

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA



**“DESFERRETIZACIÓN ELECTROMAGNÉTICA
DEL FELDESPATO DE LA COMUNIDAD DE
CUCUYA PARA LA INDUSTRIA CERÁMICA”**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO QUÍMICO

TUME TUME, JHONNATAN EDUARDO
VILLANUEVA MENDOZA, IVAN HUMBERTO

Callao, Enero, 2018
PERÚ

Jhonattan Tume
Ivan Humberto Villanueva Mendoza
[Signature]
[Signature]

[Signature]

PROLOGO DEL JURADO

La presente tesis fue sustentada por los bachilleres en Ingeniería Química, el señor TUME TUME, JHONNATAN EDUARDO y el señor VILLANUEVA MENDOZA IVAN, ante el JURADO DE LA SUSTENTACION DE TESIS conformado por los siguientes docentes ordinarios:

DR. OSCAR JUAN RODRIGUEZ TARANCO	Presidente
MG. RICARDO RODRIGUEZ VILCHEZ	Secretario
MG. CALIXTO IPANAQUE MAZA	Vocal
MG. ANA MARIA REYNA SEGURA	Miembro Suplente
ING. VICTOR HUGO AVALOS JACOBO	Asesor

Tal como está asentado en el Libro de Actas de Sustentación por modalidad de Tesis con Ciclo de Tesis N°01, Acta N°29, Folio N°30, de fecha 25 de enero del 2018, para optar el Título Profesional de Ingeniero Químico, de acuerdo a lo normado por el Reglamento de Grados y Títulos aprobado por Resolución N°359-2017-CFIQ, de fecha 27 de diciembre del 2017.

DEDICATORIA

A mis padres María y Edilberto, por sus consejos y enseñanzas durante todo este tiempo, y a mis hermanos Karina y Carlos, por sus ejemplos, su constante confianza y todos los momentos vividos.

Jhonnatan,

Esta tesis va dedicada a mis padres, Doris y Meraldo, que, incondicionalmente, aportaron a mi vida educación, valores y amor; a mis hermanos, Alexander y Carlos, personas que aprecio y admiro mucho, sigan sus sueños, nunca es tarde para nada, los amo.

Ivan.

AGRADECIMIENTOS

A nuestros padres, por el apoyo incondicional y su formación brindada durante todos estos años, quienes nos dieron la oportunidad de salir adelante con una carrera profesional y culminarlo satisfactoriamente, y día a día nos animan a ser mejores personas.

A los docentes de la facultad de Ingeniería Química de la UNAC, en especial al Ing. Víctor Avalos Jacobo, asesor de esta tesis, brindando la oportunidad de recurrir a su capacidad y conocimientos en el campo de la investigación e ingeniería, para absolver nuestras dudas y realizar esta investigación.

También a la Ing. Carmen Avelino, y los ingenieros Policarpo Suero y Juan Medina, quienes formaron parte del III CURSO-TALLER DE TESIS, y nos guiaron paso a paso para realizar este presente trabajo de investigación. Así como las personas de esta casa de estudios que nos facilitaron las instalaciones de la facultad, y de alguna u otra forma nos mostraron su apoyo.

Al señor Alfonso Barrientos, quien nos llevó al yacimiento de su propiedad, en la provincia de Huarochirí, y permitió que extrajéramos muestra que sirvió como parte de esta investigación, y además nos brindó su apoyo y consejos ante cualquier consulta por su amplia experiencia en el campo industrial.

Al Dr. Abel Gutarra, docente de la Facultad de ciencias Físicas de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI), así como de Junior Rocca, Bachiller de esta facultad, quienes nos abrieron las puertas de su casa de estudios y nos apoyaron en la realización de nuestra parte experimental, así como la capacitación en el uso del equipo de separación magnética.

A la empresa INSUMEX S.A, que nos brindó sus instalaciones, así como el uso de equipos para la realización de pruebas necesarias para nuestra investigación.

Jhonnatan - Ivan

ÍNDICE

TABLAS DE CONTENIDO.....	4
RESUMEN.....	7
ABSTRACT.....	8
I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	9
1.1 Identificación del problema	9
1.2 Formulación de problemas	10
1.3 Objetivos de la investigación	11
1.4 Justificación	11
1.5 Importancia	12
II. MARCO TEÓRICO	13
2.1 Antecedentes del estudio.....	13
2.2 Bases teóricas	15
2.2.1 Separadores magnéticos.....	15
2.2.2 Importancia de la separación magnética de metales en el feldespato.....	22
2.3 Marco conceptual	23
2.3.1 El Feldespato.....	23
2.3.2 Propiedades y características del feldespato	24
2.3.3 Obtención del Feldespato.....	26
2.3.4 Aplicación del Feldespato en la industria química	27
2.4 Definición de términos	30

III. VARIABLES E HIPÓTESIS	32
3.1 Definición de las Variables de la investigación	32
3.2 Operacionalización de variables	33
3.3 Hipótesis general e hipótesis específicas.	34
IV. METODOLOGÍA.....	35
4.1 Tipo de investigación	35
4.2 Diseño de Investigación.....	35
4.2.1 El diseño factorial.....	36
4.3 Población y muestra	37
4.4 Técnicas e Instrumentos de recolección de datos	38
4.4.1 Lugar de ejecución.....	38
4.4.2 Materiales, reactivos y equipos	38
4.5 Procedimiento de recolección de datos	39
4.5.1 Muestreo en campo.....	40
4.5.2 Caracterización de la muestra.....	41
4.5.3 Reducción de Tamaño de partículas.....	46
4.5.4 Tamizado	47
4.5.5 Separación Magnética.....	49
4.5.6 Análisis cualitativo del producto	52
4.5.7 Determinación del porcentaje de remoción de Fe.....	54
4.6 Procesamiento estadístico y análisis de datos.	57
V. RESULTADOS	66
5.1 Resultados parciales.....	66
5.1.1 Influencia respecto al tamaño de partícula	66

5.1.2	Influencia respecto a la intensidad de campo magnético.	67
5.2	Condiciones para la remoción de hierro del feldespato	67
VI.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	69
6.1	Contrastación interna entre resultados	69
6.2	Contrastación externa de los resultados.....	69
IX.	CONCLUSIONES	72
X.	RECOMENDACIONES.....	73
XI.	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	74
	ANEXOS	79
	ANEXO I: MATRIZ DE CONSITENCIA	80
	ANEXO II: ANALISIS DE DIFRACCION DE RAYOS X PARA LA MUESTRA INICIAL Y MUESTRAS TRATADAS	81
	ANEXO III: DETERMINACION DE LA COMPOSICION QUÍMICA DEL MINERAL	96

TABLAS DE CONTENIDO

Cuadros:

2.1: Especificaciones del Frantz Isodynamic L-1	21
2.2: Propiedades y características de los feldespatos	25
2.3: Especificaciones del feldespato para el vidrio	28
2.4: Especificaciones del feldespato para la cerámica	29
3.1: Operacionalización de variables	33
4.1: Factores y niveles	36
4.2: Diseño factorial	37
4.3: Composición química y mineralógica de la roca inicial	42
4.4: Análisis del contenido de humedad	44
4.5: Análisis del peso específico	45
4.6: Tamaño de Partícula	47
4.7: Evaluación gravimétrica de la separación magnética	51
4.8: Composición mineralógica de las muestras tratadas	55
4.9: Composición química de las muestras tratadas	56
4.10: Evaluación de la remoción de hierro	57
4.11: Variables estadísticas	58
4.12: Niveles y valores estadísticos	58
4.13: Análisis de varianza	59
4.14: Resumen del modelo	62
4.15: Coeficientes	62
6.1: Comparación con especificación del feldespato en cerámica	70

Figuras:

2.1: Equipo Frantz Isodynamic L-1	17
2.2: Alimentación del feldespato inicial	18
2.3: Recepción de minerales magnéticos y no magnéticos	18
2.4: Funcionamiento de canal inclinado	19
2.5: Funcionamiento de canal vertical	21
2.6: Sistema ternario de los feldespatos	23
2.7: Muestra de roca inicial de feldespato	24
2.8: Obtención del feldespato	26
3.1: Definición de variables	32
4.1: Etapas del proceso	39
4.2: Ubicación geográfica	40
4.3: Muestreo del mineral	41
4.4: Análisis de difracción de Rayos X	42
4.5: Análisis de determinación de humedad	43
4.6: Análisis de determinación del peso específico	45
4.7: Chancadora de Mandíbulas	46
4.8: Molino batch de bolas cerámicas	47
4.9: Tamizado	48
4.10: Obtención de las muestras	48
4.11: Separación magnética	49
4.12: Ilustración del método	50
4.13: Fundición a 1210°C	53
4.14: Muestras Fundidas	53
4.15: Evaluación cualitativa	54

Gráficos:

4.1: Evaluación gravimétrica de la separación magnética	52
4.2: Pareto de los efectos para %Fe	61
4.3: Gráfica de probabilidad normal	62
4.4: Histograma	63
4.5: Vs. Ajustes	63
4.6: Vs. Orden	64
4.7: Residuos de %Fe vs. Granul.	64
4.8: Residuos de %Fe vs. Magnet.	65
4.9: Gráfica de superficie de %Fe vs. Magnet; Granul	65
5.1: Comparación respecto al tamaño de partícula	66
5.2: Comparación respecto al campo magnético	67

RESUMEN

La presente tesis se hizo con la finalidad de establecer la forma para la desferretización electromagnética el feldespatos de la comunidad de Cucuya para la industria cerámica. Se extrajo muestras de feldespatos de las canteras de la provincia de Huarochirí; en la primera etapa se ha utilizado operaciones de chancado, molienda y tamizado. Para la extracción del hierro se utilizó el equipo de separación magnética Frantz Isodynamic Separator L-1, se ha evaluado la influencia de la granulometría (μm) y la intensidad del campo magnético (tesla) con respecto al porcentaje de remoción de hierro (Fe_2O_3) en muestras del feldespatos.

Mediante análisis de difracción de Rayos X se comprobó de manera cuantitativa que la intensidad de campo magnético (tesla) y el tamaño de partícula (μm) son directamente proporcional al porcentaje de remoción de Hierro extraído (Fe_2O_3) con rangos que van desde 0.7 a 1.5 tesla y 200 a 630 μm , respectivamente. Donde se evidenció que los puntos de mayor remoción de hierro fueron en 1.5 tesla y 565 μm con un porcentaje de remoción de 98%.

Palabras Clave: Feldespatos, Desferretización, Electromagnética, Difracción de Rayos X, Frantz Isodynamic Separator L-1.

ABSTRACT

The present thesis was made with the purpose of establishing the form for the electromagnetic deferretization feldspar of the community of Cucuya for the ceramic industry. Feldspar samples were taken from the quarries of the province of Huarochiri; In the first stage, crushing, grinding and sieving operations were used. For the extraction of iron, the magnetic separation equipment Frantz Isodynamic Separator L-1 was used, the influence of the granulometry (μm) and the intensity of the magnetic field (tesla) with respect to the percentage of iron removal (Fe_2O_3) was evaluated. in feldspar samples

X-ray diffraction analysis showed quantitatively that the magnetic field strength (tesla) and particle size (μm) are proportional to the percentage of extraction of extracted iron (Fe_2O_3) with ranges from 0.7 to 1.5 tesla and 200 to 630 μm , respectively. Where it is evidenced that the points of greater iron removal were in 1.5 tesla and 565 μm with a percentage of removal of 98%.

Keywords: Feldspar, Deferretization, Electromagnetic, X-ray Diffraction, Frantz Isodynamic Separator L-1.

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Identificación del problema

La industria de la cerámica se produce a partir de una variedad de materias prima, cantidad de aditivos y aglutinantes, una de estas materias es el feldespato, que está conformado por silicatos, alúminas como también de compuestos ferrosos.

Esta industria requiere que el feldespato tenga la menor cantidad de hierro, para ello, se necesita de un proceso para reducir su concentración; al ser un compuesto magnético existen técnicas de separación que aprovechan esta característica a través del uso de separadores magnéticos, pero requiere un tamaño de partícula e intensidad de campo magnético adecuados, que permita reducir la mayor cantidad posible de impurezas.

En la ciudad de Lima existen canteras que contienen minerales de feldespato que no son explotados actualmente, una de ellas se encuentra en la comunidad campesina de Cucuya, del distrito de Huarochirí, de donde se puede extraer, procesar y obtener un feldespato con un bajo contenido de metales y sea aprovechado en la industria de cerámicos. Como parte del proceso de purificación del feldespato está la separación magnética

que, a condiciones apropiadas, reduce la mayor cantidad de metales magnéticos y permite una mayor eficacia en el producto final, así como reducir costos en las siguientes etapas que lleva esta producción.

La tesis propuesta se focalizó en la remoción de los contaminantes ferrosos (Fe_2O_3) mediante el proceso de separación electromagnética donde se usó el equipo Frantz Isodynamic Separator L-1, donde fue necesario determinar el tamaño de partícula (μm) y la intensidad de campo magnético (tesla) con el que realizó una medición y purificación adecuadas.

1.2 Formulación de problemas

Problema general:

¿Cuál es la forma para la desferretización electromagnética del feldespatos de la comunidad de Cucuya para la industria cerámica?

Problemas específicos:

- a) ¿Cuál es el tamaño de partícula del Feldespato para la separación de metales?
- b) ¿Cuál es la intensidad de campo magnético para la separación de metales?

1.3 Objetivos de la investigación

Objetivo general:

Establecer la forma para la desferretización electromagnética del feldespatos de la comunidad de Cucuya para la industria cerámica.

Objetivos específicos:

- a) Determinar el tamaño de partícula del Feldespato para la separación de metales.

- b) Determinar la intensidad de campo magnético para la separación de metales.

1.4 Justificación

Las razones que justifican la investigación propuesta son las siguientes:

- a) Legal: El marco legal actual precisa el uso de normas técnicas en análisis y procesamiento de minerales de alta calidad para diferentes líneas de producción del feldespatos, la presente investigación permitirá aportar en este aspecto.

- b) Teórico: La presente tesis aportará al incremento de la teoría en lo que respecta al método de purificación del feldespatos debido a la separación de metales presentes en el mineral.

- c) Tecnológico: El proceso de desferretización del feldespato como método de purificación, permitirá desarrollar otra alternativa tecnológica óptima para su proceso de producción.
- d) Económica: Los resultados obtenidos permitirá a la industria obtener un producto de mejor calidad que podrá derivarse a otras líneas de producción que dejen un margen de utilidad mayor, objetivo de toda empresa.

1.5 Importancia

El presente trabajo de investigación permitió darle énfasis al proceso de separación magnética (desferretización) en la obtención del feldespato, etapa que fue realizada por vía seca. Si la disminución del contenido ferroso (Fe_2O_3) es alta, esto asume una reducción de los costos de reactivos para el tratamiento final considerablemente, ya que usando métodos de flotación selectiva se puede separar el cuarzo del feldespato y éste último se puede purificar finalmente por el método de lixiviación ácida, resultando un feldespato para el uso de otras líneas de producción que requieren un alto contenido de pureza.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes del estudio

Esta investigación se basó en los siguientes estudios:

Hasan Hacifazlioglu et al. (2012) desarrollaron una investigación titulada **“Beneficiation of low-grade feldspar ore using cyclojet flotation cell, conventional cell and magnetic separator”** cuyo objetivo fue de aumentar la calidad del mineral de feldespato eliminando las impurezas colorantes que contienen tales como el hierro y el titanio. Se apoyaron conjuntamente de distintas investigaciones siendo una de las más relevantes el de Bayraktar, I. (1998). Empleó celdas de flotación Cyclojet como método alternativo a las celdas convencionales y separadores magnéticos en húmedo. Sus hallazgos reportaron una reducción de hasta el 0.01% en Fe_2O_3 y de 0.03% TiO_2 en comparación con las celdas convencionales y separador magnético en húmedo, por lo tanto es concluyente decir que las celdas de flotación Cyclojet tiene una mejor eficiencia en la eliminación de estas impurezas.

J. Taboada et al. (1999) en su investigación titulada **“Estudio de la calidad de un yacimiento de feldespato”** con el objetivo de evaluar el potencial de explotación, se caracteriza la calidad del producto vendible. Se apoyaron en distintas investigaciones siendo una de las más relevantes el de López Gómez (1985). Emplearon procedimientos de muestreo,

clasificación granulométrica, separación magnética, proceso de flotación y análisis mineralógicos. Concluyeron que los filones investigados son totalmente explotables por flotación.

Z. Ociepa (1997) desarrolló una investigación titulada **“Conditions for obtaining high quality feldspar products from waste raw materials”** cuyo objetivo fue recuperar minerales de feldespato-cuarzo de diversos relaves de granito, en base a sus propias publicaciones realizadas (1991, 1994 y 1996). Empleo métodos de flotación y separación magnética presentando un diagrama tecnológico con resultados comparativos de diversos relaves de granito. El resultado de su estudio demostró que se pueden obtener productos de feldespato-cuarzo de las materias primas que contienen aproximadamente 7-8% de álcalis y hasta 2.8% de Fe_2O_3 , reduciendo este último 0.2% hasta satisfaciendo las exigencias de las industrias de cerámica y vidrio.

F. López Gómez et al. (1988), desarrollaron una investigación **“Obtención de feldespato mediante flotación y lixiviación”** con el objetivo de eliminar los minerales ferromagnesianos presentes en rocas pegmatíticas para la obtención de feldespato y cuarzo. Se apoyaron en estudios realizados por J. Medina García (1987). Emplearon métodos de separación magnética de alta intensidad en seco, flotación selectiva y lixiviación ácida. Los resultados de sus estudios reportaron un producto que

se compara con la de otros feldespatos (0.99% Fe₂O₃ sin tratamiento hasta un 0.11% Fe₂O₃ con tratamiento) comerciales obtenidos a partir de arenas feldespáticas, estudiando comparativamente sus propiedades en reblandecimiento y fusión.

Andrés Varela (1979) desarrollo una investigación titulada **“Purificación de los minerales feldespáticos existentes en Silán (vivero-Lugo)”** cuyo objetivo fue de eliminar las impurezas presentes en la pegmatita, micas y turmalina, principalmente. Se apoyó conjuntamente con la Sección de Materias Primas del Departamento de Edafología de la Universidad de Santiago y de D. Carlos R. Baltar, asesor de investigación del instituto. Empleó métodos de separación magnética para tratamiento y eliminación de estos minerales magnéticos. Sus hallazgos reportaron una mejora en la blancura y estabilidad durante la vitrificación en ensayos de pastas de porcelana.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Separadores magnéticos

Eclipse Magnetics (2014: 3) afirman:

Los separadores magnéticos se utilizan con frecuencia en procesos industriales y de alimentación con el fin de eliminar la contaminación paramagnética y ferrosa.

Los contaminantes pueden acceder a la línea de producción de distintas maneras: en las materias primas; a través de grapas o clavos del embalaje; piezas oxidadas, desgastadas y dañadas y pueden dañar la maquinaria de proceso o quedarse en el producto final.

Existen distintas variedades de separadores magnéticos tales como:

- ✓ Barras magnéticas
- ✓ Placas magnéticas
- ✓ Rodillos magnéticos
- ✓ Tambor magnético
- ✓ Frantz Isodynamic Separator L-1

Este último es el equipo de separación electromagnética Frantz Isodynamic modelo L-1, con el que se desarrolló la presente tesis y el cual se detalla a continuación.

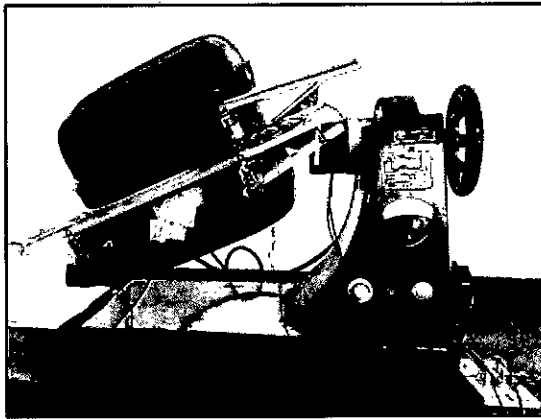
Frantz Isodynamic Separator L-1

S.G. FRANTZ CO. (2017: 1) nos dice:

El modelo L-1 de la figura N° 2.1 (véase la página 17), hace separaciones sensibles de minerales u otros granos de acuerdo con la susceptibilidad magnética, incluso de materiales que generalmente no se consideran magnéticos. La fuerza magnética por unidad de volumen en partículas de similar susceptibilidad es constante en todo el ancho del espacio operativo en el plano medio entre las caras polares, donde la separación se ve afectada.

Como impulsa las partículas en direcciones paralelas al plano medio, sus respuestas no se ven afectadas por sus posiciones en el espacio de operación.

**FIGURA N° 2.1
EQUIPO FRANTZ ISODYNAMIC L-1**



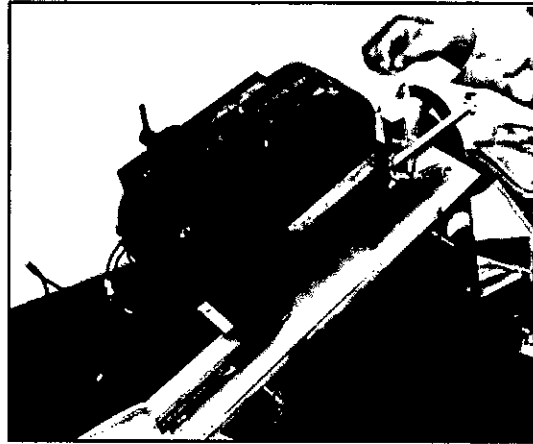
La energía se suministra a las bobinas del imán del separador mediante una fuente de alimentación regulada (que proporciona una regulación vinculada de la corriente y el voltaje directos). La corriente puede ajustarse de cero a más de 2 amperios en la puesta en marcha. La fuente de alimentación mantendrá 1.8 amperios indefinidamente a temperaturas ambiente de hasta aproximadamente 32°C (90°F). A 1.8 amperios, la fuerza del campo magnético en la parte más estrecha del espacio es de aproximadamente 18 kilogauss o el equivalente a 1.8 Tesla.

Modo de funcionamiento

- a) Como se ve en la figura N° 2.2 el material se alimenta en un extremo del campo magnético de un electroimán que tiene dos piezas polares

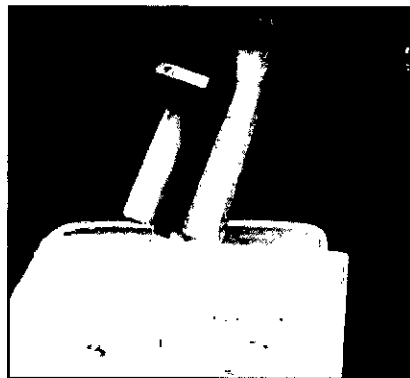
largas formadas con un contorno especial (con un espacio de aire estrecho y largo entre ellas).

FIGURA N° 2.2
ALIMENTACIÓN DEL FELDESPATO INICIAL



- b) El material recorre toda la longitud de las piezas polares, con las partículas más fuertemente paramagnéticas impulsadas hacia el lado estrecho de la brecha.
- c) Los granos son interceptados por un borde divisorio que dirige las dos fracciones en contenedores separados, como se ve en la figura N° 2.3

FIGURA N° 2.3
RECEPCIÓN DE MINERALES MAGNÉTICOS Y NO MAGNÉTICOS

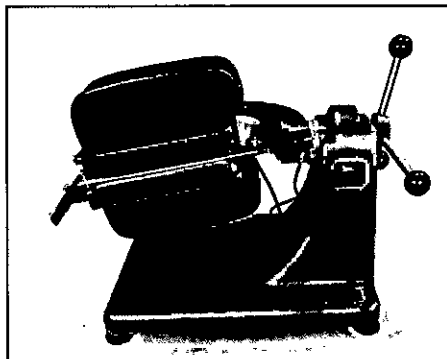


El sistema magnético se lleva en un montaje universal por lo que se puede orientar en cualquier dirección con respecto a la gravedad:

El modo de funcionamiento del canal inclinado

Las separaciones por el modo de procesamiento del canal inclinado se realizan a velocidades de avance relativamente bajas. La orientación del sistema magnético y la rampa se ajusta para establecer la relación deseada entre la fuerza magnética y gravitacional, así como se observa en la figura N° 2.4, y para proporcionar condiciones consistentes con el movimiento de los materiales a través del campo. Dos escalas grabadas, una en cada extremo del brazo que sostiene el sistema magnético, indican la orientación.

**FIGURA N° 2.4
FUNCIONAMIENTO DE CANAL INCLINADO**



Fuente: S.G. FRANTZ CO. (2017: 1)

Las partículas que viajan por la rampa toman rutas determinadas por sus susceptibilidades magnéticas: la dirección del movimiento de cada partícula es sustancialmente la resultante de las fuerzas magnéticas y gravitacionales sobre ella en el plano de la rampa. En la distancia relativamente larga que recorre cada partícula en el campo, la proporción constante de fuerza magnética a la fuerza gravitatoria a la que está sujeto tiende a corregir las deflexiones resultantes de colisiones fortuitas.

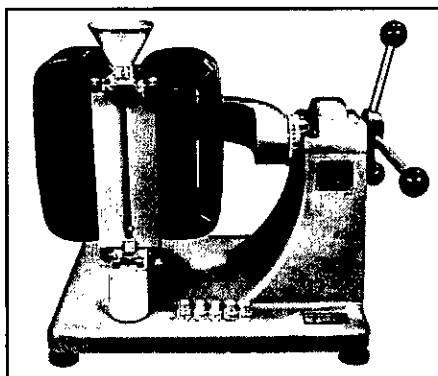
Una tolva de alimentación está atornillada en un receptáculo de plástico sólido en el extremo superior de la rampa, con su orificio cerca del piso de la rampa a una altura ajustable que permite la descarga de material a una velocidad controlada cuando se suministra vibración. Una cresta de división divide la parte inferior de la rampa en dos canales que guían a las fracciones separadas fuera del campo en contenedores separados.

El modo de operación de alimentación vertical

Operado en el modo de alimentación vertical (o caída libre) como se ve en la figura N° 2.5 (véase la página 21), el separador isodinámico es adecuado para separar arenas de flujo libre en el rango de 30 a 100 mallas. Las arenas pesadas se pueden alimentar a velocidades de hasta 20lbs/h.

Las separaciones rápidas son posibles, aunque generalmente se necesitan pases repetidos para obtener buenas separaciones. Las posiciones de los conjuntos de alimentación y división son ajustables independientemente mediante cremallera y piñón con escalas grabadas. Los ajustes son reproducibles. Los casquillos intercambiables, con aberturas de 3.2, 3.6, 4.0, 4.4 y 4.8 mm, que caben en la parte inferior de la tolva de alimentación grande y proporcionan una variedad de velocidades de alimentación.

**FIGURA N° 2.5
FUNCIONAMIENTO DE CANAL VERTICAL**



Fuente: S.G. FRANTZ CO. (2017: 1)

Aplicaciones típicas del Frantz Isodynamic Separator L-1

Los separadores de laboratorio isodinámicos L-1 se usan comúnmente en:

- ✓ Geólogos / Mineralogistas: para la separación para clasificar las muestras de acuerdo a la susceptibilidad magnética (que generalmente corresponde a minerales específicos o composiciones minerales)
- ✓ Laboratorios de garantía de calidad: para la separación para calificar la composición de los materiales
- ✓ Procesamiento de materiales: para la separación para verificar las propiedades ferromagnéticas y asegurar la uniformidad del producto (cuando se usa junto con el LFC-3)

**CUADRO N° 2.1
ESPECIFICACIONES DEL FRANTZ ISODYNAMIC L-1**

	Alto	Ancho	Profundidad	Corriente	Peso Neto
Modelo	Centímetros			Amperios	Kilogramos
L-1	54	76	41	2.5	150

Fuente: S.G. FRANTZ CO. (2017: 1)

2.2.2 Importancia de la separación magnética de metales en el feldespato

F. López Gómez et al. (1988: 370) afirmaron:

La obtención de materias primas feldespáticas con destino a las industrias de la cerámica y vidrio exige cada vez más una elevada calidad que cumpla con las normas establecidas para cada uno de estos materiales. La obtención de cuarzo y sobre todo de feldespatos es relativamente sencilla cuando el producto de partida lo constituyen rocas con bajos contenidos de minerales ferromagnesianos, ya que, en ese caso, un proceso de separación magnética suele proporcionar feldespatos de buena calidad, en la mayoría de los casos aptos para su utilización cerámica, aunque no para la industria del vidrio. El problema se plantea cuando, como consecuencia de la carencia de estas rocas es necesario recurrir a la explotación de otras más abundantes, pero al mismo tiempo de menor calidad.

Es por ello que en el presente trabajo se evaluó el tratamiento por separación electromagnética en el cual la roca inicial de nuestro tratamiento tuvo un 0.51% de Fe_2O_3 y post tratamiento se redujo a 0.01%, este último con una concentración de hierro que se ajusta a las especificaciones técnicas del feldespato para la industria cerámica de la CUADRO 2.4 (véase la página 29).

2.3 Marco conceptual

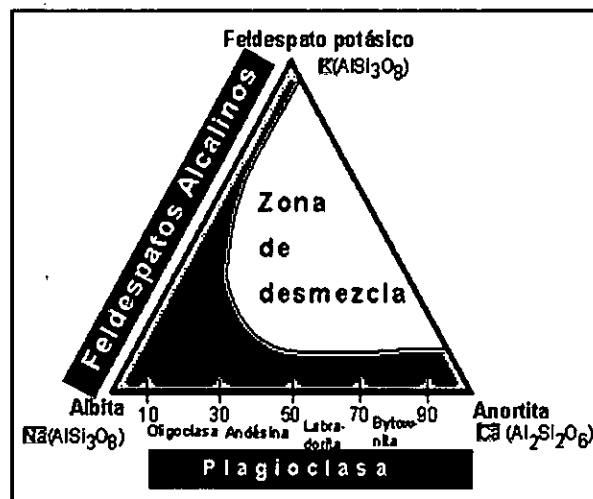
2.3.1 El Feldespato

Griem (2015:1) citó:

Los feldespatos son aluminosilicatos más abundantes de la corteza de la terrestre y participan en ella con más de 60% de volumen, en detalle las plagioclasas (ver figura N° 2.6), ocupan 41% de volumen, los feldespatos alcalinos el 21%. Los feldespatos forman un grupo de 3 componentes, las cuales son:

- Feldespato potásico KAlSi_3O_8 (ortosa)
- Feldespato sódico $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ (albita)
- Feldespato cálcico $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ (anortita)

FIGURA N° 2.6
SISTEMA TERNARIO DE LOS FELDESPATOS



Fuente: GRIEM (2015: 1)

Los feldespatos son grupos de minerales constituyentes fundamentalmente de las rocas ígneas. "El nombre de feldespato corresponde a un grupo extenso de minerales formados por silicatos de

aluminio combinados en sus tres formas: potásicos, sódicos y cálcicos”.

Mendoza et al. (2010: 18)

Arevalo y Contreras (2006: 11) dijeron:

Los feldespatos son los aluminosilicatos más importantes que resultan de la sustitución parcial del silicio por el aluminio en el armazón de los tectosilicatos. Los feldespatos forman unos de los grupos más importantes de los minerales. Pueden pertenecer al sistema monoclinico y al triclinico, pero los cristales de diferentes sistemas poseen un gran parecido, tanto por los ángulos como por el hábito. Poseen buena exfoliación en dos direcciones que forman un ángulo de 90°.

FIGURA N° 2.7
MUESTRA DE ROCA INICIAL DE FELDESPATO



Nota: Feldespato extraído de la cantera de Huarochiri - Lima

2.3.2 Propiedades y características del feldespato

Por lo general son duros, poco pesados, de color blanco o de colores muy claros, poseen brillo vítreo, su peso específico está comprendido entre 2.5 y 2.75, pueden ser monoclinicos o triclinicos, de origen petrográfico y

formado a partir de la consolidación de los magmas, según el artículo consultado de Ecured titulado "feldespato" (Feldespato, sf).

Manuel D'Alessandro (2016) indica que la mayoría de los feldespatos no son solubles en ácidos, excepto la anortita (soluble en ClH), también dice que el calor o aumento de la temperatura, produce un aumento en su conductividad eléctrica. Por su clasificación, sea potásico o sódico, mediante el cuadro 2.2, según la Strategic Minerals Spain, se mencionan sus principales características y propiedades, donde también menciona que estos últimos son los más abundantes en la corteza terrestre y también conocidos como albitas.

**CUADRO N° 2.2
PROPIEDADES Y CARACTERÍSTICAS DE LOS FELDESPATOS**

	FELDESPATO POTÁSICO	FELDESPATO SÓDICO
Categoría	Tectosilicato	Tectosilicato
Formula Química	$KAlSi_3O_8$	$NaAlSi_3O_8$
Color	Variado (Blanco, amarillento, rosado...)	Variado (Blanco, gris, amarillento...)
Raya	Blanco	
Lustre	Vítreo anacarado	
Transparencia	Traslucido a opaco	Transparente o translucido
Sistema cristalino	Monoclínico/ triclínico	Triclínico
Habito cristalino	Prismático, granular o masivo	Tabular, agregados, granular
Macía	Común, en enrejado, Carlsbad	Común polisintética, de contacto, simple y múltiple
Exfoliación	Perfecta	Perfecta
Dureza	6 (escala de Mohs)	
Tenacidad	Frágil	
Densidad	2.55-2.63 g/cm ³	
Punto de Fusión	1100 – 1550°C	

Fuente: Strategic Minerals Spain (s.f.)

Su caracterización en la industria, según L. Sánchez et al (1991), es extremadamente simple, solo punto de fusión y blancura, a lo sumo algo de composición química. Sin embargo, los feldespatos son químico y estructuralmente muy complicados, tanto que se puede comprobar que un aparente monocristal tiene una estructura y composición en un borde y otras distintas en el otro (deformaciones, sustituciones, perturbaciones, alteraciones, etc.). Para definir la especie y sus características, se puede utilizar equipos de DRX (Difracción de Rayos X) e IR (Infrarrojo)

2.3.3 Obtención del Feldespato

F. López Gomes et al. (1988), esquematiza el proceso de obtención del feldespato, a través de la figura 2.8, donde se describe una etapa previa de trituración y molienda y tres etapas de separación y purificación: la separación magnética, la flotación y la lixiviación.

FIGURA N° 2.8
OBTENCIÓN DEL FELDESPATO



Fuente: F. López Gomes et al. (1988)

- a) Separación Magnética. Se realiza en vía seca a través de una fuente de campo magnético, donde el concentrado está representado por la muestra retenida magnéticamente y el rechazo por fracción del mineral no atraído, que se considera como mineral libre de compuestos magnéticos.
- b) Flotación. La etapa de flotación selectiva se usa para la separación del feldespato con el cuarzo a través de un depresor, un colector y un agente espumante, como ejemplo se pueden dar el ácido fluorhídrico, acetato de amina y aceite de pino, respectivamente.
- c) Lixiviación. Por último, la etapa de lixiviación, se usa cuando hay presencia de hierro limonítico en la estructura del feldespato flotado, de esta manera, con el uso de un medio ácido, se logra una buena purificación del feldespato.

2.3.4 Aplicación del Feldespato en la industria química

En la industria química, el feldespato principalmente se usa en la cerámica y el vidrio a escala mundial, conjuntamente estos sectores dan cuenta de aproximadamente 90% del consumo mundial. (La minería en tu vida, 2011). Las aplicaciones principales del feldespato se deben a su aporte de alúmina (Al_2O_3) y de óxidos alcalinos en vidrios y cerámicas. Por sus características físicas también tiene aplicación como relleno en pinturas, plásticos, adhesivos, sellantes y en abrasivos suaves. (Camimex, 2012).

La secretaria de economía de los estados unidos mexicanos en su artículo titulado “Perfil del mercado del feldespató” (2014), describe sus principales usos y funciones en cada industria:

a) Vidrio.

Su principal función es el aporte de alúmina que favorece el proceso de fundición mediante la disminución de la temperatura de fusión, estabilizándola aumentando su grado de resistencia química y mecánica, facilitando el manejo de formación del vidrio, mejorando la dureza y durabilidad e inhibiendo la formación de cristales como matriz. Aumenta la resistencia química a la corrosión, mejora las características de trabajo del vidrio, su dureza, durabilidad, resistencia a la ralladura y a su rompimiento. En el cuadro 2.3 se muestran las especificaciones y contenidos (%) del feldespató en la obtención de vidrio y fibra de vidrio.

**CUADRO N° 2.3
ESPECIFICACIONES DEL FELDESPATO PARA EL VIDRIO**

Constituyente	Vidrio		Fibra vidrio		
	Vidrio plano	Recipiente plano	Aislamiento	Textil	Especialidad
SiO₂	73.0	73.0	65.0	54.5	80.6
Al₂O₃	-	1.7	4.0	14.5	2.1
CaO	8.6	10.7	14.0	22.0	-
MgO	4.1	0.1	3.0	-	-
Na₂O+K₂O	14.0	14.3	8.5	-	5.4
B₂O₃	-	-	5.5	8.5	11.9
SO₃	-	0.2	-	-	-

Fuente: Strategic Minerals Spain (s.f)

b) Cerámica.

Después del vidrio, la cerámica es el segundo consumidor de feldespato, cuya principal aplicación del mineral es en la manufactura de porcelana vítrea y semi-vítrea, lozas para paredes y techos; en azulejos para pisos y paredes; porcelana eléctrica y sanitaria; loza y vajillas para hoteles, utensilios de cocina y para hornos; accesorios vitrificados para plomería y vidriados cerámicos, lustres y productos esmaltados de la especialidad de porcelana, para fundición en la industria cerámica y alfarera; como formador de una fase vidriosa en los productos, proporcionando alúmina y álcali favoreciendo la vitrificación y transparencia del producto. Las especificaciones y contenidos (%) de feldespatos para diferentes sectores cerámicos son mostrados en el cuadro 2.4.

**CUADRO N° 2.4
ESPECIFICACIONES DEL FELDESPATO PARA LA CERÁMICA**

Constituyente	Cerámica NC4	Cerámica C-6	Cerámica G-200	Cerámica K-200	Cerámica roja
SiO ₂	68.15	68.70	67.00	67.10	> 60
Al ₂ O ₃	10.00	19.50	18.30	18.30	> 10
Fe ₂ O ₃	0.067	0.07	0.08	0.07	-
CaO	1.60	0.90	1.02	0.36	< 4
MgO	Indicios	Indicios	Indicios	Indicios	-
K ₂ O	4.00	4.10	10.50	10.10	-
Na ₂ O	7.00	7.20	2.85	3.80	-
LOI	0.10	0.25	0.20	0.26	-
Tamaño mm	< 0.074				

Fuente: Strategic Minerals Spain (s.f.)

El uso de feldespato es de gran importancia también en la formulación de esmaltes vítreos, porque baja la temperatura de fundición, incrementa la velocidad de la operación de fundición e influencia en la viscosidad del esmalte y permite la producción de lustres duros y blandos. Los diferentes tipos de cerámicas blancas, son producidos variando las propiedades de los ingredientes básicos e incluyendo adiciones menores de otros materiales.

c) Otras aplicaciones.

El feldespato también es usado como relleno en pinturas, plásticos, caucho y adhesivos. Siendo importante en la reducción de los requerimientos de las sustancias que actúan como medios de expansión de pigmentos, otorga baja viscosidad a los pigmentos, proporciona elevado brillo seco y disminuye la concentración de los tintes, mejora la integridad de la película plástica, otorga resistencia a la abrasión, ataque químico y elementos grasos, aumenta eficientemente la retención de tinta, facilita la dispersión y aumenta la resistencia a las bajas temperaturas. En plásticos mejora la resistencia a las manchas, abrasión y ataque químico. Es usado en abrasivos y jabones blanqueadores por su fractura granular y su dureza intermedia.

2.4 Definición de términos

- Albita: mineral de la clase de los feldespatos con contenido de sodio (feldespato sódico)

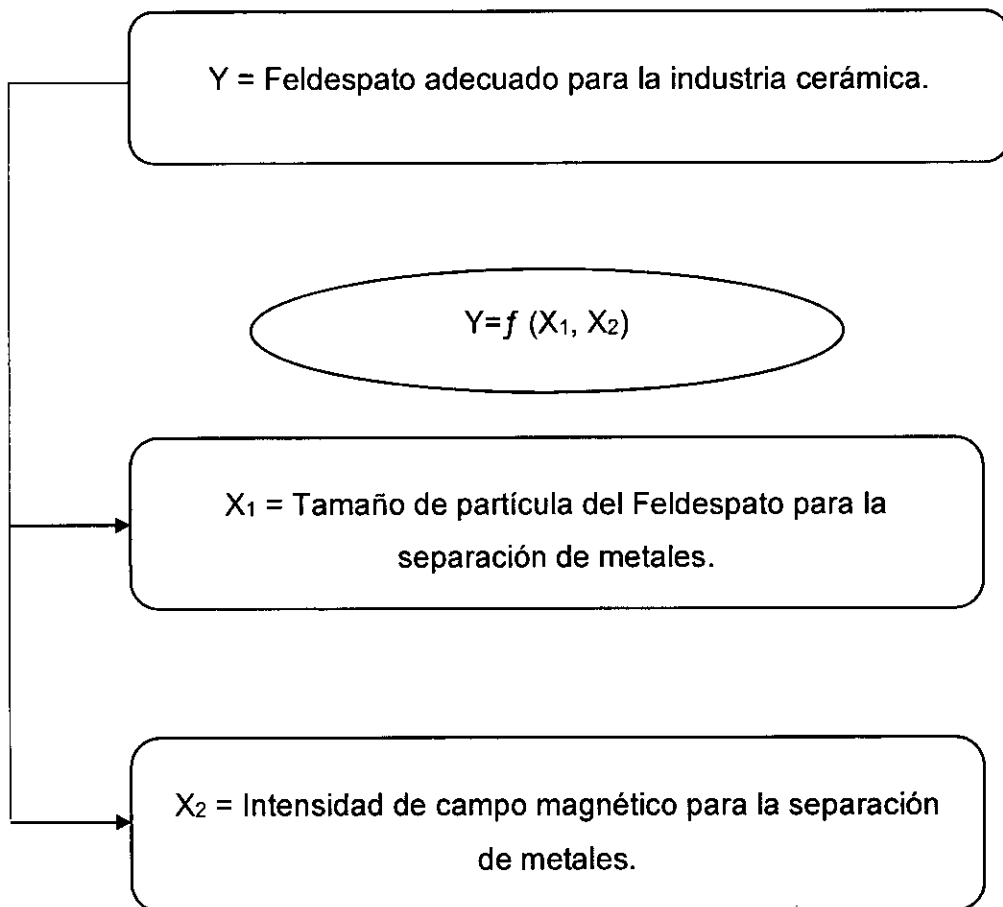
- Anortita: mineral de la clase de los feldespatos con contenido de calcio (feldespato cálcico)
- Desferretizar: disminuir o eliminar la concentración de hierro en un material.
- Difracción de Rayos X: Técnica de análisis utilizado para determinar las características y composición del mineral.
- Electroimán: Dispositivo que funciona a través de la electricidad, para generar campos magnéticos.
- Feldespato: Mineral formado por una mezcla de Aluminio y Silicio y metales alcalinos, usado como materia prima.
- Ferromagnéticos: compuestos de hierro y sus aleaciones con cobalto, tungsteno, níquel, aluminio y otros
- Frantz Isodynamic L-1: Equipo de laboratorio usado para la operación de separación magnética.
- Ortosa: también llamado ortoclasa, mineral de la clase de los feldespatos con contenido de potasio (feldespato potásico)
- Plagioclasas: Conjunto de minerales que comprenden la serie de albita-anortita, sección triclinica del grupo de los feldespatos.
- Separación magnética: proceso que sirve para separar dos sólidos, en la que uno de los cuales debe ser ferroso o tener propiedades magnéticas.

CAPITULO III VARIABLES E HIPÓTESIS

3.1 Definición de las Variables de la investigación

La hipótesis de la presente investigación posee las siguientes variables, esquematizadas en la figura 3.1, donde se obtuvo una variable dependiente y dos variables independientes.

FIGURA N° 3.1
DEFINICIÓN DE VARIABLES



3.2 Operacionalización de variables

En el cuadro 3.1 se muestra cómo se realizó la definición operacional de las variables, a través de dimensiones, indicadores y métodos de ensayo a realizar.

**CUADRO N° 3.1
OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES**

VARIABLE DEPENDIENTE	DIMENSIONES	INDICADORES	MÉTODO
Y = Feldespato adecuado para la industria cerámica.	- % de remoción de Fe - Calidad del producto fundido	- % en peso - Coloración	- Análisis de difracción de rayos X - Fundición en mufla, y comparación del color
VARIABLES INDEPENDIENTES	DIMENSIONES	INDICADORES	MÉTODO
X ₁ = Tamaño de partícula del Feldespato para la separación de metales.	-Tamaño de partícula	- μm	Tamizado bajo la norma ASTM D-422
X ₂ = Intensidad de campo magnético para la separación de metales.	-Intensidad de campo magnético	- Tesla	Ensayos experimentales en con el equipo Franzts Isodynamic Separator

3.3 Hipótesis general e hipótesis específicas.

Hipótesis general:

La desferretización del feldespato se realiza determinando el tamaño de partícula y la intensidad de campo magnético que permitan un 86% de remoción de Fe.

Hipótesis específicas:

- a) El tamaño de partícula del Feldespato para la separación de metales es de 450 μm necesario para una adecuada separación magnética.
- b) La intensidad de campo magnético para la separación de metales es de 1.5 Tesla.

CAPITULO IV

METODOLOGÍA

4.1 Tipo de investigación

Esta investigación es de tipo experimental porque permitió manipular el factor causal (granulometría, intensidad de campo magnético) para determinar el efecto deseado (remoción de metales). Su finalidad es de tipo aplicada, debido a que los resultados se aplicarán como un método de purificación del feldespatos para la industria de cerámicos. Por su énfasis de la naturaleza de los datos manejados, es cuantitativo porque las variables de la investigación son cuantitativas. También es de tipo exploratoria y aplicada, puesto que busca identificar nuevas opciones para la purificación del feldespatos, estableciendo propuestas alternas para aplicarlas en la práctica.

4.2 Diseño de Investigación

Según Hernández Sampieri, Roberto et al (2014): "con el propósito de responder a las preguntas de investigación planteadas y cumplir con los objetivos de estudio, el investigador debe seleccionar o desarrollar un diseño de investigación específicos". Dicho esto, y tal como se indica en el ítem 4.1, el diseño apropiado para la realización experimental es el diseño factorial.

4.2.1 El diseño factorial

Este diseño permite manipular dos o más variables independientes e incluyen dos o más niveles en cada una de ellas. (Hernández et al, 2014). Lo cual determina el número de experimentos necesarios a realizar para lograr los objetivos de estudio a través la ecuación (4.1)

$$N = B^A \quad (4.1)$$

Donde:

N = Número de experimentos necesarios

A = Número de factores o variables a manipular

B = Número de niveles o valores que adopta la variable

En base a datos teóricos y antecedentes bibliográficos se establecieron tres niveles para cada factor, que vienen a ser las variables independientes de la presente investigación, estos son detallados mediante el cuadro 4.1 (2 variables y 3 niveles), entonces con estos datos se obtiene una cantidad de $3^2 = 9$, que es el número de corridas que se programó realizar.

**CUADRO N° 4.1
FACTORES Y NIVELES**

Factores	Notación	Niveles		
Tamaño de partícula	X ₁	300µm	450µm	565µm
Intensidad de campo magnético	X ₂	0.70T	1.00T	1.50T

A través de la combinación entre los factores con los niveles, se conforma los parámetros de cada experimento realizado, tal como se puede

mostrar en el cuadro 4.2, y así realizar un mejor estudio de la variable respuesta.

**CUADRO N° 4.2
DISEÑO FACTORIAL**

N° de experimento	Tamaño de partícula (µm)	Intensidad de campo magnético (Tesla)
1	300	0.7
2	300	1
3	300	1.5
4	450	0.7
5	450	1
6	450	1.5
7	565	0.7
8	565	1
9	565	1.5

4.3 Población y muestra

Para esta investigación el término población y muestra no aplica, sin embargo, se determinó una muestra experimental que constituyo principalmente de feldespatos extraído de los yacimientos ubicados en una cantera de la comunidad de Cucuya. Se estimó que de cada muestra post tratada, se requirió 20 gramos por fundición y 3 gramos por análisis de difracción por rayos X, haciendo un total de 43 gramos (2 fundiciones y un análisis por muestra), se tomó en cuenta también la pérdida por el

tratamiento electromagnético, lo que concluyó a tomar un valor entero de 50 gramos necesarios por cada corrida.

4.4 Técnicas e Instrumentos de recolección de datos

4.4.1 Lugar de ejecución

El desarrollo de esta investigación se llevó a cabo a través de diferentes etapas, realizándose en el Laboratorio de operaciones y procesos unitarios (LOPU) ubicado en la Universidad Nacional del Callao, así como las instalaciones de los Laboratorios de Ingeniería de Minas de la Universidad Nacional de Ingeniería y de investigación y desarrollo de la empresa INSUMEX S.A. ubicado en el distrito de Ate – Lima

4.4.2 Materiales, reactivos y equipos

a) Materia prima e insumos

- 20 Kg de muestra de feldespatos

b) Materiales

- Pica roca, Lampa
- Probeta graduada de 100mL
- Tamices DIN de 200 μ m, 400 μ m, 500 μ m y 630 μ m
- Brocha, escobilla, bolsas impermeables, plumón marcador
- Matriz de molde cónico
- Tenazas
- EPP's (lentes de seguridad, guantes de cuero, nitrilo, etc.)

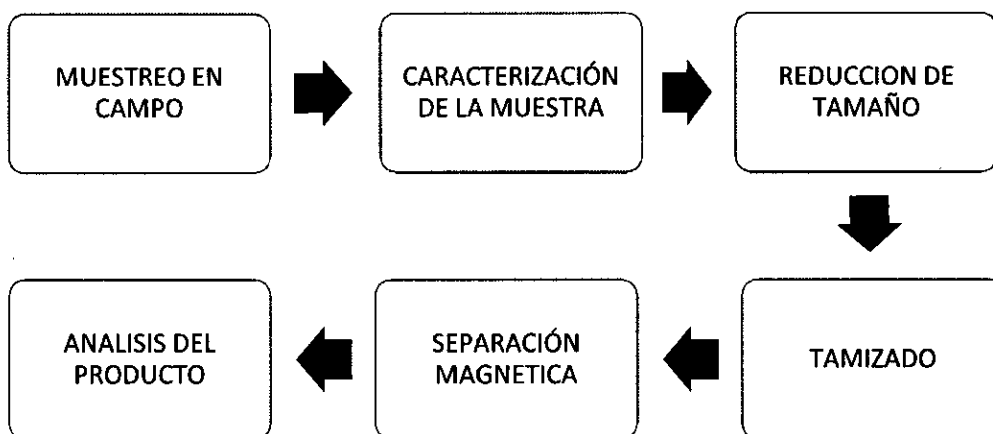
c) Equipos

- Chancadora de mandíbulas
- Molino de bolas cerámicas
- Agitador de tamices Ro-tap
- Equipo de difracción de Rayos X
- Separador Magnético de laboratorio Frantz Isodynamic L-1
- Estufa de secado a 110°C
- Horno de mufla a 1210°C
- Balanza analítica con ± 1 mg de precisión

4.5 Procedimiento de recolección de datos

Para la recolección de los datos experimentales en esta investigación, se siguieron una serie de etapas secuencialmente mostradas a través de la figura 4.1 y descritas detalladamente en este sub capítulo.

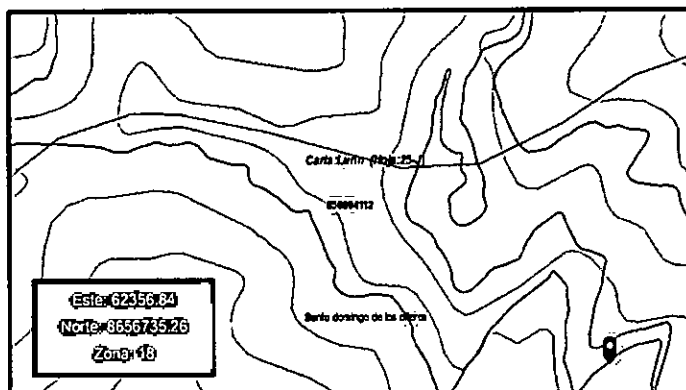
**FIGURA N° 4.1
ETAPAS DEL PROCESO**



4.5.1 Muestreo en campo

El mineral fue adquirido de una cantera ubicada en la comunidad de Cucuya del distrito de Santo Domingo de los Olleros (Huarochirí – Lima). Cuyas coordenadas expresadas en el sistema WGS84 son Este: 62356.84 Norte: 8656735.26, Zona: 18, y en el sistema de grados decimales (GD) es N: -12.147; E: -76.594 (véase figura 4.2, en la página 42). Según datos obtenidos de la web del Sistema de Información Geológico y Catastral Minero (GEOCATMIN), del INGEMMET.

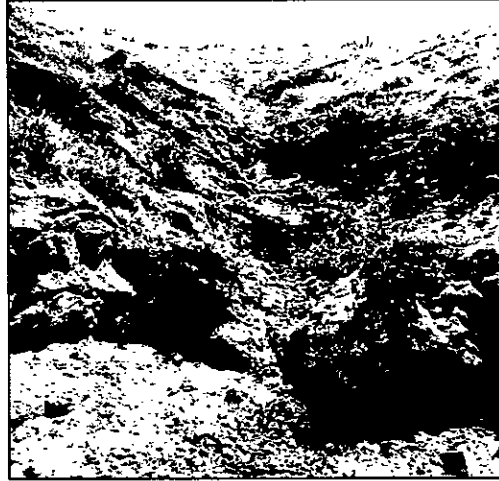
FIGURA N° 4.2
UBICACIÓN GEOGRÁFICA



Fuente: INGEMMET – GEOCATMIN (2017)

Con el fin de obtener una muestra representativa, el muestreo fue de tipo aleatorio (Murray y Larry, 2009), se extrajeron en la parte superficial de diferentes puntos del frente que se observa en la figura 4.3 (véase en la página 42) haciendo uso de herramientas manuales (pica roca, pala). De acuerdo al ítem 4.3.2 (véase en la página 38), y además considerando suficiente muestra para las pruebas de caracterización, fueron recolectados aproximadamente 20 Kg de roca inicial.

**FIGURA N° 4.3
MUESTREO DEL MINERAL**



4.5.2 Caracterización de la muestra

La caracterización de la muestra consistió principalmente en unos análisis físicos para determinar la humedad y el peso específico de la muestra, así como el tipo de mineral constituyente.

Análisis de difracción de Rayos X:

Con el fin identificar las fases más representativas en la roca inicial extraído de la cantera, se le realizó un análisis de difracción de Rayos X, para esto, se hizo uso del servicio por parte del Laboratorio de la facultad de Ciencias Físicas de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos (UNMSM), mediante el uso del equipo mostrado en la figura 4.4 (véase página 42), para así también determinar su composición mineralógica y química.

FIGURA N° 4.4
ANÁLISIS DE DIFRACCIÓN DE RAYOS X



Según el informe de análisis de Difracción de Rayos X a la muestra inicial (sin tratamiento), donde los resultados se detallan en el Anexo II. La composición mineralógica de la roca inicial, se le aplicó un balance de materia elemental que, como se explica en el Anexo III, ayudó a determinar su composición química en términos de óxidos, tal como se visualiza en el cuadro 4.3.

CUADRO N° 4.3
COMPOSICIÓN QUÍMICA Y MINERALÓGICA DE LA ROCA INICIAL

Composición Mineralógica (%)		Composición Química (%)	
Feldespatos*	53.3	SiO ₂	53,55
Cuarzo	41,37	Al ₂ O ₃	20,67
Albita	17,48	Fe ₂ O ₃	0,51
Anortita	6,51	CaO	1,95
Ortosa	29,32	Na ₂ O	4,13
Ankerita	2,35	K ₂ O	10,31
Hematita	0,51	MgO	0,46
Muscovita	1,64		
Caolinita	0,82		
Total	100		

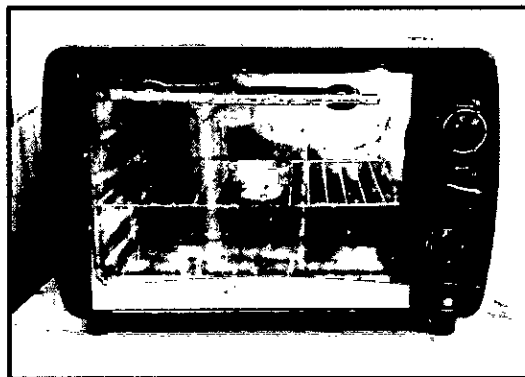
Fuente: Datos tomados del Análisis de DRX (Anexo II)
(*)%Feldespatos = Albite + Anorthite + Orthoclase

Estos resultados permiten caracterizar el feldespatos en estudio en la variedad de ortosa.

Determinación del contenido de humedad:

El contenido de humedad fue determinado según la norma ASTM D2216, colocando en un recipiente adecuado para estos ensayos, previamente pesado, una cantidad de 20g de muestra gruesa proveniente de lo retenido por la malla DIN 800µm del procedimiento explicado en el ítem 4.5.4 (véase en la página 46) y se llevó a una estufa de 110°C (ver figura 4.5) dejando secar hasta llegar a un peso constante.

**FIGURA N° 4.5
ANÁLISIS DETERMINACION DE HUMEDAD**



En el análisis de contenido de humedad, se obtuvieron los datos descritos a través del cuadro 4.4 (véase en la página 44), y se realizaron los cálculos según la ecuación 4.2:

$$\%H = \frac{W_i - W_s}{W_s} \times 100\% \quad (4.2)$$

Donde:

%H = contenido de humedad

w_i = peso inicial de la muestra en gramos

w_s = peso de la muestra seca en gramos

CUADRO N° 4.4
ANÁLISIS DEL CONTENIDO DE HUMEDAD

Datos obtenidos	Pesos (g)
Peso inicial de la muestra	20.017
Peso de la muestra seca	19.491

Reemplazando datos en la ecuación 5.1:

$$\%H = \frac{20.017 - 19.491}{20.017} \times 100\%$$

$$\%Humedad = 2.63$$

Determinación del peso específico:

Para el análisis del peso específico se necesitaron obtener valores del peso y volumen, para lo cual se pesó 15g de una roca representativa y mediante una probeta de 100mL llena hasta 50mL se determinó el volumen por desplazamiento (véase en la figura 4.6, en la página 45) y se calculó según Rodríguez (2010: 1), se obtuvieron los datos descritos a través del cuadro 4.5 (véase en la página 45), y se realizaron los cálculos según la ecuación 4.3:

$$Pe = \frac{M_s}{V_s} = \frac{M_s}{V_{f_{H_2O}} - V_{i_{H_2O}}} \quad (4.3)$$

Donde:

Pe= peso específico

Ms = Masa del sólido

Vs = Volumen del sólido

V_{iH₂O} = Volumen inicial del agua en la probeta

V_{fH₂O} = Volumen final del agua en la probeta

**CUADRO N° 4.5
ANÁLISIS DEL PESO ESPECÍFICO**

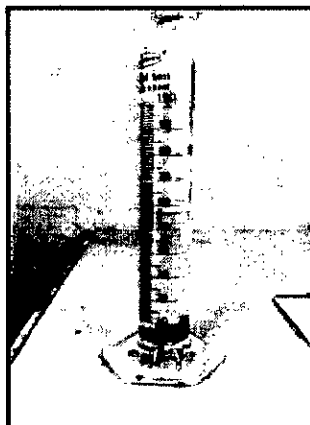
Datos obtenidos	
Masa del solido (feldespato)	15.795 g
Volumen inicial del agua en la probeta	50cm ³
Volumen final del agua en la probeta	56cm ³

Reemplazando datos en la ecuación 5.2:

$$Pe = \frac{15.795g}{56cm^3 - 50cm^3}$$

$$Pe = 2.63g/cm^3$$

**FIGURA N° 4.6
ANÁLISIS DETERMINACION DEL PESO ESPECÍFICO**



4.5.3 Reducción de Tamaño de partículas

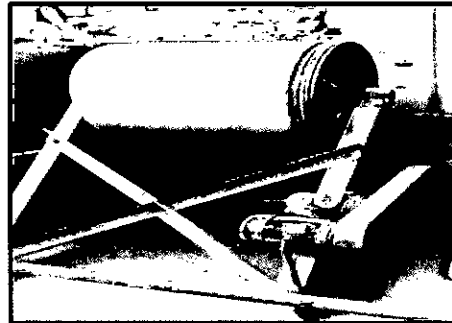
Esta etapa consistió principalmente en realizar las operaciones de chancado y molienda, con la finalidad de facilitar el manejo de la muestra, así como obtener diferentes tamaños de partícula.

Se le realizó una reducción de tamaño a la muestra recolectada, en primer lugar, por medio de una trituración, a través de la chancadora de mandíbulas ubicada en el Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios (LOPU) de nuestra facultad como se aprecia en la figura 4.7, y una molienda usando un molino de bolas cerámicas batch ubicado en la planta industrial INSUMEX S.A. mostrada en la figura 4.8 (véase en la página 47), esto con el fin de evitar la contaminación de metales usando algún otro tipo de molino. La operación de chancado se llevó a cabo tres veces (primaria, secundaria y terciaria), y la de molienda solo en una, hasta obtener un tamaño de partícula entre los 200 μ m y 600 μ m, con esto se pudo realizar la última etapa de tamizado.

**FIGURA N° 4.7
CHANCADORA DE MANDIBULAS**



FIGURA N° 4.8
MOLINO BATCH DE BOLAS CERÁMICAS



4.5.4 Tamizado

En esta etapa, se realizó una separación granulométrica, que define una de nuestras variables de investigación (tamaño de partícula), a través de tres niveles, que se expresó como la media de las mallas comprendidas durante su separación haciendo uso de tamices de serie DIN (véase en el cuadro 4.6). Esto se desarrolló en el Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios (LOPU) de nuestra facultad usando la norma ASTM D-422.

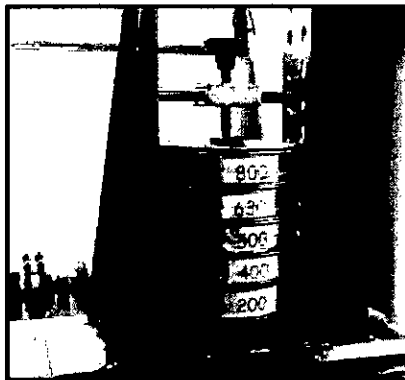
CUADRO N° 4.6
TAMAÑO DE PARTÍCULA

Malla	Tamaño de Partícula (μm)
-400 ; +200	300
-500 ; +400	450
-630 ; +500	565

Posterior a la reducción de tamaño, la muestra molida fue preparada con la finalidad que sea representativa, en ese sentido se realizó la técnica de cuarteo manual, donde en un superficie limpia y libre de impurezas, se

colocó la muestra extendiéndolo y formando un cuadrado, luego se dividió en cuatro partes iguales, tomando dos extremos opuestos y juntándolos. Con la parte de muestra seleccionada se repitió dos veces más hasta obtener la cantidad requerida, teniendo en cuenta los criterios de homogenización en cada una de ellas.

**FIGURA N° 4.9
TAMIZADO**



La muestra representativa fue sometida a tamizado a través de un juego de tamices DIN de 200 μ m, 400 μ m, 500 μ m y 630 μ m, y llevadas a un agitador Ro-tap durante un tiempo aproximado de 10 minutos (véase figura 4.9), luego se removieron y desmontaron para recolectar el contenido retenido en cada uno de las mallas. Estas muestras fueron embolsadas e identificadas para la siguiente etapa.

**FIGURA N° 4.10
OBTENCIÓN DE LAS MUESTRAS**



4.5.5 Separación Magnética

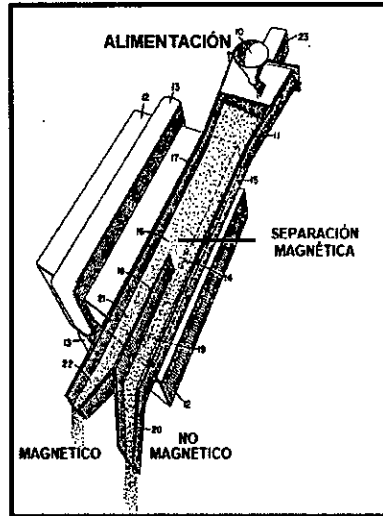
En este proceso se desarrolló a través del uso del equipo Franzl Isodynamic L-1 (véase figura 4.11), un separador magnético a nivel laboratorio, ubicado en el laboratorio de Ingeniería de Minas de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI). Se usaron tres niveles de intensidad de corriente: 0.70A, 1.00A y 1.50A, que “son equivalentes numéricamente de 1:1 en unidades de campo magnético (Tesla)”. S.G. FRANTZ CO. (2017: 1). Siendo los puntos definidos para esta variable de investigación: 0.70, 1.00 y 1.50 Teslas.

**FIGURA N° 4.11
SEPARACIÓN MAGNÉTICA**



Para cada experimento se pesó una cantidad de 50g de mineral separado granulométricamente, seguidamente fue alimentado al equipo Franzl Isodynamic L-1 en las intensidades de corriente definidas anteriormente, haciéndolo pasar a flujo constante durante un tiempo de 90 minutos cada uno, se recibió la muestra tratada con su rechazo en diferentes recipientes, tal como se esquematiza en la figura 4.12 (véase en la página 50).

FIGURA N° 4.12
ILUSTRACIÓN DEL MÉTODO



Fuente: ELLINGBOE, J. L. Jr. et al. (1964: 1)

Con el fin de realizar una evaluación gravimétrica de esta operación, se pesó la cantidad de muestra retenida por el imán, que para este proceso se consideró como rechazo, y de esta forma se determinó el % de rechazo, en relación con la alimentación.

Tal como se muestra en el cuadro 4.2 (véase en la página 37), luego de la separación fueron pesados las fracciones de muestras que se obtuvieron, y de esta manera se determinó el % de rechazo, expresado gravimétricamente según la ecuación 4.4:

$$\% \text{ Rechazo} = \frac{w_R}{w_I} \times 100\% \quad (4.4)$$

Donde

% Rechazo = Porcentaje de Rechazo

w_i = Peso de la muestra inicial (Alimentación)

w_R = Peso de la muestra rechazada (Magnético)

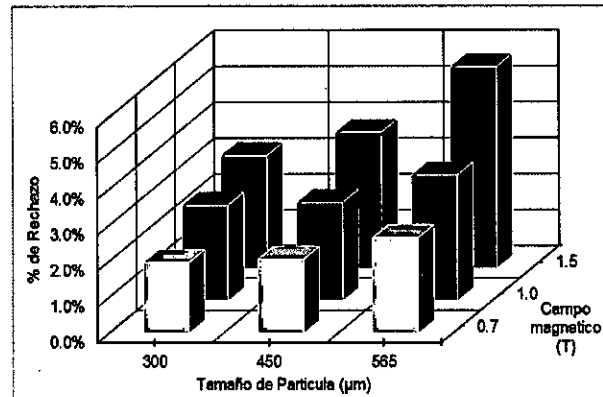
A partir de los datos obtenidos de peso inicial y del rechazo para los 9 experimentos realizados y reemplazando en la ecuación 4.4, se obtuvo el % de rechazo de forma gravimétrica, tal como muestra el cuadro 4.7.

CUADRO N° 4.7
EVALUACIÓN GRAVIMÉTRICA DE LA SEPARACIÓN MAGNÉTICA

N° de experimento	Peso Inicial (g)	Peso Rechazo (g)	% Rechazo
1	50.023	0.983	1.97%
2	50.018	1.331	2.66%
3	50.048	1.574	3.14%
4	50.102	1.027	2.05%
5	50.036	1.369	2.74%
6	50.100	1.899	3.79%
7	50.018	1.326	2.65%
8	50.071	1.749	3.49%
9	50.114	2.809	5.61%

A partir de estos datos se muestra mediante el gráfico 4.1 (véase en la página 52), el comportamiento gravimétrico de la separación magnética con respecto a las variables de estudio. Según el gráfico precedente se puede destacar que conforme aumenta el tamaño de partícula, también aumenta el porcentaje de rechazo, y la misma tendencia ocurre con la intensidad de campo magnético.

GRAFICO N° 4.1
EVALUACIÓN GRAVIMÉTRICA DE LA SEPARACIÓN MAGNÉTICA



4.5.6 Análisis cualitativo del producto

Una de las maneras de determinar visualmente la remoción de componentes magnéticos en el mineral, es a través de una prueba de fundición, es un método empírico usado por algunas industrias en el mercado cerámico.

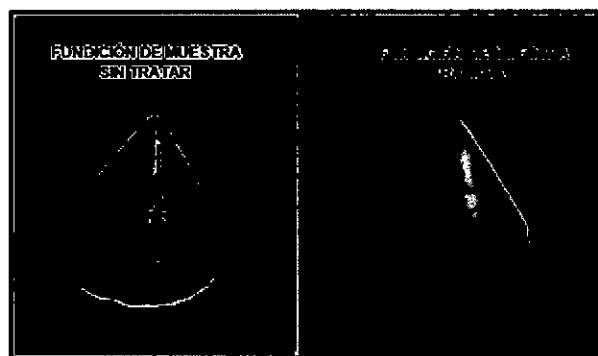
Este análisis se realizó en el laboratorio de investigación y desarrollo de la empresa INSUMEX S.A. (véase figura 4.13, en la página 53), ubicado en el distrito de Ate – Lima. Luego del tratamiento descrito en el ítem anterior, las muestras se llevaron nuevamente a molienda hasta llegar a un tamaño de $350\mu\text{m}$. Se procedió a fundir la muestra inicial (sin tratamiento) junto con las muestras obtenidas en los experimentos realizados, previamente identificadas y formadas mediante una matriz de molde cónico usado para este tipo de pruebas analíticas, estas se colocaron en una mufla a 1210°C durante el transcurso de 1 hora.

**FIGURA N° 4.13
FUNDICIÓN A 1210°C**



Se realizó la evaluación considerando el aspecto de opacidad, brillo y color de las muestras fundidas (véase figura 4.14), esta última característica física es la que es más notoria, una muestra con bajo contenido de metales resulta en un fundido más traslúcido y blanco, con respecto a uno de mayor contenido, que puede tomar un color gris, el cual afecta la calidad del producto final.

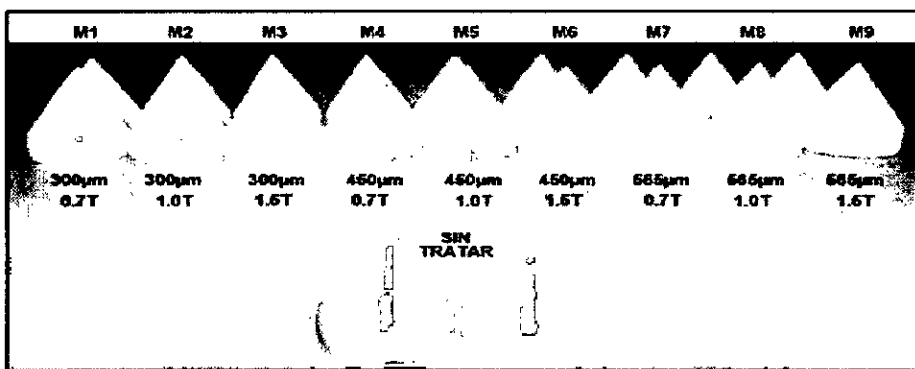
**FIGURA N° 4.14
MUESTRAS FUNDIDAS**



Luego de la fundición, se realizó una evaluación visual y comparación de los conos formados, mostrados en la figura 4.15 pudiéndose observar, en primer lugar, un cambio en el color de un tono

gris, para la muestra sin tratar, a un tono blanco, para todas las muestras tratadas por la desferretización, esto demuestra cualitativamente que ha ocurrido una remoción de hierro y la influencia negativa de su presencia para el producto final.

**FIGURA N° 4.15
EVALUACIÓN CUALITATIVA**



Además, en la misma figura, entre las muestras tratadas se observa un aclaramiento desde la muestra M1 hasta la muestra M9, conforme va aumentando, tanto el tamaño de partícula como la intensidad de campo magnético, también demostrando una relación directamente proporcional entre estas variables con la remoción de hierro.

4.5.7 Determinación del porcentaje de remoción de Fe.

Las muestras tratadas fueron llevadas a un nuevo análisis de difracción de rayos X, y se determinó la composición mineralógica y química de cada uno. Luego se comparó las concentraciones de hierro, expresado como $\%Fe_2O_3$, con respecto a lo analizado en el ítem 4.5.2 y se obtuvo el porcentaje de remoción mediante la ecuación 4.5:

$$\% \text{ Remoción Fe} = \frac{C_i - C_n}{C_i} \times 100\% \quad (4.5)$$

Donde:

C_i = % de Fe_2O_3 en la muestra sin tratar

C_n = % de Fe_2O_3 en la muestra tratada ($n=1, 2, 3, \dots, 9$)

En el informe de análisis de difracción de rayos X para las muestras tratadas, cuyos resultados están detallados en el anexo II, se tomaron los datos de sus composiciones mineralógicas que se encuentran resumidas en el cuadro 4.8, con respecto a las fases representativas determinadas en la muestra inicial.

**CUADRO N° 4.8
COMPOSICIÓN MINERALÓGICA DE LAS MUESTRAS TRATADAS**

	COMPOSICION MINERALOGICA (%)								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Feldspatos (*)	53,11	48,77	49,58	48,72	48,36	48,31	51,11	48,51	46,59
Cuarzo	45,16	49,50	49,06	49,90	50,12	50,27	47,24	50,07	52,00
Albita	14,95	14,01	14,26	14,30	15,14	13,20	16,21	15,35	14,21
Anortita	7,65	7,63	8,10	5,21	6,00	6,51	5,10	5,70	5,87
Ortosa	30,51	27,13	27,22	29,21	27,22	28,60	29,80	27,46	26,51
Ankerita	1,00	1,06	0,80	0,90	1,10	1,10	1,40	1,20	1,30
Hematita	0,19	0,18	0,12	0,1	0,09	0,07	0,05	0,04	0,01
Muscovita	0,32	0,28	0,25	0,21	0,19	0,15	0,12	0,11	0,08
Caolinita	0,22	0,21	0,19	0,17	0,14	0,1	0,08	0,07	0,02

Fuente: Datos tomados del Análisis de DRX (Anexo II)

(*)%Feldspatos = Albita + Anortita + Ortosa

La composición química de las muestras tratadas también fue determinada mediante un balance de materia elemental, cuyos cálculos están explicados en el anexo III, y fueron resumidos en el cuadro 4.9, expresados en términos de óxidos, esto con el fin de expresar los elementos metálicos presentes.

CUADRO N° 4.9
COMPOSICION QUÍMICA DE LAS MUESTRAS TRATADAS

	COMPOSICION MINERALOGICA (%)								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
SiO₂	56,92	60,31	60,03	60,68	60,82	60,92	58,53	60,78	62,26
Al₂O₃	19,96	18,34	18,62	18,29	18,16	18,07	19,15	18,17	17,42
Fe₂O₃	0,19	0,18	0,12	0,10	0,09	0,07	0,05	0,04	0,01
CaO	1,81	1,83	1,85	1,29	1,51	1,61	1,41	1,47	1,54
Na₂O	3,53	3,31	3,37	3,38	3,58	3,12	3,83	3,63	3,36
K₂O	10,40	9,25	9,27	9,94	9,26	9,71	10,11	9,32	8,99
MgO	0,20	0,21	0,16	0,18	0,21	0,21	0,27	0,23	0,25

Según los datos del cuadro anterior, el contenido de hierro fue comparado con la muestra inicial, cuyo porcentaje de hierro, expresado como Fe₂O₃, es de 0.51%, y se calcularon los valores de % de remoción, a través de la ecuación 4.5 y se obtuvo los datos mostrados en el cuadro 4.10 (véase en la página 57), en función a las variables independientes, para su posterior tratamiento estadístico.

CUADRO N° 4.10
EVALUACION DE LA REMOCIÓN DE HIERRO

N° de experimento	Tamaño de Partícula (µm)	Intensidad de campo magnético (Tesla)	% Remoción de Fe
1	300	0.7	63
2	300	1	65
3	300	1.5	76
4	450	0.7	80
5	450	1	82
6	450	1.5	86
7	565	0.7	90
8	565	1	92
9	565	1.5	98

4.6 Procesamiento estadístico y análisis de datos.

Después de haber concluido con la etapa de recolección de datos, se procedió con el análisis de datos, al ingresar las variables del cuadro 5.8 Granulometría (Granul) y Campo magnético (Magnet) y la variable respuesta de porcentaje remoción de hierro (%Fe) representado por su tanto por ciento como fracción, este último obtenido de los resultados de la difracción por rayos X en el cuadro 4.11 (véase en la página 58), el Software Minitab 18, arrojó los siguientes datos:

❖ Diseño factorial de múltiples niveles (DOE)

Resumen del diseño

Factores:	2	Réplicas:	1
Corridas base:	9	Total de corridas:	9
Bloques base:	1	Total de bloques:	1
Número de niveles:	3; 3		

**CUADRO N° 4.11
VARIABLES ESTADÍSTICAS**

Granul	Magnet	% Fe
300	0,7	0,63
300	1,0	0,65
300	1,5	0,76
450	0,7	0,80
450	1,0	0,82
450	1,5	0,86
565	0,7	0,90
565	1,0	0,92
565	1,5	0,98

Fuente: MINITAB 18

❖ **Regresión factorial general: %Fe vs. Granul; Magnet**

✓ **Información del factor**

Información mostrada a través del cuadro 4.12, donde arroja los datos de los factores y niveles, tal como se estableció en el ítem 4.2.1

**CUADRO N° 4.12
NIVELES Y VALORES ESTADÍSTICOS**

Factor	Niveles	Valores
Granul	3	300; 450; 565
Magnet	3	0,7; 1,0; 1,5

Fuente: MINITAB 18

✓ **Análisis de Varianza**

En el cuadro 4.13 (véase en la página 59) se observa que los valores de P para el nivel de significancia, es menor a $\alpha=0.05$, se puede decir con esto que es estadísticamente significativa.

**CUADRO N° 4.13
ANALISIS DE VARIANZA**

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	4	0,110467	0,027617	63,73	0,001
Lineal	4	0,110467	0,027617	63,73	0,001
Granul	2	0,097067	0,048533	112,00	0,000
Magnet	2	0,013400	0,006700	15,46	0,013
Error	4	0,001733	0,000433		
Total	8	0,112200			

Fuente: MINITAB 18

Donde:

GL: Grados de Libertad

SC Ajust.: Suma de las distancias elevadas al cuadrado

MC Ajust.: Cuadrado medio del error

Valor F: Distribución de Fisher

Valor P: Probabilidad que mide la evidencia en contra de la hipótesis nula

✓ **Resumen del modelo**

En estos resultados del cuadro 4.14 (véase en la página 60) se mide en las unidades de la variable de respuesta y representa la distancia que separa a los valores de los datos de los valores ajustados, el modelo explica un 98.46% de la variación. Para estos datos, el valor de R^2 indica que el modelo ofrece un ajuste adecuado a los datos. Si se ajustan modelos adicionales con diferentes variables, utilice los valores de R^2 ajustado y los

valores de R^2 pronosticado para comparar qué tan bien se ajustan los modelos a los datos.

**CUADRO N° 4.14
RESUMEN DEL MODELO**

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0,0120185	98,46%	96,91%	92,18%

Fuente: MINITAB 18

Donde:

S: Desviación estándar

R-Cuad.: coeficiente de determinación R^2

✓ **Coeficientes**

**CUADRO N° 4.15
COEFICIENTES**

Término	Coef.	EE del coef.	Valor T	Valor p	FIV
Constante	0,81333	0,00694	117,21	0,000	
Granul					
300	-0,13333	0,00981	-13,59	0,000	1,33
450	0,01333	0,00981	1,36	0,246	1,33
Magnet					
0,7	-0,03667	0,00981	-3,74	0,020	1,33
1,0	-0,01667	0,00981	-1,70	0,165	1,33

Fuente: MINITAB 18

Donde:

Coef.: Coeficiente de factor

EE de Coef.: Error Estándar de Coeficiente

Valor T: Prueba t-Student

FIV: Factor de inflación de la varianza

✓ **Ecuación de regresión**

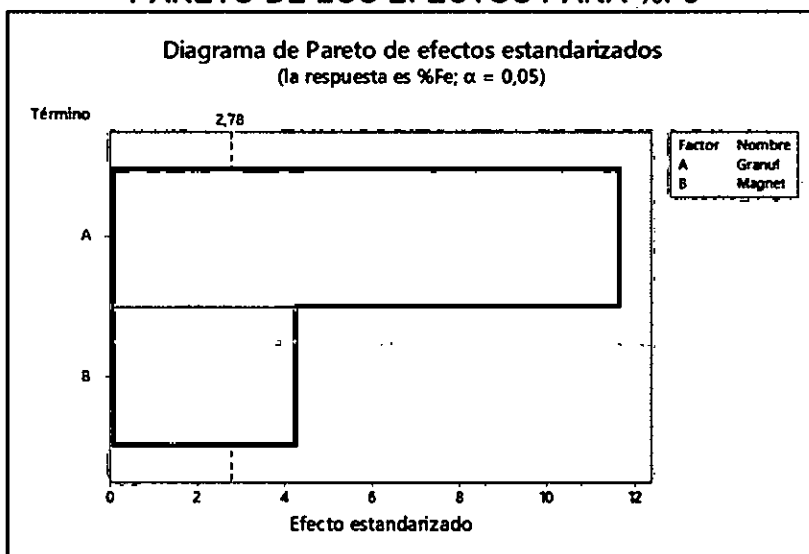
Esta ecuación predice el %Fe estimado basándose en sus variables de Granulometría (Granul.) e Intensidad de campo magnético (Magnet.).

$$\begin{aligned} \%Fe = & 0,81333 - 0,13333 \text{ Granul}_{300} + 0,01333 \text{ Granul}_{450} \\ & + 0,12000 \text{ Granul}_{565} - 0,03667 \text{ Magnet}_{0,7} \\ & - 0,01667 \text{ Magnet}_{1,0} + 0,05333 \text{ Magnet}_{1,5} \end{aligned}$$

✓ **Pareto de los efectos para %Fe**

En estos resultados del Gráfico 4.2, los 2 efectos principales son estadísticamente significativos ($\alpha = 0.05$). Estos incluyen los 2 principales, Granulometría(A) y Magnetismo (B). Además, se puede observar que el efecto más grande es la Granulometría (A) porque es el que más se extiende.

GRÁFICO N° 4.2
PARETO DE LOS EFECTOS PARA %Fe

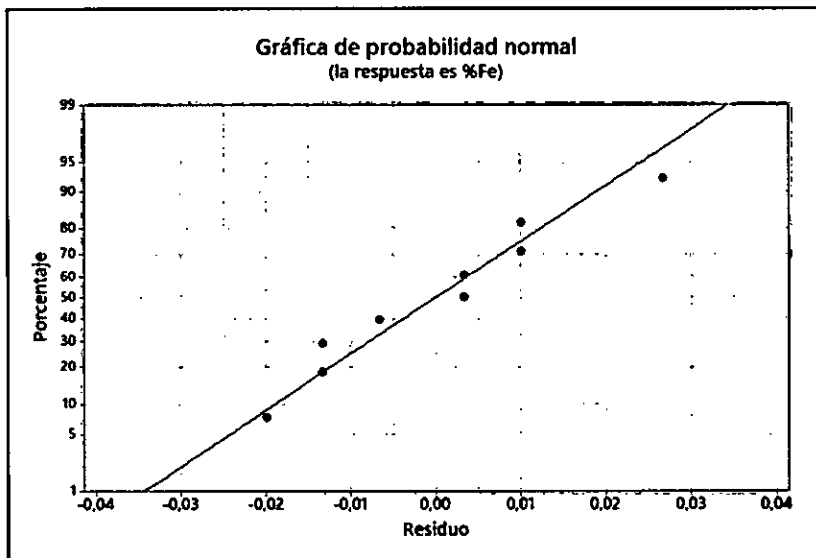


Fuente: MINITAB 18

✓ **Gráficas de residuos para %Fe**

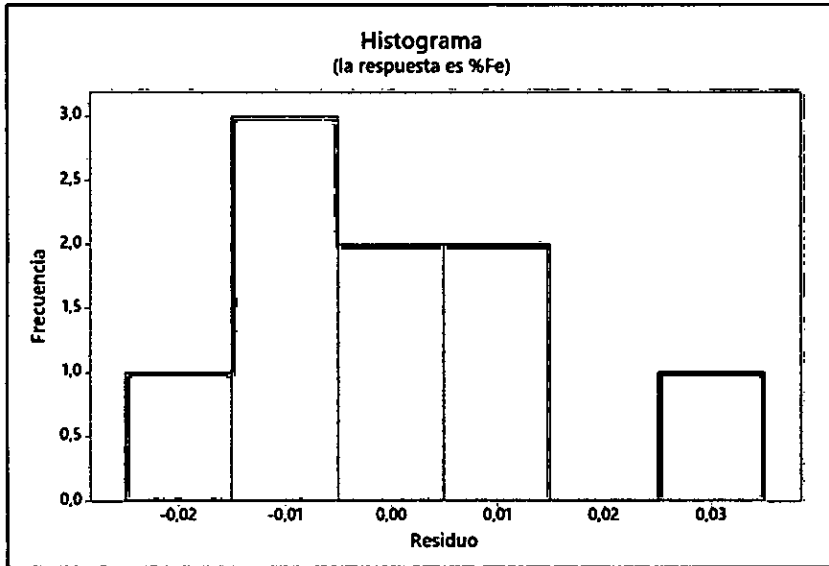
Se muestran los 4 gráficos de residuos para %Fe, en el caso del gráfico 4.4 del Histograma (véase en la página 66), es más efectivo cuando tiene aproximadamente 20 o más puntos de datos. Como la muestra tiene menos de 20 puntos, se visualiza mejor el gráfico 4.3 de Probabilidad Normal (véase página 66), donde se observa que los residuos están distribuidos normalmente siguiendo aproximadamente una línea recta. En los gráficos 4.5 y 4.6 de Vs Ajustes y Vs Orden (véanse en la página 67), respectivamente, se observan que los residuos están posicionados aleatoriamente en ambos lados de 0 indicando valores no atípicos.

GRÁFICO N° 4.3
GRÁFICA DE PROBABILIDAD NORMAL



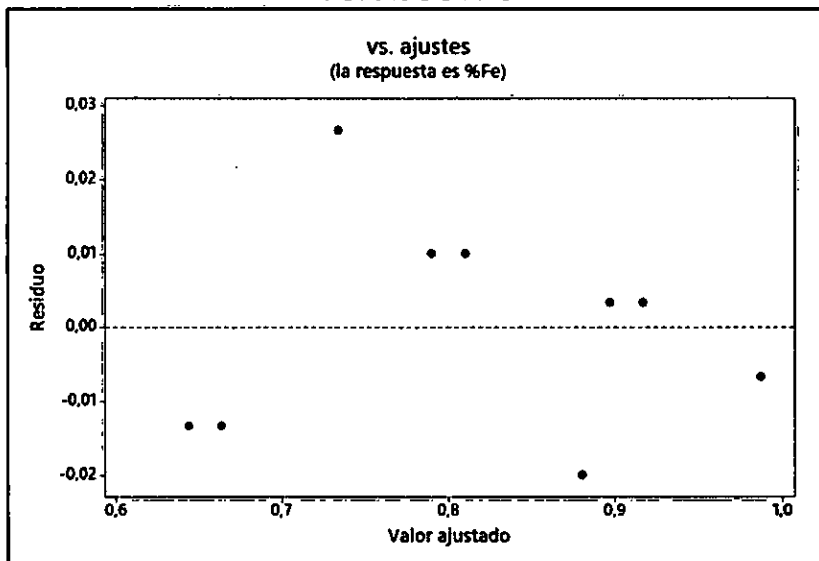
Fuente: MINITAB 18

**GRÁFICO N° 4.4
HISTOGRAMA**



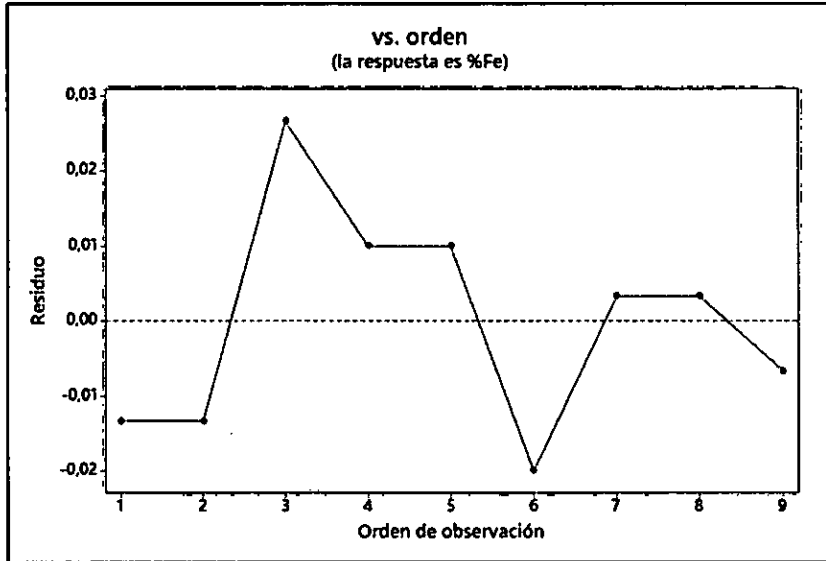
Fuente: MINITAB 18

**GRÁFICO N° 4.5
VS. AJUSTES**



Fuente: MINITAB 18

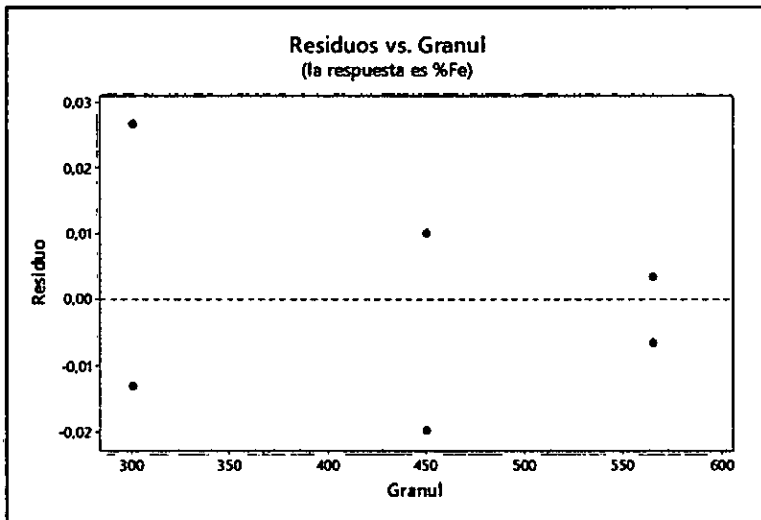
**GRÁFICO N° 4.6
VS. ORDEN**



Fuente: MINITAB 18

✓ Residuos de %Fe vs. Granul

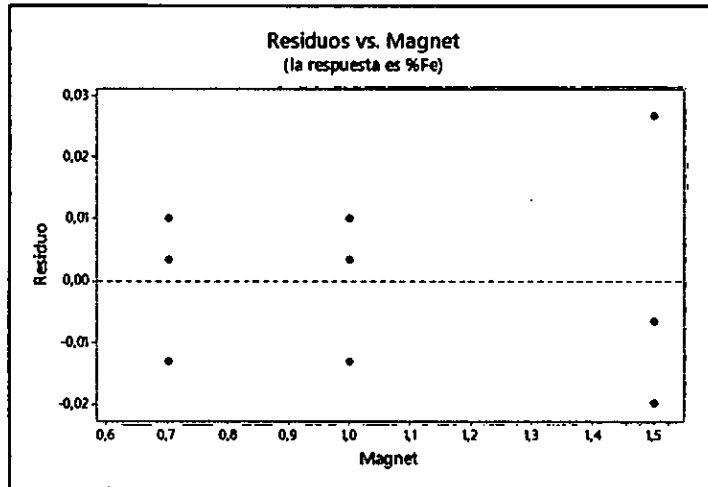
**GRÁFICO N° 4.7
RESIDUOS DE %Fe VS. GRANUL**



Fuente: MINITAB 18

✓ Residuos de %Fe vs. Magnet

GRÁFICO N° 4.8
RESIDUOS DE %Fe VS. MAGNET

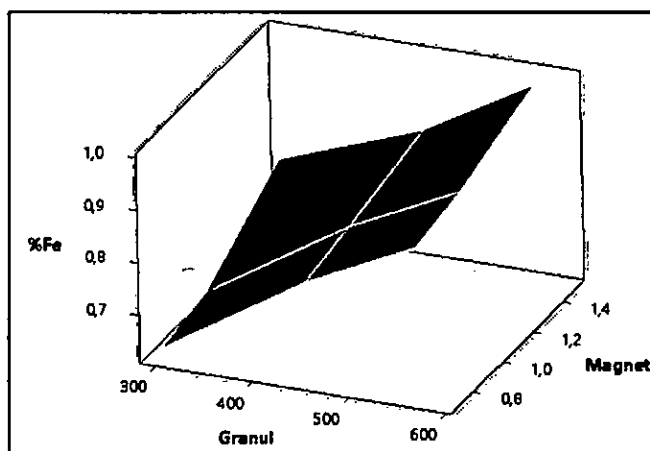


Fuente: MINITAB 18

✓ Gráfica de superficie de %Fe vs. Magnet; Granul

En esta última gráfica 5.9, se observa tridimensionalmente los efectos de proporcionalidad directa que afectaron al porcentaje de remoción de hierro %Fe del presente trabajo.

GRÁFICO N° 4.9
GRÁFICA DE SUPERFICIE DE %Fe VS. MAGNET; GRANUL



Fuente: MINITAB 18

CAPITULO V

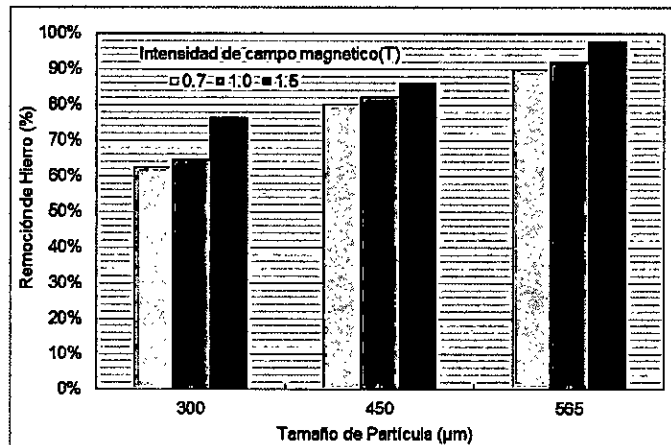
RESULTADOS

5.1 Resultados parciales

5.1.1 Influencia respecto al tamaño de partícula

Respecto al tamaño de partícula, a una granulometría de -400; +200, se observa una menor remoción de 63% a 76%, mientras que a -500;+400, entre 80% y 86%, y a -630;+500, la mayor remoción de 90% a 98%. Esto se muestra a través del grafico 5.1

**GRAFICO N° 5.1
COMPARACIÓN RESPECTO AL TAMAÑO DE PARTÍCULA**

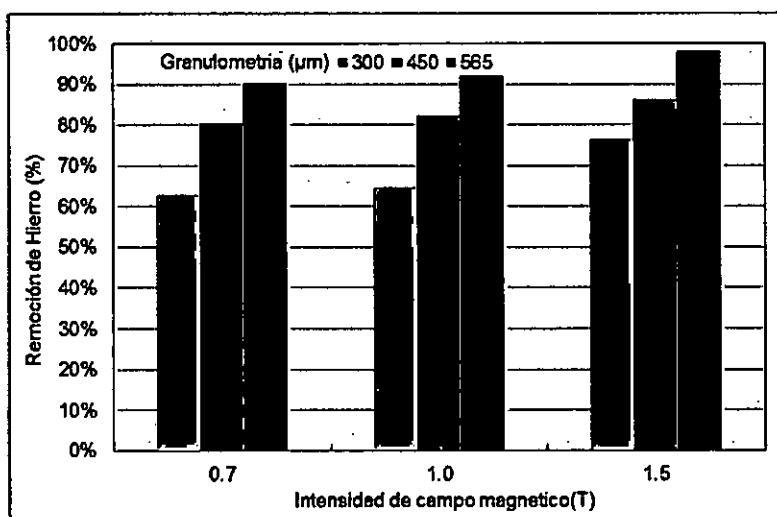


Según el grafico anterior, se observa un aumento escalonado entre cada muestra, y conforme aumenta el tamaño de partícula deduciendo que al mayor tamaño de partícula seleccionado para esta investigación se obtuvo el mayor porcentaje de remoción (entre 90% y 98%) dependiendo de la intensidad de campo magnético.

5.1.2 Influencia respecto a la intensidad de campo magnético.

Con respecto a la intensidad de campo magnético, se muestra mediante el grafico 5.2 la influencia sobre la separación magnética, siendo poco menos notoria que con el tamaño de partícula.

**GRAFICO N°5.2
COMPARACIÓN RESPECTO A LA INTENSIDAD
DE CAMPO MAGNETICO**



Se observa una mayor remoción de hierro cuando se usó la mayor intensidad de campo magnético, teniendo las mayores remociones a una granulometría de 565μm de tamaño promedio a las tres intensidades de campo electromagnético propuestas en esta investigación.

5.2 Condiciones para la remoción de hierro del feldespato

Se obtuvo una adecuada remoción de hierro cuando las condiciones de tamaño de partícula e intensidad de campo magnético fueron de 565μm y 1.5T, respectivamente. La muestra de feldespato se extrajo de las

canteras provenientes del yacimiento de la provincia de Huarochirí; esta muestra fue caracterizada para determinar el tipo de mineral a trabajar, mediante un análisis de difracción de Rayos X, en la primera etapa se utilizó operaciones de chancado, molienda para su reducción de tamaño.

Luego se realizó el tamizado usando mallas serie DIN de 450 y 623, cuyo tamaño promedio fue de 565µm. Para la extracción del hierro se utilizó el equipo de separación magnética Frantz Isodynamic Separator L-1 haciendo pasar a una intensidad de 1.5 Teslas, un flujo constante durante 90 minutos, obteniendo dos salidas de muestras, magnética y no magnética, siendo este último el rechazo.

Para demostrar la cantidad de hierro que fue removido, se realizó un análisis de difracción de Rayos X y fue comparado con la muestra inicial obteniendo un 98% de remoción de Hierro. También se demuestra realizado la fundición de estas muestras y comparando a través del color y brillo que resulta del producto calcinado.

CAPITULO VI

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

A partir de los resultados obtenidos en el capítulo anterior, se deduce que hay una remoción considerable del hierro con respecto a las variables tomadas en el estudio, ello acepta la hipótesis general de esta investigación, donde menciona una relación directamente proporcional entre el tamaño de partícula y la intensidad de campo magnético con el porcentaje de remoción de hierro, que sirvió para determinar el feldespato adecuado para la industria cerámica.

6.1 Contrastación interna entre resultados

Se cumplen las hipótesis planteadas en esta investigación con respecto a la relación directa, superando el porcentaje de remoción planteado de 86% hasta un 98%, realizando una desferretización aceptable y enfatizado la explotación del feldespato proveniente de esta cantera para su aplicación en la industria cerámica.

6.2 Contrastación externa de los resultados

De los datos de la especificación del feldespato para la industria cerámica (véase en el cuadro 2.4, en la página 29) con respecto al % Fe_2O_3 se describe en el cuadro 6.1 (véase en la página 70), las muestras que cumplen con este criterio para cada tipo de cerámica, que varían entre 0.067% para la cerámica tipo NC4 y 0.08% para la cerámica G-200.

**CUADRO N°6.1
COMPARACIÓN CON ESPECIFICACIÓN DEL FELDESPATO
EN CERÁMICA**

N° de Muestra (% de Fe ₂ O ₃)	Tipo de Cerámica (% de Fe ₂ O ₃)			
	Cerámica NC4 (0.067)	Cerámica C-6 (0.07)	Cerámica G-200 (0.08)	Cerámica K-200 (0.07)
M1 (0.19)	No	No	No	No
M2 (0.18)	No	No	No	No
M3 (0.12)	No	No	No	No
M4 (0.10)	No	No	No	No
M5 (0.09)	No	No	No	No
M6 (0.07)	No	Si	Si	Si
M7 (0.05)	Si	Si	Si	Si
M8 (0.04)	Si	Si	Si	Si
M9 (0.01)	Si	Si	Si	Si

De este cuadro se deduce que las muestras M7, M8 y M9 satisfacen los niveles de Fe₂O₃ requeridos para la producción de cerámicas, mientras que M6 tiene una restricción para la cerámica tipo NC4, y las demás muestras no cumplen con lo establecido por la especificación para esta industria.

Con respecto a los antecedentes, H. Hacifazlioglu et al (2012) reportó una reducción de hasta 0.01% de Fe₂O₃ mediante el uso de una celdas convencionales de flotación y una separación magnética por vía húmeda, la misma remoción se obtuvo en esta investigación por vía seca.

Mientras que con F. Lopez et al (1988), que llegó a reducir de 0.9% hasta un 0.11% de Fe_2O_3 , y Z. Oziępa (1997) de 2.8% hasta 0.2% de Fe_2O_3 , pudiéndose notar una mejora en la remoción de Hierro de esta investigación con los estudios realizados en el desarrollo de esta operación.

Según A. Valera (1979), confirma sus resultados de mejora en la blancura y estabilidad durante la vitrificación, esto se demuestra por las pruebas de fundición en mufla de las muestras que se le realizaron el tratamiento magnético.

CAPITULO VII

CONCLUSIONES

- a) Se estableció la forma de la desferretización electromagnética del feldespato proveniente de los yacimientos de la comunidad de Cucuya, provincia de Huarochiri, dependiendo del tamaño de partícula e intensidad de campo magnético, cuya aplicación es aceptable para la industria cerámica, que se definió por el porcentaje de Hierro, componente magnético que afecta la calidad del producto final.

- b) A un tamaño de partícula de $565\mu\text{m}$ se obtuvo una mayor remoción de hierro, siendo adecuado para realizar la desferretización del feldespato.

- c) A 1.5 Tesla de intensidad de campo magnético se obtuvo una mayor remoción de hierro, siendo adecuado para realizar la desferretización del feldespato.

- d) Ambas variables influyeron de manera directamente proporcional a la remoción de hierro, cuyo valor máximo que se obtuvo fue del 98%.

CAPITULO VIII

RECOMENDACIONES

- a) Profundizar para establecer qué relación podría existir entre los flujos durante la separación magnética durante el paso de la muestra por el equipo Frantz Isodynamic, y así evaluar su influencia.

- b) Desarrollar un proyecto a nivel industrial para aprovechar los resultados de la presente tesis, usando estos principios, donde se evalúen influencias de otros factores durante la operación de separación magnética, así como un diseño del equipo a gran escala.

CAPITULO IX
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. ARÉVALO, Aleida y CONTRERAS, Ángel. **Concentración por Flotación de Feldespato, Mica Y Cuarzo a Partir de los Gneises del Área de Bejuma. Estado Carabobo.** Tesis para optar el título de Ingeniero de Minas. Caracas. Universidad Central de Venezuela. 2006
2. CAMIMEX. **Feldespato (KAISi_3O_8).** Disponible en: <https://camimex.org.mx/index.php/secciones1/sala-de-prensa/uso-de-los-metales/feldespato/>. Artículo web. Consultado el 12 de noviembre del 2017.
3. ECLIPSE MAGNETICS. **Magnetic Separation Brochure.** Disponible en: <https://www.eclipsemagnetics.com/row/downloads/>. Artículo web. Consultada el 18 de octubre del 2017.
4. ECURED. **Feldespato.** Disponible en: www.ecured.cu/Feldespato artículo web, consultado el 25 de Septiembre del 2017.
5. ELLINGBOE, J. L. Jr. et al. Separation of high low quality electrode cokes. United States Patent Office. 1 a 3. Mayo de 1967.

6. GRIEM, Wolfgang. **Apuntes de Geología General: Los minerales más importantes, Los Felfespatos**. Museo Virtual, Geología. 1 a 6. Agosto 2015.
7. HACIFAZLIOGLU, Hasan et al. **Beneficiation of low-grade feldspar ore using cyclojet flotation cell, conventional cell and magnetic separator**. Physicochemical Problems of Mineral Processing. Vol. 48: 381 a 392. Febrero 2012.
8. HERNANDEZ SAMPIERI, Roberto et al. **Metodología de la Investigación**. México. Editorial Mc Graw Hill Interamericana de México S.A. Sexta Edición. 2014.
9. INGEMMET. **Geocatmin: Información Geológica y Catastra Minero**. Disponible en: <http://geocatmin.ingemmet.gob.pe/geocatmin/>. Página web. Consultado el 26 de Octubre del 2017.
10. LA MINERIA EN TU VIDA. **El feldespató y sus aplicaciones**. Disponible en: www.lamineriaentuvida.com.ar/el-feldespató-y-sus-aplicaciones/. Artículo web. Consultado el 12 de noviembre del 2017

11. LOPEZ GOMEZ, Félix et al. **Obtención de feldespato mediante flotación y lixiviación.** *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*. Vol.27 (6): 369 a 375. Diciembre 1988

12. MANUEL D'ALESSANDRO. **Los feldespatos.** Disponible en: <https://www.rocasym minerales.net/los-feldespatos/>. Artículo web. Consultado el 28 de septiembre del 2017

13. MENDOZA SÁNCHEZ, Lizeth et al. **Análisis preliminares de un feldespato para su certificación como material de referencia.** *Avances en Ciencias e Ingeniería*. Vol.1: 17 a 26. Marzo 2010.

14. MURRAY R. SPIEGEL Y LARRY J. STEPHENS. **Estadística.** México. editorial Mc Graw-Hill Interamericana de México S.A. Cuarta Edición. 2009

15. OCIEPA, Z. **Conditions for obtaining high quality feldspar products from waste raw materials.** XV Congreso minero de Turquía. ISBN 975-395-216-3. 1997

16. RODRÍGUEZ, Javier A. **La Porosidad Como Propiedad Física: Propiedades Densidad y Porosidad.** *Departamento de Geología (Petrología y Geoquímica)*. 1 a 6. Octubre 2010.

17. SÁNCHEZ MUÑOZ, L et al. **Caracterización estructural simple de feldespatos alcalinos: metodología de trabajo.** *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*. Vol.30 (2): 69 a 79. Abril 1991.

18. SECRETARIA ECONOMICA DE LOS ESTADOS UNIDOS MEXICANOS. **Perfil de mercado del Feldespato.** *Coordinación General de Minería: Dirección General de Desarrollo Minero*: 9 a 14. Diciembre 2014.

19. S.G. FRANTZ CO. **L-1 Isodynamic Laboratory Separator.** Disponible en: <http://www.sgfrantz.com/index.php/laboratory-separators/l-1-isodynamic-separators>. Artículo web. Consultada el 22 de noviembre del 2017.

20. STRATEGIC MINERALS SPAIN. **Nuestros productos feldespatos.** Disponible en: <http://www.strategicminerals.com/nuestro-trabajo/productos/feldespato/>. Artículo web. Consultado el 18 de octubre del 2017.

21. TABOADA CASTRO, Javier et al. **Estudio de la calidad de un yacimiento de feldespato.** *Materiales de Construcción*. Vol.50: 260. Octubre/noviembre/diciembre 2000
22. VALERA, Andrés. **Purificación de los yacimientos de mineral feldespático existentes en Silán (Vivero-Lugo).** *Sección de materias primas del departamento de Edafología de la Universidad de Santiago*. Diciembre 1979.

ANEXOS

ANEXO I: MATRIZ DE CONSISTENCIA
DESFERRETIZACIÓN ELECTROMAGNÉTICA DEL FELDESPATO DE LA COMUNIDAD DE CUCUYA PARA
LA INDUSTRIA CERÁMICA

PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLE DEPENDIENTE	DIMENSIONES	INDICADORES	MÉTODO
¿Cuál es la forma para la desferretización electromagnética del feldespato de la comunidad de Cucuya para la industria cerámica?	Establecer la forma para la desferretización electromagnética del feldespato de la comunidad de Cucuya para la industria cerámica.	La desferretización del feldespato se realiza determinando el tamaño de partícula y la intensidad de campo magnético que permitan un 86% de remoción de Fe.	Y = Feldespato adecuado para la industria cerámica.	- % remoción de Fe - Calidad del producto fundido	- ppm, % en peso - Coloración - Traslucidez	- Análisis de difracción de rayos X - Fundición en mufla, y comparación del color
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	VARIABLES INDEPENDIENTES	DIMENSIONES	INDICADORES	MÉTODO
¿Cuál es el tamaño de partícula del Feldespato para la separación de metales?	Determinar el tamaño de partícula del Feldespato para la separación de metales.	El tamaño de partícula del Feldespato para la separación de metales es de 450 μm necesario para una adecuada separación magnética.	X ₁ = Tamaño de partícula del Feldespato para la separación de metales.	-Tamaño de Partícula.	- μm	Tamizado bajo la norma ASTM D-422
¿Cuál es la intensidad de campo magnético para la separación de metales?	Determinar la intensidad de campo magnético para la separación de metales.	La intensidad de campo magnético para la separación de metales es de 1.5 Tesla.	X ₂ = Intensidad de campo magnético para la separación de metales.	-Intensidad de campo magnético	-Tesla	Ensayos experimentales en con el equipo Franz Isodynamic Separator

**ANEXO II: ANALISIS DE DIFRACCION DE RAYOS X PARA LA
MUESTRA INICIAL Y MUESTRAS TRATADAS**



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

Universidad del Perú, DECANA DE AMÉRICA

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

REPORTE DE MEDICIÓN Y ANÁLISIS DE MUESTRAS POR DIFRACCIÓN DE RAYOS X

Informe N° 038-LDRX-FCF-UNMSM-2017

Fecha: 17 de diciembre del 2017

Solicitante: Sr. Ivan Villanueva Mendoza / e-mail: villanuevamendozaivno@gmail.com

Institución: Universidad Nacional del Callao

CONSIDERACIONES EXPERIMENTALES:

Condiciones de la medición:

- El análisis se realizó en un difractor marca **BRUKER**, modelo **DS-FOCUS**.
- Se empleó un tubo de **Cu** cuya longitud de onda, correspondiente a $K\alpha_1$ -**Cu**, es $\lambda=1.5406\text{Å}$.
- Rango angular de análisis (2θ):
 - Inicio: 5° .
 - Final: 90° .
 - Paso: 0.02°
 - Tiempo por paso: 0.5 seg.
- Generador Rayos-X:
 - Voltaje de salida del tubo= 40 kV.
 - Corriente de salida del tubo = 40 mA.
- Tipo de detector:
 - PSD Lynxeye

Características de la muestra analizada:

Se analizaron diez (10) muestras, las cuales se encontraban pulverizadas por el cliente. Dichas muestras fueron codificadas tal como se detallan en la Tabla 1; además de la codificación brindada por el solicitante.

Tabla 1. Codificación de las muestras medidas y analizadas.

Código LDRX	Código solicitante
M2017-038-001	1
M2017-038-002	2
M2017-038-003	3
M2017-038-004	4
M2017-038-005	5



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

Universidad del Perú, DECANA DE AMÉRICA

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

Tabla 1 (continuación). Codificación de las muestras medidas y analizadas.

Código LDRX	Código solicitante
M2017-038-006	6
M2017-038-007	7
M2017-038-008	8
M2017-038-009	9
M2017-038-010	Sin tratar

ANÁLISIS DEL DIFRACTOGRAMA DE LAS MUESTRAS:

Los difractogramas de las muestras analizadas se observan en las Figuras 1 - 10. Con la finalidad de una mejor visualización de las diferencias entre las muestras analizadas, en la Figura 11 se observa la comparación en vertical de dichos difractogramas.

Al realizar la comparación del difractograma de la muestra codificada como "M2017-038-01" (véase la Figura 1) con los difractogramas de la base de datos ICDD-2007, y considerando la información proporcionada por la solicitante, se identificaron principalmente las fases *Quartz* (SiO_2), *Albite* ($\text{Na}(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$), *Anorthite* ($\text{Ca}(\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8)$), *Orthoclase* (KAlSi_3O_8), *Ankerite* ($\text{Ca}(\text{Fe}^{+2}, \text{Mg})(\text{CO}_3)_2$), *Hematite* (Fe_2O_3), *Muscovite* ($\text{KAl}_2(\text{Si}_3\text{Al})_2\text{O}_{10}(\text{OH})_2$), *Kaolinite* ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$). Las fichas JCPDS-PDF asociadas a estas fases son 00-046-1045, 01-078-1995, 01-075-1587, 00-031-0966, 00-041-0566, 00-033-0664, 01-089-5401 y 00-014-0164 respectivamente (véase la Figura 12). Asimismo, para estimar y verificar el porcentaje en peso (%P) de las principales fases identificadas, se utilizó el método Rietveld; donde dicho valor se observa en la Tabla 2.

Tabla 2. Cuantificación de las principales fases presentes en la muestra analizada.

MUESTRA	FASE	%P
M2017-038-001	<i>Quartz</i> (SiO_2)	45.16
	<i>Albite</i> ($\text{Na}(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$)	14.95
	<i>Anorthite</i> ($\text{Ca}(\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8)$)	7.65
	<i>Orthoclase</i> (KAlSi_3O_8)	30.51
	<i>Ankerite</i> ($\text{Ca}(\text{Fe}^{+2}, \text{Mg})(\text{CO}_3)_2$)	1.00
	<i>Hematite</i> (Fe_2O_3)	0.19
	<i>Muscovite</i> ($\text{KAl}_2(\text{Si}_3\text{Al})_2\text{O}_{10}(\text{OH})_2$)	0.32
	<i>Kaolinite</i> ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$)	0.22



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

Universidad del Perú, DECANA DE AMÉRICA

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

Del mismo modo, de la comparación del difractograma de la muestra codificada "M2017-036-002" (véase la Figura 2) con los difractogramas de la base de datos ICDD-2007, y considerando la información proporcionada por la solicitante, se identificaron principalmente las fases *Quartz* (SiO_2), *Albite* ($\text{Na(AlSi}_3\text{O}_8)$), *Anorthite* ($\text{Ca(Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8)$), *Orthoclase* (KAlSi_3O_8), *Ankerite* ($\text{Ca(Fe}^{+2}\text{,Mg)(CO}_3)_2$), *Hematite* (Fe_2O_3), *Muscovite* ($\text{KAl}_2\text{(Si}_3\text{Al)}_0.17\text{O}_{10}(\text{OH})_{1.72}\text{O}_{0.21}$), *Kaolinite* ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_7(\text{OH})_4$). Las fichas JCPDS-PDF asociadas a estas fases son 00-046-1045, 01-078-1995, 01-075-1587, 00-031-0966, 00-041-0586, 00-033-0664, 01-089-5401 y 00-014-0164 respectivamente (véase la Figura 13). Asimismo, para estimar y verificar el porcentaje en peso (%P) de las principales fases identificadas, se utilizó el método Rietveld; donde dicho valor se observa en la Tabla 3.

Tabla 3. Cuantificación de las principales fases presentes en la muestra analizada.

MUESTRA	FASE	%P
M2017-036-002	<i>Quartz</i> (SiO_2)	49.50
	<i>Albite</i> ($\text{Na(AlSi}_3\text{O}_8)$)	14.01
	<i>Anorthite</i> ($\text{Ca(Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8)$)	7.63
	<i>Orthoclase</i> (KAlSi_3O_8)	27.13
	<i>Ankerite</i> ($\text{Ca(Fe}^{+2}\text{,Mg)(CO}_3)_2$)	1.06
	<i>Hematite</i> (Fe_2O_3)	0.18
	<i>Muscovite</i> ($\text{KAl}_2\text{(Si}_3\text{Al)}_0.17\text{O}_{10}(\text{OH})_{1.72}\text{O}_{0.21}$)	0.28
	<i>Kaolinite</i> ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_7(\text{OH})_4$)	0.21

Asimismo, al comparar el difractograma de la muestra codificada como "M2017-038-003" (véase la Figura 3) con los difractogramas de la base de datos ICDD-2007, y considerando la información proporcionada por la solicitante, se identificaron principalmente las fases *Quartz* (SiO_2), *Albite* ($\text{Na(AlSi}_3\text{O}_8)$), *Anorthite* ($\text{Ca(Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8)$), *Orthoclase* (KAlSi_3O_8), *Ankerite* ($\text{Ca(Fe}^{+2}\text{,Mg)(CO}_3)_2$), *Hematite* (Fe_2O_3), *Muscovite* ($\text{KAl}_2\text{(Si}_3\text{Al)}_0.17\text{O}_{10}(\text{OH})_{1.72}\text{O}_{0.21}$), *Kaolinite* ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_7(\text{OH})_4$). Las fichas JCPDS-PDF asociadas a estas fases son 00-046-1045, 01-078-1995, 01-075-1587, 00-031-0966, 00-041-0586, 00-033-0664, 01-089-5401 y 00-014-0164 respectivamente (véase la Figura 14). Asimismo, para estimar y verificar el porcentaje en peso (%P) de las principales fases identificadas, se utilizó el método Rietveld; donde dicho valor se observa en la Tabla 4.



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

Universidad del Perú, DECANA DE AMÉRICA

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

Tabla 4. Cuantificación de las principales fases presentes en la muestra analizada.

MUESTRA	FASE	%W
M2017-038-003	Quartz (SiO ₂)	49.06
	Albite (Na(AlSi ₃ O ₈))	14.26
	Anorthite (Ca(Al ₂ Si ₂ O ₈))	8.10
	Orthoclase (KAlSi ₃ O ₈)	27.22
	Ankerite (Ca(Fe ⁺² .Mg)(CO ₃) ₂)	0.80
	Hematite (Fe ₂ O ₃)	0.12
	Muscovite (KAl ₂ 20(Si ₃ Al) _{0.975} O ₁₀ ((OH) _{1.72} O _{0.21}))	0.25
Kaolinite (Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄)	0.19	

Asimismo, al comparar el difractograma de la muestra codificada como "M2017-038-004" (véase la Figura 4) con los difractogramas de la base de datos ICDD-2007, y considerando la información proporcionada por la solicitante, se identificaron principalmente las fases Quartz (SiO₂), Albite (Na(AlSi₃O₈)), Anorthite (Ca(Al₂Si₂O₈)), Orthoclase (KAlSi₃O₈), Ankerite (Ca(Fe⁺².Mg)(CO₃)₂), Hematite (Fe₂O₃), Muscovite (KAl₂20(Si₃Al)_{0.975}O₁₀((OH)_{1.72}O_{0.21})), Kaolinite (Al₂Si₂O₅(OH)₄). Las fichas JCPDS-PDF asociadas a estas fases son 03-046-1045, 01-078-1995, 01-075-1587, 00-031-0966, 00-041-0586, 00-033-0664, 01-059-5401 y 00-014-0164 respectivamente (véase la Figura 15). Asimismo, para estimar y verificar el porcentaje en peso (%W) de las principales fases identificadas, se utilizó el método Rietveld; donde dicho valor se observa en la Tabla 5.

Tabla 5. Cuantificación de las principales fases presentes en la muestra analizada.

MUESTRA	FASE	%W
M2017-038-004	Quartz (SiO ₂)	49.90
	Albite (Na(AlSi ₃ O ₈))	14.30
	Anorthite (Ca(Al ₂ Si ₂ O ₈))	5.21
	Orthoclase (KAlSi ₃ O ₈)	29.21
	Ankerite (Ca(Fe ⁺² .Mg)(CO ₃) ₂)	0.90
	Hematite (Fe ₂ O ₃)	0.10
	Muscovite (KAl ₂ 20(Si ₃ Al) _{0.975} O ₁₀ ((OH) _{1.72} O _{0.21}))	0.21
Kaolinite (Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄)	0.17	



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

Universidad del Perú, DECANA DE AMÉRICA

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

También, al comparar el difractograma de la muestra codificada como "M2017-038-005" (véase la Figura 5) con los difractogramas de la base de datos ICDD-2007, y considerando la información proporcionada por la solicitante, se identificaron principalmente las fases *Quartz* (SiO_2), *Albite* ($\text{Na(AlSi}_3\text{O}_8)$), *Anorthite* ($\text{Ca(Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8)$), *Orthoclase* (KAlSi_3O_8), *Ankerite* ($\text{Ca(Fe}^{+2},\text{Mg)(CO}_3)_2$), *Hematite* (Fe_2O_3), *Muscovite* ($\text{KAl}_2\text{Si}_2\text{(Al)}_{0.975}\text{O}_{10}(\text{OH})_{1.75}\text{O}_{0.25}$), *Kaolinite* ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$). Las fichas JCPDS-PDF asociadas a estas fases son 00-046-1045, 01-078-1995, 01-075-1587, 00-031-0966, 00-041-0586, 00-033-0664, 01-089-5401 y 00-014-0164 respectivamente (véase la Figura 16). Asimismo, para estimar y verificar el porcentaje en peso (%P) de las principales fases identificadas, se utilizó el método Rietveld; donde dicho valor se observa en la Tabla 6.

Tabla 6. Cuantificación de las principales fases presentes en la muestra analizada.

MUESTRA	FASE	%P
M2017-038-005	<i>Quartz</i> (SiO_2)	50.12
	<i>Albite</i> ($\text{Na(AlSi}_3\text{O}_8)$)	15.14
	<i>Anorthite</i> ($\text{Ca(Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8)$)	6.00
	<i>Orthoclase</i> (KAlSi_3O_8)	27.22
	<i>Ankerite</i> ($\text{Ca(Fe}^{+2},\text{Mg)(CO}_3)_2$)	1.10
	<i>Hematite</i> (Fe_2O_3)	0.09
	<i>Muscovite</i> ($\text{KAl}_2\text{Si}_2\text{(Al)}_{0.975}\text{O}_{10}(\text{OH})_{1.75}\text{O}_{0.25}$)	0.19
	<i>Kaolinite</i> ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$)	0.14

Además, al comparar el difractograma de la muestra codificada como "M2017-038-006" (véase la Figura 6) con los difractogramas de la base de datos ICDD-2007, y considerando la información proporcionada por la solicitante, se identificaron principalmente las fases *Quartz* (SiO_2), *Albite* ($\text{Na(AlSi}_3\text{O}_8)$), *Anorthite* ($\text{Ca(Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8)$), *Orthoclase* (KAlSi_3O_8), *Ankerite* ($\text{Ca(Fe}^{+2},\text{Mg)(CO}_3)_2$), *Hematite* (Fe_2O_3), *Muscovite* ($\text{KAl}_2\text{Si}_2\text{(Al)}_{0.975}\text{O}_{10}(\text{OH})_{1.75}\text{O}_{0.25}$), *Kaolinite* ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$). Las fichas JCPDS-PDF asociadas a estas fases son 00-046-1045, 01-078-1995, 01-075-1587, 00-031-0966, 00-041-0586, 00-033-0664, 01-089-5401 y 00-014-0164 respectivamente (véase la Figura 17). Asimismo, para estimar y verificar el porcentaje en peso (%P) de las principales fases identificadas, se utilizó el método Rietveld; donde dicho valor se observa en la Tabla 7.



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

Universidad del Perú, DECANA DE AMÉRICA

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

Tabla 7. Cuantificación de las principales fases presentes en la muestra analizada.

MUESTRA	FASE	%W
M2017-038-006	Quartz (SiO ₂)	50.27
	Albite (Na(AlSi ₃ O ₈))	13.20
	Anorthite (Ca(Al ₂ Si ₂ O ₈))	6.51
	Orthoclase (KAlSi ₃ O ₈)	28.60
	Ankerite (Ca(Fe ⁺² .Mg)(CO ₃) ₂)	3.10
	Hematite (Fe ₂ O ₃)	0.07
	Muscovite (KAl _{2.25} (Si ₃ Al) _{0.975} O ₁₀ ((OH) _{1.71} O _{0.29}))	0.15
	Kaolinite (Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄)	0.10

Además, al comparar el difractograma de la muestra codificada como "M2017-038-007" (véase la Figura 7) con los difractogramas de la base de datos ICDD-2007, y considerando la información proporcionada por la solicitante, se identificaron principalmente las fases Quartz (SiO₂), Albite (Na(AlSi₃O₈)), Anorthite (Ca(Al₂Si₂O₈)), Orthoclase (KAlSi₃O₈), Ankerite (Ca(Fe⁺².Mg)(CO₃)₂), Hematite (Fe₂O₃), Muscovite (KAl_{2.25}(Si₃Al)_{0.975}O₁₀((OH)_{1.71}O_{0.29})), Kaolinite (Al₂Si₂O₅(OH)₄). Las fichas JCPDS-PDF asociadas a estas fases son 00-046-1045, 01-078-1995, 01-075-1587, 00-031-0966, 00-041-0586, 00-033-0664, 01-089-5401 y 00-014-0164 respectivamente (véase la Figura 8). Asimismo, para estimar y verificar el porcentaje en peso (%W) de las principales fases identificadas, se utilizó el método Rietveld; donde dicho valor se observa en la Tabla 8.

Tabla 8. Cuantificación de las principales fases presentes en la muestra analizada.

MUESTRA	FASE	%W
M2017-038-007	Quartz (SiO ₂)	47.24
	Albite (Na(AlSi ₃ O ₈))	16.21
	Anorthite (Ca(Al ₂ Si ₂ O ₈))	5.10
	Orthoclase (KAlSi ₃ O ₈)	29.80
	Ankerite (Ca(Fe ⁺² .Mg)(CO ₃) ₂)	1.40
	Hematite (Fe ₂ O ₃)	0.05
	Muscovite (KAl _{2.25} (Si ₃ Al) _{0.975} O ₁₀ ((OH) _{1.71} O _{0.29}))	0.12
	Kaolinite (Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄)	0.08



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

Universidad del Perú, DECANA DE AMÉRICA

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

Además, al comparar el difractograma de la muestra codificada como "M2017-038-008" (véase la Figura 8) con los difractogramas de la base de datos ICDD-2007, y considerando la información proporcionada por la solicitante, se identificaron principalmente las fases *Quartz* (SiO_2), *Albite* ($\text{Na(AlSi}_3\text{O}_8)$), *Anorthite* ($\text{Ca(Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8)$), *Orthoclase* (KAlSi_3O_8), *Ankerite* ($\text{Ca(Fe}^{+2}\text{,Mg)(CO}_3)_2$), *Hematite* (Fe_2O_3), *Muscovite* ($\text{KA}_{1.20}\text{(Si}_3\text{Al)}_{0.573}\text{O}_{10}\text{((OH)}_{1.72}\text{O}_{0.28})$), *Kaolinite* ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5\text{(OH)}_4$). Las fichas JCPDS-PDF asociadas a estas fases son 00-046-1045, 01-078-1995, 01-075-1587, 00-031-0966, 00-041-0586, 00-033-0664, 01-089-5401 y 00-014-0164 respectivamente (véase la Figura 19). Asimismo, para estimar y verificar el porcentaje en peso (%W) de las principales fases identificadas, se utilizó el método Rietveld; donde dicho valor se observa en la Tabla 9.

Tabla 9. Cuantificación de las principales fases presentes en la muestra analizada.

MUESTRA	FASE	%W
M2017-038-008	<i>Quartz</i> (SiO_2)	50.07
	<i>Albite</i> ($\text{Na(AlSi}_3\text{O}_8)$)	15.35
	<i>Anorthite</i> ($\text{Ca(Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8)$)	5.70
	<i>Orthoclase</i> (KAlSi_3O_8)	27.46
	<i>Ankerite</i> ($\text{Ca(Fe}^{+2}\text{,Mg)(CO}_3)_2$)	1.20
	<i>Hematite</i> (Fe_2O_3)	0.04
	<i>Muscovite</i> ($\text{KA}_{1.20}\text{(Si}_3\text{Al)}_{0.573}\text{O}_{10}\text{((OH)}_{1.72}\text{O}_{0.28})$)	0.11
	<i>Kaolinite</i> ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5\text{(OH)}_4$)	0.07

Además, al comparar el difractograma de la muestra codificada como "M2017-028-009" (véase la Figura 9) con los difractogramas de la base de datos ICDD-2007, y considerando la información proporcionada por la solicitante, se identificaron principalmente las fases *Quartz* (SiO_2), *Albite* ($\text{Na(AlSi}_3\text{O}_8)$), *Anorthite* ($\text{Ca(Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8)$), *Orthoclase* (KAlSi_3O_8), *Ankerite* ($\text{Ca(Fe}^{+2}\text{,Mg)(CO}_3)_2$), *Hematite* (Fe_2O_3), *Muscovite* ($\text{KA}_{1.20}\text{(Si}_3\text{Al)}_{0.573}\text{O}_{10}\text{((OH)}_{1.72}\text{O}_{0.28})$), *Kaolinite* ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5\text{(OH)}_4$). Las fichas JCPDS-PDF asociadas a estas fases son 00-046-1045, 01-078-1995, 01-075-1587, 00-031-0966, 00-041-0586, 00-033-0664, 01-089-5401 y 00-014-0164 respectivamente (véase la Figura 20). Asimismo, para estimar y verificar el porcentaje en peso (%W) de las principales fases identificadas, se utilizó el método Rietveld; donde dicho valor se observa en la Tabla 10.



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

Universidad del Perú, DECANA DE AMÉRICA

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

Tabla 10. Cuantificación de las principales fases presentes en la muestra analizada.

MUESTRA	FASE	%W
M2017-038-009	Quartz (SiO_2)	52.00
	Albite ($\text{Na}(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$)	14.21
	Anorthite ($\text{Ca}(\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8)$)	5.87
	Orthoclase (KAlSi_3O_8)	26.51
	Ankerite ($\text{Ca}(\text{Fe}^{+2}\text{Mg})(\text{CO}_3)_2$)	1.30
	Hematite (Fe_2O_3)	0.01
	Muscovite ($(\text{KAl}_2\text{Si}_2(\text{Si}_3\text{Al})_{1.975}\text{O}_{10}((\text{OH})_{1.71}\text{O}_{0.28}))$)	0.08
	Kaolinite ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$)	0.02

Finalmente, al comparar el difractograma de la muestra codificada como "M2017-038-010" (véase la Figura 10) con los difractogramas de la base de datos ICDD-2007, y considerando la información proporcionada por la solicitante, se identificaron principalmente las fases Quartz (SiO_2), Albite ($\text{Na}(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$), Anorthite ($\text{Ca}(\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8)$), Orthoclase (KAlSi_3O_8), Ankerite ($\text{Ca}(\text{Fe}^{+2}\text{Mg})(\text{CO}_3)_2$), Hematite (Fe_2O_3), Muscovite ($(\text{KAl}_2\text{Si}_2(\text{Si}_3\text{Al})_{1.975}\text{O}_{10}((\text{OH})_{1.71}\text{O}_{0.28}))$), Kaolinite ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$). Las fichas JCPDS-PDF asociadas a estas fases son 00-046-1045, 01-078-1995, 01-075-1587, 00-031-0966, 00-041-0586, 00-033-0664, 01-089-5401 y 00-014-0164 respectivamente (véase la Figura 21). Asimismo, para estimar y verificar el porcentaje en peso (%W) de las principales fases identificadas, se utilizó el método Rietveld; donde dicho valor se observa en la Tabla 11

Tabla 11. Cuantificación de las principales fases presentes en la muestra analizada.

MUESTRA	FASE	%W
M2017-038-010	Quartz (SiO_2)	41.37
	Albite ($\text{Na}(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$)	17.48
	Anorthite ($\text{Ca}(\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8)$)	6.51
	Orthoclase (KAlSi_3O_8)	29.32
	Ankerite ($\text{Ca}(\text{Fe}^{+2}\text{Mg})(\text{CO}_3)_2$)	2.35
	Hematite (Fe_2O_3)	0.51
	Muscovite ($(\text{KAl}_2\text{Si}_2(\text{Si}_3\text{Al})_{1.975}\text{O}_{10}((\text{OH})_{1.71}\text{O}_{0.28}))$)	1.64
	Kaolinite ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$)	0.82



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

Universidad del Perú, DECANA DE AMÉRICA

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

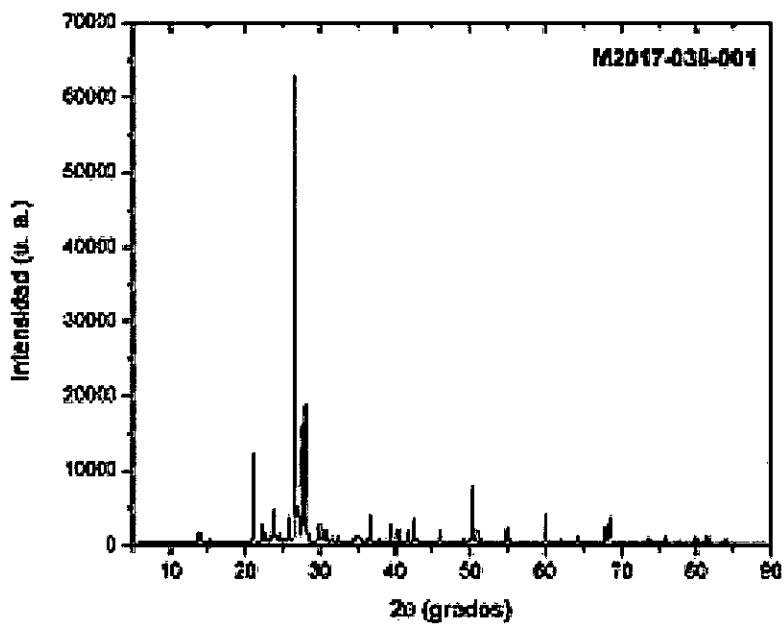


Figura 1. Difractograma de la muestra codificada como "M2017-038-001".

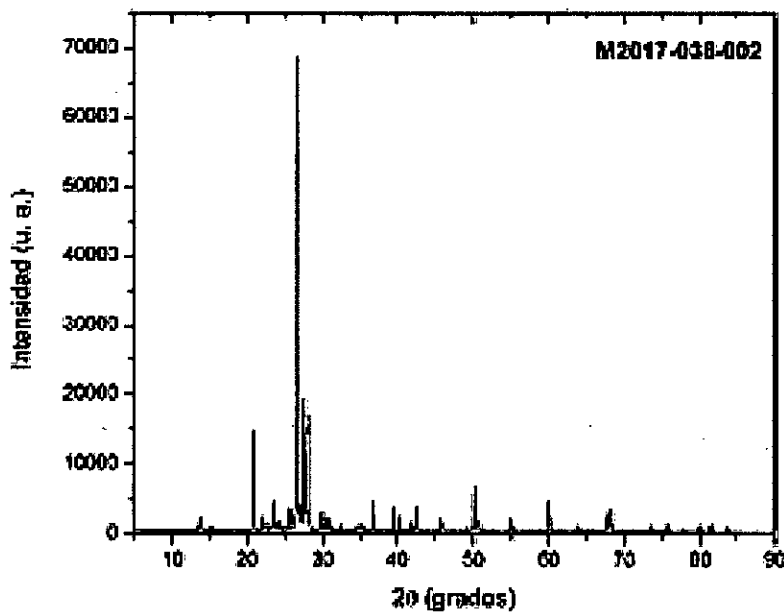


Figura 2. Difractograma de la muestra codificada como "M2017-038-002".



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

Universidad del Perú, DECANA DE AMÉRICA

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

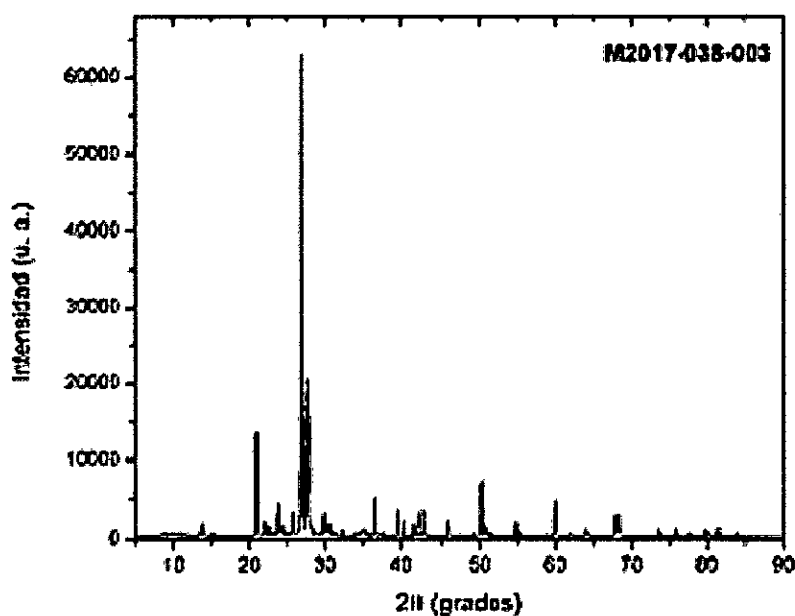


Figura 3. Difractogram de la muestra codificada como "M2017-038-003".

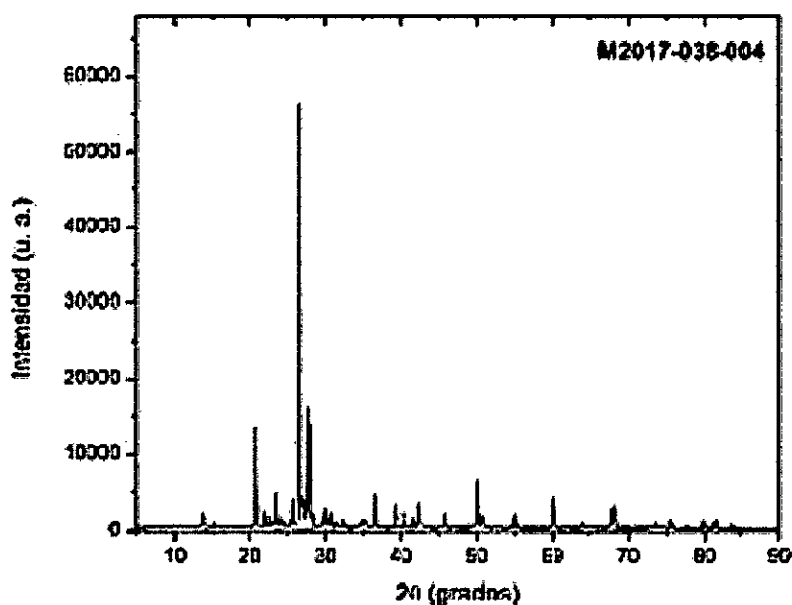


Figura 4. Difractogram de la muestra codificada como "M2017-038-004".



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

Universidad del Perú, DECANATO DE AMÉRICA

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

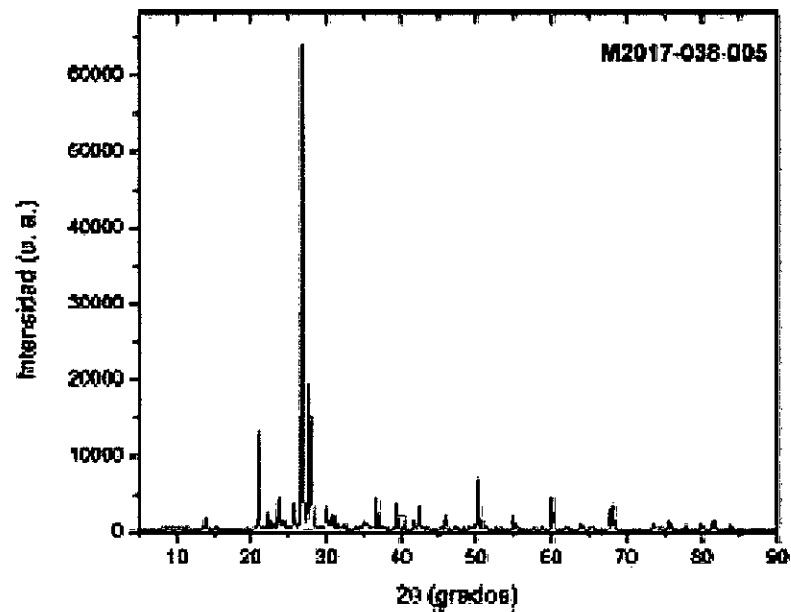


Figura 5. Difractograma de la muestra codificada como "M2017-038-005".

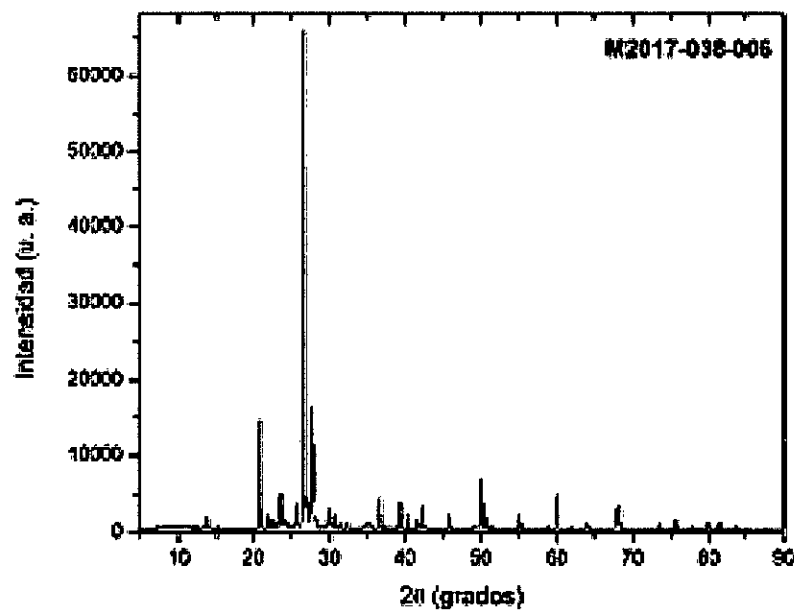


Figura 6. Difractograma de la muestra codificada como "M2017-038-006".



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

Universidad del Perú, DECANA DE AMÉRICA

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

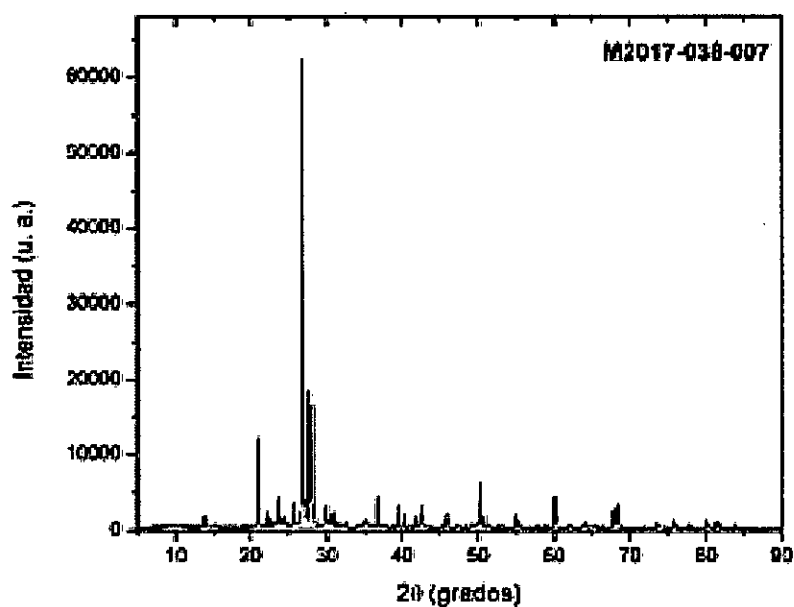


Figura 7. Diffractograma de la muestra codificada como "M2017-038-007".

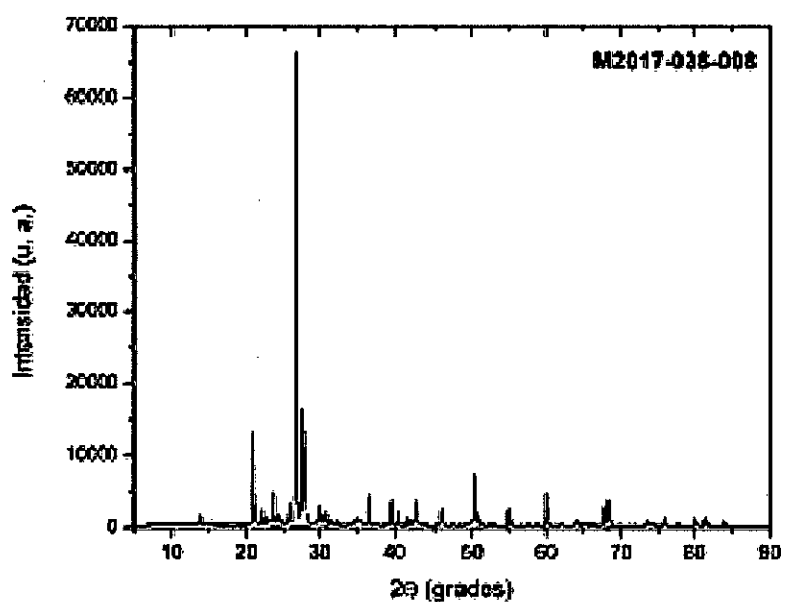


Figura 8. Diffractograma de la muestra codificada como "M2017-038-008".



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

Universidad del Perú, DECANA DE AMÉRICA

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

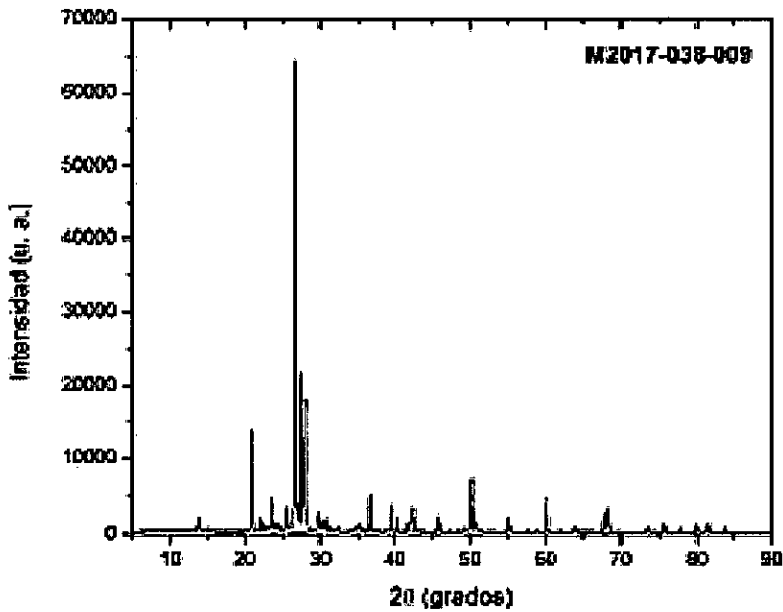


Figura 9. Difractograma de la muestra codificada como "M2017-038-009".

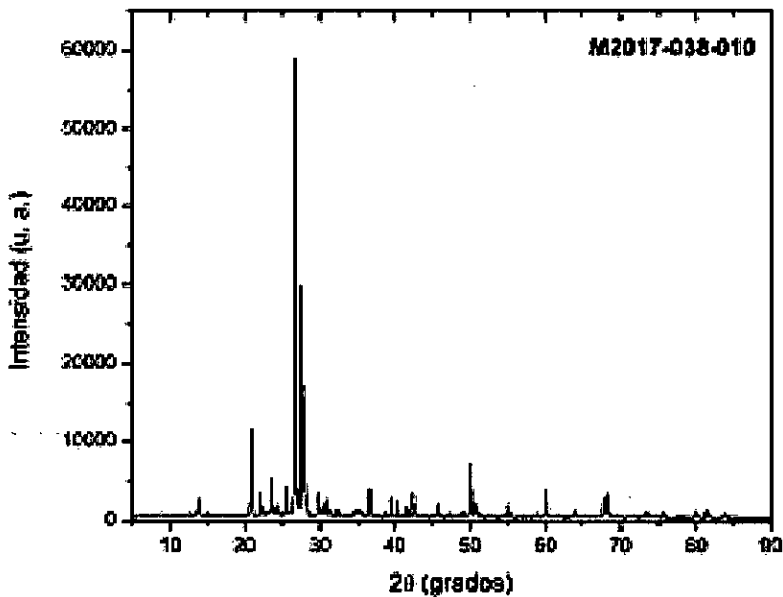


Figura 10. Difractograma de la muestra codificada como "M2017-038-010".



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

Universidad del Perú, DECANA DE AMÉRICA

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

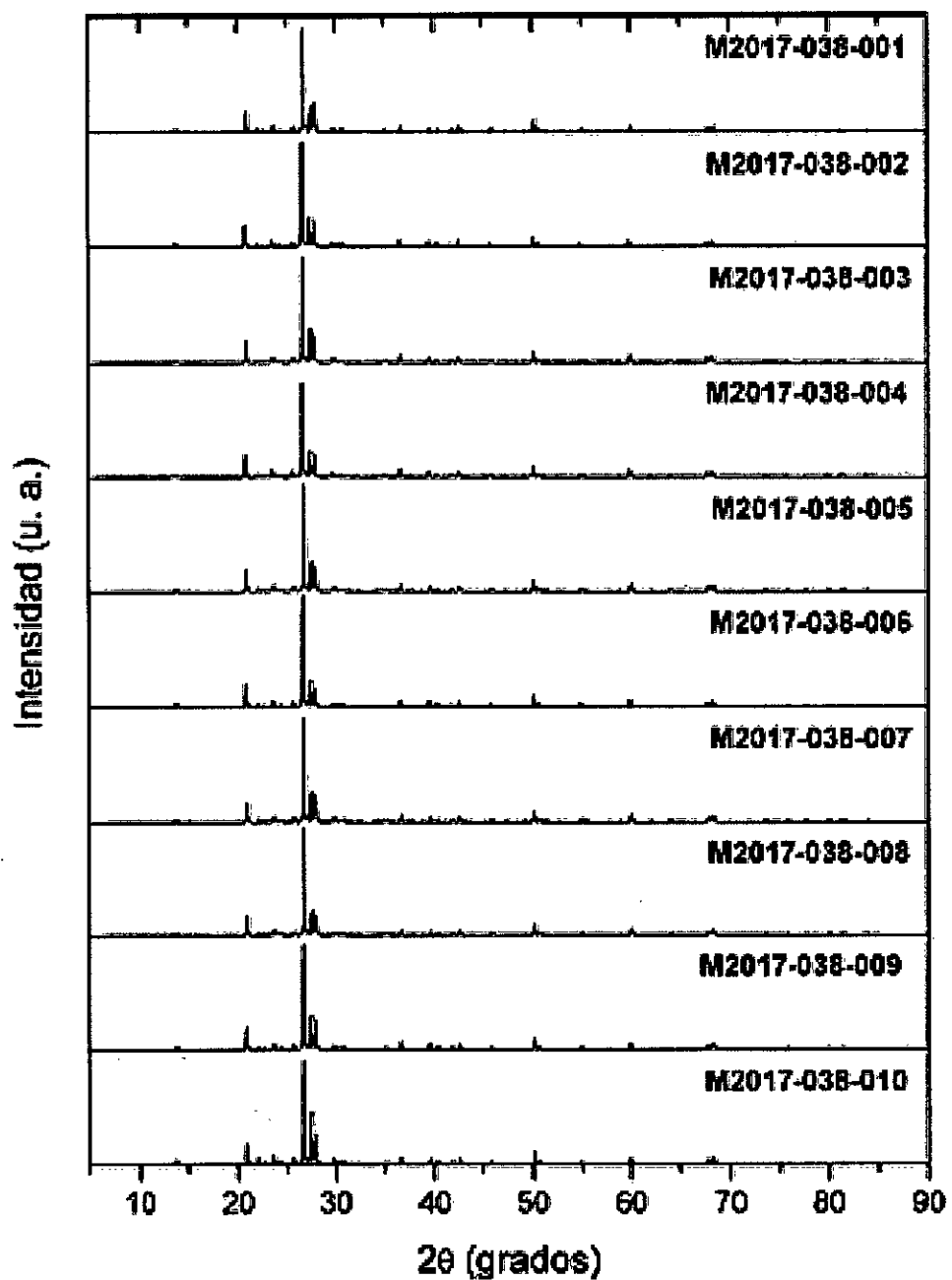


Figura 11. Comparación de los difractogramas de las muestras analizadas.

ANEXO III: DETERMINACION DE LA COMPOSICION QUÍMICA DEL MINERAL

Una de las formas de determinar la composición química de un mineral a partir de su composición mineralógica, es a través de un balance de materia elemental usando las fórmulas químicas de cada componente presente en la muestra analizada, de acuerdo a los análisis de difracción de rayos X, la muestra inicial está conformada de los siguientes componentes mineralógicos identificados en el cuadro N°01 y tomando datos de la tabla periódica, fueron calculadas los pesos formula de cada componente.

**CUADRO N° A.1
COMPONENTES PRESENTES EN EL MINERAL**

Mineral	Formula Química	Peso Formula
Cuarzo	SiO ₂	60.083
Albita	Na(AlSi ₃ O ₈)	262.219
Anortita	Ca(Al ₂ Si ₂ O ₈)	278.204
Ortosa	KAlSi ₃ O ₈	278.327
Ankerita	Ca(Fe ⁺² ,Mg)(CO ₃) ₂	206.39
Hematita	Fe ₂ O ₃	159.687
Muscovita	KAl _{2.20} (Si ₃ Al) _{0.975} O ₁₀ ((OH) _{1.72} O _{0.28})	398.71
Caolinita	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄	258.157

Fuente: Elaboración propia

La composición química se expresa en forma de óxidos de cada elemento metálico, para esta determinación se identifican los componentes donde se encuentra presente este elemento y usando la ecuación (A) se obtiene su porcentaje.

$$\%MO = PF_{MO} \times \sum \frac{C_{M_i}}{PF_{M_i}} \quad (A)$$

Donde:

$\%MO$ = Porcentaje del elemento metálico

PF_{MO} = Peso Formula del óxido del elemento metálico

C_M = Concentración del mineral donde está presente el metal

PF_M = Peso Formula de mineral donde está presente el metal

Como ejemplo, se muestra la composición del sodio presente en este mineral, expresado como óxido de sodio (peso fórmula: 61.979g/mol), para este caso el único componente donde se encuentra este elemento es la albita, si la muestra contiene 17.48%, reemplazando en la ecuación (A):

$$\%Na_2O = 61.979g/mol \times \frac{17.48\%}{262.219g/mol}$$

$$\%Na_2O = 4.13\%$$

Un caso más complejo es la del silicio, que se encuentra en varios componentes de este mineral: cuarzo, albita, anortita, ortoclasa, moscovita, caolinita. En el caso del hierro se considera como Fe^{+3} , cuyo único componente es la hematita.