agustin . Perú.
- Jiménez, C. (2017). Temperatura y expansión térmica . Costa Rica : Instituto Tecnológico de Costa Rica .
- Kelly, E., & Spottis, D. (1990). Introducción al procesamiento de minerales. Limusa.
- López, E. (1987). Apuntes de procesos de concentración de minerales. Departamento de Explotación de Minas y Metalurgia. Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad de México, México.
- Metalúrgico, I. N. (2017). Hoja Geológica Saraguro. Escala 1:50000. .
- Monzonis, C., & Villar, M. (1988). Materias primas cerámicas. Yacimientos de arcillas y caolines. Universidad de Valencia. Valencia, España.
- Murray, H. (1961). *Industrial Applications of Kaolin*. New Jersey : Georgia Kaolin Company.
- Murray, H. (2017). *APPLIED CLAY MINERALOGY Occurrences, Processing and Application of Kaolins, Bentonites, PalygorskiteSepiolite, and Common Clays*. . (Vol. 2). Elsevier.
- Palomo, M. (2017). Aislantes térmicos . Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.
- Prcessiing, A. M. (2017). ampm mineral. Recuperado el 27 de mayo de 2019, de <http://www.ampmineral.com/equipos/hidrociclones.php>
- Rocha, E. (2005). Introducción a los materiales cerámicos . México : Universidad Autónoma Metropolitana.

- Rpsqualitases. (18 de Junio de 2019). Obtenido de http://www.rpsqualitas.es/documentacion/downloads/instrumental/fluorescencia_de_rayos_x.pdf
- Santos, J., Malagón, P., & Elcy, C. (2009). Caracterización de arcillas y preparación de pastas cerámicas para la fabricación de tejas y ladrillos en la región de Barichara, Santander. Universidad Industrial de Santander. Santander.
- Tenorio, C., Legorreta, F., & Hernández, L. (2009). Beneficio de caolín procedente del municipio de Agua Blanca por flotación inversa. Universidad Autónoma del estado de Hidalgo. Hidalgo.
- Torrelavega. (2010). Densidad del Material.
- ugr.es. (18 de Junio de 2019). ugr.es. Obtenido de ugr.es: <http://www.ugr.es/~minpet/pages/enpdf/laboratorios.pdf>
- Unam.mx. (2 de Mayo de 2019). Unam.mx. Obtenido de Unam.mx: http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/exposicion_absorcion_atomica_5045.pdf
- unam.mx. (2 de Mayo de 2019). unam.mx. Obtenido de unam.mx: http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/exposicion_absorcion_atomica_5045.pdf
- Vera, M. (2016). Aplicación del método de difracción de rayos x para la identificación y cuantificación de minerales de alteración hidrotermal sobre las concesiones mineras del proyecto La Bonita - Sucumbios. Escuela Superior Politécnica del Litoral. Guayaquil, Ecuador.
- Wilhide, L., & Hodge, S. (2018). Cerámica. Un recorrido por la historia, las técnicas y los ceramistas más destacados. Barcelona, España: Editorial Gustavo Gili.
- Zapata, M. (2012). Estudio de pre factibilidad para la instalación de una planta de producción de arena sílice para uso. Universidad Nacional de Ingeniería. Lima.
- Zonaemec. (16 de Julio de 2019). Zonaemec. Obtenido de Zonaemec: https://zonaemec.files.wordpress.com/2015/08/3_1_2-conductividad-elctrica.pdf

ANEXOS

Anexo 1. Ejercicios de cálculo de caudal

Experimento en Espiral

10 l 7,56 s

X 60 s = **79,36 l/min**

10 l 7,79 s

X 60 s = **77,02 l/min**

10 l 8,29 s

X 60 s = **72,37 l/min**

Calculo de caudal de descarga del Hidrociclón

10 l 11,7 s

X 60 s = **51,28 l/min**

10 l 14,3 s

X 60 s = **41,95 l/min**

10 l 13,47 s

X 60 s = **44,54 l/min**

Calculo de caudal de rebose del Hidrociclón

10 l 34,81 s

X 60 s = **17,23 l/min**

Anexo 2 Resumen de resultados de análisis químico

No. Muestra	Descripción	% Al_2O_3	% SiO_2
1	Material de cabeza	24,4	46,2
2	Material de cabeza mayor a malla #4 (M1)	26,8	50,8
3	Material de cabeza menor a malla #4 (M2)	24	52,9
LAVADO			
4	M1 - tamaño mayor a malla #40	32,5	43,5
5	M1 - tamaño menor a malla #40 y mayor que malla #100	25,4	45,4
6	M1 - tamaño menor a malla #100	26,3	49,9
7	M2 - tamaño mayor a malla #40	31,4	43,2
8	M2 - tamaño menor a malla #40 y mayor que malla #100	27,5	48,7
9	M2 - tamaño menor a malla #100	16,4	65,8
ESPIRAL			
	Salida 1		
10	M2 - tamaño mayor a malla #40	20,3	59,8
11	M2 - tamaño menor a malla #40 y mayor que malla #100	25,3	51,5
12	M2 - tamaño menor a malla #100	23,9	61,5
	Salida 2		
13	M2 - tamaño mayor a malla #40	31,9	42,7
14	M2 - tamaño menor a malla #40 y mayor que malla #100	28,7	44,3
15	M2 - tamaño menor a malla #100	23,1	57,1
	Salida 3		
16	M2 - tamaño mayor a malla #40	32,7	42
17	M2 - tamaño menor a malla #40 y mayor que malla #100	30,1	48,1
18	M2 - tamaño menor a malla #100	24,2	56,8
HIDROCICLON			
	Descarga		
19	M2 - tamaño mayor a malla #40	31,4	39,9
20	M2 - tamaño menor a malla #40 y mayor que malla #100	27,5	43,8
21	M2 - tamaño menor a malla #100	25,2	51
	Rebose		
22	M2 - tamaño mayor que malla #100	26,4	50,2
23	M2 - tamaño menor a malla #100	22	58,7

Anexo 3 Análisis químico



Universidad Técnica Particular de Loja
Departamento de Geología, Minas e Ingeniería Civil
Sección de Geodinámica, Minería y Metalurgia
Laboratorio de Geoquímica Analítica
Análisis Químico por Fluorescencia de Rayos X

Cliente: Génesis Vergara Caraguay
Fecha: 26-04-2019

INFORME DE FRX

A continuación, se presenta el informe sobre el análisis químico de Fluorescencia de Rayos X de las muestras con código 092, empleando el equipo portátil S1 Turbo marca Bruker.

Muestra	Al ₂ O ₃ (%)	SiO ₂ (%)	MgO (%)	P ₂ O ₅ (%)	TiO ₂ (%)	CaO (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	MnO (%)
1	24.40	46.20	ND	ND	0.30	0.13	1.02	0.05
2	26.80	50.80	1.45	0.28	0.37	0.12	1.17	0.05
3	24.00	52.90	ND	0.29	0.35	0.11	1.06	0.05
4	32.50	43.50	ND	0.27	0.28	0.12	0.95	0.07
5	25.40	45.40	ND	0.30	0.43	0.12	1.28	0.05
6	26.30	49.40	1.90	0.32	0.34	0.12	1.15	0.05
7	31.40	43.20	1.58	0.24	0.23	0.12	0.60	0.04
8	27.50	48.70	3.76	0.25	0.45	0.13	0.75	ND
9	16.40	65.80	ND	0.24	0.35	0.11	0.40	ND
10	20.30	59.90	0.78	0.33	0.15	0.16	0.44	ND
11	25.30	51.50	ND	0.23	0.34	0.15	0.79	0.05
12	23.90	61.50	3.58	0.32	0.36	0.14	0.53	ND
13	31.90	42.70	0.96	0.20	0.10	0.12	0.54	ND
14	28.70	44.30	ND	0.26	0.24	0.13	0.69	ND
15	23.10	57.10	ND	0.28	0.31	0.11	0.47	ND
16	32.70	42.00	ND	0.28	0.17	0.10	0.54	ND
17	30.10	48.10	ND	0.38	0.34	0.14	1.03	0.04
18	24.20	56.80	3.34	0.31	0.31	0.11	0.49	0.04
19	31.40	39.90	3.26	ND	0.15	0.10	0.51	ND
20	27.50	43.80	ND	0.23	0.26	0.15	0.74	0.04
21	25.20	51.00	4.03	0.28	0.33	0.14	0.54	0.04
22	26.40	50.20	2.95	0.25	0.37	0.42	0.85	ND
23	22.00	58.70	2.43	0.33	0.35	0.10	0.48	0.04

Estos resultados corresponden a la composición química de la muestra expresada en elementos mayoritarios (>1%) y minoritarios (<1 a 0,1%).

ND: No detectó.

Observaciones: El Na₂O no es analizado por FRX, pero la muestra puede contener.


M. Sc. John Luis Manrique
Responsable del Laboratorio de Geoquímica Analítica

