

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA MINERA Y METALURGICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA METALURGICA



**EVALUACION DE ÓXIDO DE HIERRO EN MINERAL
ANDALUCITA POR SEPARACION MAGNETICA**

INFORME DE SUFICIENCIA
PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO
METALURGISTA

PRESENTADO POR:
VICTOR MANUEL AGURTO JIMENEZ

ASESOR
DAVID MARTINEZ AGUILAR

LIMA – PERU

2013

DEDICATORIA

El trabajo presentado esta dedicado a mis padres Marco y Elizabeth. Gracias por su confianza y apoyo incondicional en el desarrollo de mi vida personal y profesional.

RESUMEN

El presente informe desarrolla el análisis realizado en la operación del circuito de Separación Magnética en la Planta de Beneficio de Andalucita (Al_2SiO_5) con el objetivo de tener conocimiento pleno del comportamiento del Fe_2O_3 en dicho circuito para un mejor control del mineral.

El contenido de Fe_2O_3 es un parámetro controlado para determinar la calidad del concentrado de Andalucita, valores elevados de este componente perjudicaría los procesos posteriores que utilizan como materia prima al mineral Andalucita.

El tema mencionado se dividirá en 4 capítulos; el primer capítulo describe los objetivos específicos y su justificación; el segundo capítulo describe las características y aplicaciones del mineral andalucita; el tercer capítulo describe el proceso de beneficio del mineral andalucita; el cuarto capítulo desarrolla el estudio realizado en el circuito de separación magnética, área donde se alcanzan las especificaciones finales para la comercialización del concentrado de Andalucita.

ABSTRACT

The following work describes the studies made at Magnetic Separation Circuit in order to have a better control of iron oxide (Fe_2O_3).

The amount of Iron Oxide is controlled because this substance is considered contaminating for future process that uses Andalusite ore as raw material.

This topic contains four chapters; the chapter number one describes the specific objectives; chapter number two develops the properties and principal usage of Andalusite; chapter number three describes the whole process of Andalusite Process Plant; finally chapter number four will show the entire evaluation of magnetic separation circuit, in this circuit final specific products are obtained for commercialization of the Andalusite Concentrate.

INDICE

	Pág.
INTRODUCCIÓN	9
CAPITULO I	12
ASPECTOS GENERALES	12
1.1 Objetivo General	12
1.2 Justificación	12
CAPITULO II	13
MINERAL ANDALUCITA	13
2.1 Mineral Andalucita	13
2.2 Propiedades Físicas	13
2.3 Composición y estructura	15
2.4 Diagnóstico	15
2.5 Alteración	15
2.6 Yacimiento	15
2.6 Principales Usos	17
2.6.1 Refractario de alta alúmina	18
CAPITULO III	13
PLANTA DE BENEFICIO ANDALUCITA	13
3.1 Ubicación y accesos	13
3.2 Tamizado (Área 08)	22
3.3 Chancado (Área 01)	23
3.4 Concentración por medio denso (Área 02)	24
3.4.1 Recuperación de Fe-Si	25
3.5 Atricción (Área 03)	25
3.6 Secador –Enfriador (Área 04)	25
3.7 Circuito de Separación Magnética (Área 05)	26
3.8 Tratamiento de Efluentes (Área 06)	26
CAPITULO IV	23
EVALUACIÓN DEL PROCESO DE CONCENTRACION MAGNETICA	23
4.1 Rodillos Magnéticos	23
4.2 Muestreo	28
4.3 Preparación de Muestras	29

	Pág
4.4 Análisis por Fluorescencia de Rayos X (XRF) _____	31
4.5 Distribución de tamaño de partícula _____	31
4.5.1 Análisis Granulométrico del Circuito 1A (05-MPR-01) _____	31
4.5.2 Análisis Granulométrico del Circuito 1B (05-MPR-02) _____	33
4.5.3 Análisis Granulométrico del Circuito 2 (05-MPR-03) _____	36
4.6 Análisis Valorado de los Circuitos 1A y 1B _____	39
4.6.1 Alimentación _____	39
4.6.2 Producto No Magnético del Rodillo ‘A’ _____	40
4.6.3 Producto Magnético del Rodillo ‘A’ _____	42
4.6.4 Producto No Magnético del Rodillo ‘B’ _____	44
4.6.5 Producto Magnético del Rodillo ‘B’ _____	45
4.6.6 Producto No Magnético del Rodillo ‘C’ _____	46
4.6.7 Análisis Valorado Circuito 2 _____	47
4.7 Balance de Masa de los Equipos de Separación Magnética _____	50
4.7.1 Balance del Circuito 1A _____	50
4.7.2 Balance del Circuito 1B _____	52
4.7.3 Balance del Circuito 2 _____	54
4.7.4 Balance de los Circuitos 1A y 1B Corregidos _____	56
4.7.5 Balance del Circuito 2 Corregido _____	57
4.8 Balance de Masa del Circuito de Separación Magnética _____	57
4.9 Retiro del Producto Magnético del Rodillo ‘A’ de ambos circuitos 1A y 1B _____	58
CONCLUSIONES _____	60
BIBLIOGRAFIA _____	63
ANEXOS	

INDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 2.1 Polimorfos de Al_2SiO_5 _____	17
Figura 2.2 Diagrama de Equilibrio Fe_2O_3 - Al_2O_3 _____	21
Figura 4.1 Muestreo de Rodillos Magnéticos _____	30
Figura 4.2 Preparación de Muestra _____	31
Figura 4.3 Productos del Circuito 1A _____	34
Figura 4.4 Productos del Circuito 1B _____	36
Figura 4.5 Productos del Circuito 2 _____	39
Figura 4.6 Balance del Circuito 1A _____	53
Figura 4.7 Balance del Circuito 1B _____	54
Figura 4.8 Balance del Circuito 2 _____	56
Figura 4.9 Balance Corregido 1A y 1B _____	57
Figura 4.10 Balance Corregido del Circuito 2 _____	58

INDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 3.1 Acceso a la Unidad _____	23
Tabla 4.1 Análisis Granulométrico del Circuito 1A _____	33
Tabla 4.2 Análisis Granulométrico del Circuito 1B _____	35
Tabla 4.3 Análisis Granulométrico del Circuito 2 _____	38
Tabla 4.4 Análisis Valorado Circuitos 1A y 1B _____	41
Tabla 4.5 Análisis Valorado No Magnético Rodillo “A” _____	43
Tabla 4.6 Análisis Valorado Magnético Rodillo “A” _____	44
Tabla 4.7 Análisis Valorado No Magnético Rodillo “B” _____	46
Tabla 4.8 Análisis Valorado Magnético Rodillo “B” _____	47
Tabla 4.9 Análisis Valorado No Magnético Rodillo “C” _____	48
Tabla 4.10 Productos Rodillo “A” Circuito 2 _____	49
Tabla 4.11 Productos Rodillo “B” Circuito 2 _____	50
Tabla 4.12 Rodillo “C” Circuito 2 _____	51
Tabla 4.13 Balance de Masa del Circuito de Separación Magnética _____	59
Tabla 4.14 Balance luego del retiro del Producto Magnético _____	60

Abreviaturas

Abreviatura:	Significado:
Mag.	Magnético
MPR	Rodillo Magnético Permanente
XRF	Fluorescencia de Rayos X
%W	Porcentaje en Peso
TPH	Toneladas por hora
CVR	Faja Transportadora
CRU	Chancadora
BGH	Polvo de Bag House
PMP	Bomba
SCR	Zaranda
FDR	Alimentador
PT	Transmisor de Presión
LIT	Indicador Transmisor de Presión
BIN	Tolva
CHU	Chute
STK	Stock Pile
DSU	Supresor de Polvos
TNK	Tanque
AGT	Agitador
FAN	Ventilador

INTRODUCCIÓN

El mineral andalucita se encuentra dentro del grupo de los Nesosilicatos, de fórmula química Al_2SiO_5 de estructura cristalina ortorrómbica, posee dureza 7.5 en la escala de Mohs, vítreo y de color variable (castaño, violeta, rosa, etc.).

Una de las principales características de este mineral es la capacidad de mantenerse estable al ser expuesto a altas temperaturas sin sufrir alteraciones físicas o químicas, debido a esta propiedad la Andalucita es considerada un mineral Refractario cuya principal aplicación se da en la elaboración de ladrillos refractarios utilizados en siderúrgicas, hornos, etc.

El procesamiento del mineral andalucita empieza por la etapa de clasificación donde se eliminarán las partículas gruesas (+12.5mm) y finas (-0.63mm), en el área de reducción de tamaño se cuenta con una chancadora de impacto que utiliza el choque entre partículas como mecanismo para generar la fractura del mineral, el producto final de esta etapa será de tamaño -4mm que servirá de alimento para la etapa posterior de concentración.

La concentración de andalucita es posible mediante el uso del circuito de separación por medio denso (DMS), utilizando como medio el material Ferro-Silicio (Fe-Si) de alta gravedad específica (7 g/cm^3), el producto valioso (concentrado de andalucita) obtenido en la etapa DMS es atriccionado para disminuir la cantidad de Fe_2O_3 presente en dicho producto.

Posteriormente se tiene el área de secado que dejara el material en condición adecuada (humedad $<1\%$) para las áreas de separación magnética y embolsado.

En el circuito de Separación Magnética se realizaran los estudios y determinaciones necesarias que permitirán mejorar la operación en dicha área en términos de: manejo de material contaminante (alto contenido de $\text{Fe}_2\text{O}_3 >0.83\%$).

En la planta de beneficio se obtienen dos tipos de concentrado diferenciados por las especificaciones: tamaño de grano, contenido de alúmina, contenido de Fe_2O_3 . El contenido de Fe_2O_3 es específico para cada producto.

El control de Fe_2O_3 deberá ser riguroso ya que en la fabricación de ladrillo refractario (principal uso de la andalucita) el excesivo contenido de Fe_2O_3 origina que el ladrillo pierda propiedades refractarias bajando su punto de fusión debido al alto contenido de este componente.

CAPITULO I

ASPECTOS GENERALES

1.1 Objetivo General

Se busca establecer parámetros de operación que nos permitan obtener un concentrado de Andalucita que cumpla con todos los requerimientos necesarios que garanticen la calidad de este producto, una de las etapas finales para el beneficio de este mineral es el área de separación magnética en la cual se cuenta con rodillos magnéticos (6) para la eliminación de Fe_2O_3 que es considerado un elemento contaminante par este producto. Se analizaran los flujos obtenidos en cada rodillo magnético (rodillo magnético de tierras raras).

El Circuito de Separación Magnética está dispuesto de tal forma que el producto rechazado (alto contenido de Fe_2O_3) en la producción de Premium Grueso sirve de alimento para la generación de Premium Fino, esta forma de operar se ha considerado “normal” desde el inicio de la operación (2009) hasta la actualidad, en dicho circuito se cuenta con rodillos magnéticos operando en paralelo (2 series de 3), se caracterizo cada producto obtenido en los 6 rodillos magnéticos, del análisis de los rodillos magnéticos se obtuvo la información necesaria para sugerir cambios que

podrían mejorar la operación del circuito, cambios como: remoción de flujo contaminante (alto contenido de Fe_2O_3 y bajos valores de Alúmina) para mejorar las características de los sub productos generados en la obtención del concentrado de andalucita y la posibilidad de modificar la disposición de los rodillos magnéticos los cuales según resultados no están siendo utilizados de forma eficiente.

1.2 Justificación

El contenido de Fe_2O_3 , la granulometría del mineral, el contenido de alúmina y el % humedad son especificaciones controladas para determinar la calidad del concentrado.

El concentrado de andalucita deberá cumplir con los valores establecidos para todas las especificaciones antes mencionadas, caso contrario el producto final embolsado será rechazado.

En el presente informe se tratara exclusivamente del control de Fe_2O_3 realizado en el circuito de separación magnética. Los análisis realizados nos proporcionaran la información necesaria para tener un mejor control de la operación del circuito que dará como resultado incrementar la eficiencia del circuito, minimizando la cantidad de productos rechazados y elevando la calidad de los productos y sub productos generados en la obtención del concentrado de andalucita.

Adicionalmente es importante mencionar que los datos obtenidos de la evaluación del circuito de separación magnética representan un punto de partida para realizar

los estudios necesarios para la ampliación del área ya que se tiene proyectado incrementar la producción del concentrado de andalucita a corto plazo y es necesario conocer al detalle la operación de dicho circuito.

CAPITULO II

MINERAL ANDALUCITA

En el presente capítulo se describirán brevemente las principales características y aplicaciones del mineral Andalucita.

2.1 Mineral Andalucita

Dentro de la clasificación sistemática de los Minerales encontramos el grupo Al_2SiO_5 , este grupo está compuesto por tres polimorfos: Sillimanita, Cianita y Andalucita.

Los tres minerales pueden encontrarse en rocas aluminicas metamórficas, tales como esquistos pelíticos. La andalucita se encuentra frecuentemente en aureolas metamórficas de contacto.

La andalucita posee estructura cristalina ortorrómbica ($a=7.78$, $b=7.92$, $c=5.57\text{Å}$).

2.2 Propiedades Físicas

Exfoliación buena $\{110\}$, dureza 7.5, gravedad específica 3.2, brillo vítreo. Color

rojo, castaño rojizo, verde oliva. La variedad Quiastolita tiene inclusiones carbonosas de color oscuro, dispuestas en forma regular y formando un dibujo cruciforme. De transparente a translucido. En algunos cristales pleocroísmo fuerte X rojo, Y y Z verde a incoloro.

2.3 Composición y estructura

Al_2O_3 63.2%, SiO_2 36.8%. La estructura consta de octaedros AlO_6 paralelos al eje c enlazados en cruz con tetraedros SiO_4 y poliedros AlO_5 .

2.4 Diagnóstico

Se caracteriza por el prisma casi cuadrado y por su dureza. La quiastolita se reconoce rápidamente por las inclusiones dispuestas simétricamente.

2.5 Alteración

Pseudomorfosis común de muscovita de grano fino (sericita).

2.6 Yacimiento

La Andalucita (Al_2SiO_5) se forma típicamente en las aureolas de contacto de intrusiones ígneas en rocas arcillosas. Allí coexiste comúnmente con la cordierita.

Puede encontrarse en asociación con la cianita, Sillimanita, o con ambas a la vez, en terrenos metamórficos regionales.

Estos yacimientos pueden reflejar variaciones de P y T durante el metamorfismo, así como la inactividad del sistema Al_2SiO_5 .

El diagrama de estabilidad del grupo Al_2SiO_5 mostrado en la Figura 2.1 fue obtenido del Manual de Mineralogía Cuarta Edición de J.D. Dana, Mineralogía Sistemática, Parte IV Silicatos, pág. 506.

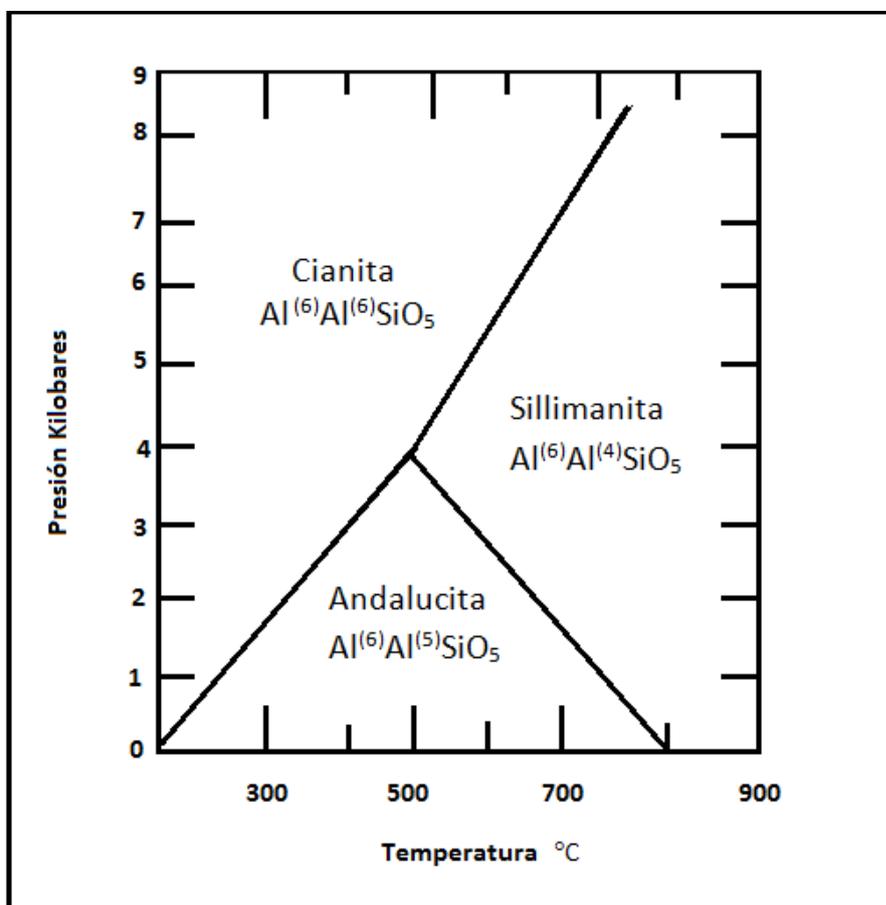


Figura 2.1 Polimorfos de Al_2SiO_5

Campos de Estabilidad determinados Experimentalmente para los polimorfos del Al_2SiO_5 . (Según Holdaway, M. J. 1971, Stability of Andalusite and the

aluminium silicate stability diagram, Amer. Jour. Of Science, vol. 271, págs. 97 - 131; vease tambien Orthosilicates, Reviews in Mineralogy, 1980. Mineralogical Society of America, Washington, D.C. , pag. 190.)

2.6 Principales Usos

Los materiales refractarios tienen propiedades específicas, son sometidos a distintos tipos de pruebas y controles de calidad con la finalidad de asegurar el buen desempeño de dichos materiales. Mencionaremos las principales propiedades de los Materiales Refractarios descritas en el Handbook of Refractory Practice, Harbison Walker 2005.

- Propiedades Físicas a temperatura ambiente
- Propiedades Físicas a altas temperaturas
- Cambios de Dimensión
- Fluencia y expansión térmica
- Transmisión de Calor
- Spalling (Fragmentación por esfuerzo)
- Reactividad ante escoria
- Composición Mineral

De las propiedades mencionadas anteriormente es importante señalar brevemente características como: resistencia al choque térmico, bajo coeficiente de dilatación térmica, bajo coeficiente de conducción térmica, comportamiento inerte ante escorias, efecto del contenido de impurezas, etc.

La calidad del material refractario dependerá de estas propiedades. La descripción detallada de cada una de estas propiedades se encuentra en el Handbook of Refractory Practice, Harbison Walker 2005.

Los minerales comúnmente utilizados en la fabricación de productos refractarios son los siguientes:

- Sílice
- Magnesita
- Andalucita
- Cromita, entre otros.

El mineral andalucita se utiliza principalmente en la fabricación de ladrillos refractarios, castables, crisoles, losetas, entre otros.

De la clasificación realizada en el Handbook of Refractory Practice, Harbison Walker 2005 se obtiene la definición de los ladrillos refractarios de alta alúmina.

2.6.1 Refractario de alta alúmina

El termino ladrillo refractario de alta alúmina se aplica a aquellos refractarios que poseen como mínimo 47.5% de alúmina en su composición. Estos ladrillos se distinguen de aquellos que son elaborados predominantemente con arcillas u otros alumino-silicatos cuyo contenido de alúmina es inferior a 47.5%.

Los ladrillos refractarios hechos de Mullita ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$) poseen un contenido de alúmina del 71.8% y sílice 28.2%.

Los minerales Sillimanita, Cianita y Andalucita tienen la misma composición química teóricamente $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$ que corresponde a un 62.9% de Al_2O_3 y un 37.1% de SiO_2 . La disociación de estos minerales puede obtenerse si son sometidos a altas temperaturas por un tiempo adecuado para generar la energía necesaria para alterar su estructura cristalina. Cualquiera de estos minerales puede convertirse en una combinación de dos compuestos: 88% Mullita y 12% Sílice.

La sillimanita comienza a disociarse en Mullita a 1530°C , la Cianita a 1325°C y la Andalucita a 1350°C .

Es importante mencionar que el alto contenido de TiO_2 y Fe_2O_3 en los minerales utilizados para la elaboración del refractario de alta alúmina son considerados contaminantes ya que ambos reaccionarían con la alúmina Al_2O_3 y la Sílice SiO_2 formando fases de bajo punto de fusión.

Para cualquier clase de ladrillo refractario de alta alúmina, los materiales base y sus impurezas asociadas tendrán un impacto en la calidad del producto y su comportamiento en servicio.

Una de las principales características de los ladrillos refractarios de alta alúmina es

la resistencia que ofrecen ante las escorias ácidas, en aquellas escorias altas en sílice. Compuestos básicos como: MgO, CaO, Fe, Fe₂O₃, and MnO₂, reaccionan con los ladrillos de alta alúmina particularmente los que poseen alto contenido de sílice.

La resistencia a las escorias está ligada directamente al contenido de alúmina Al₂O₃.

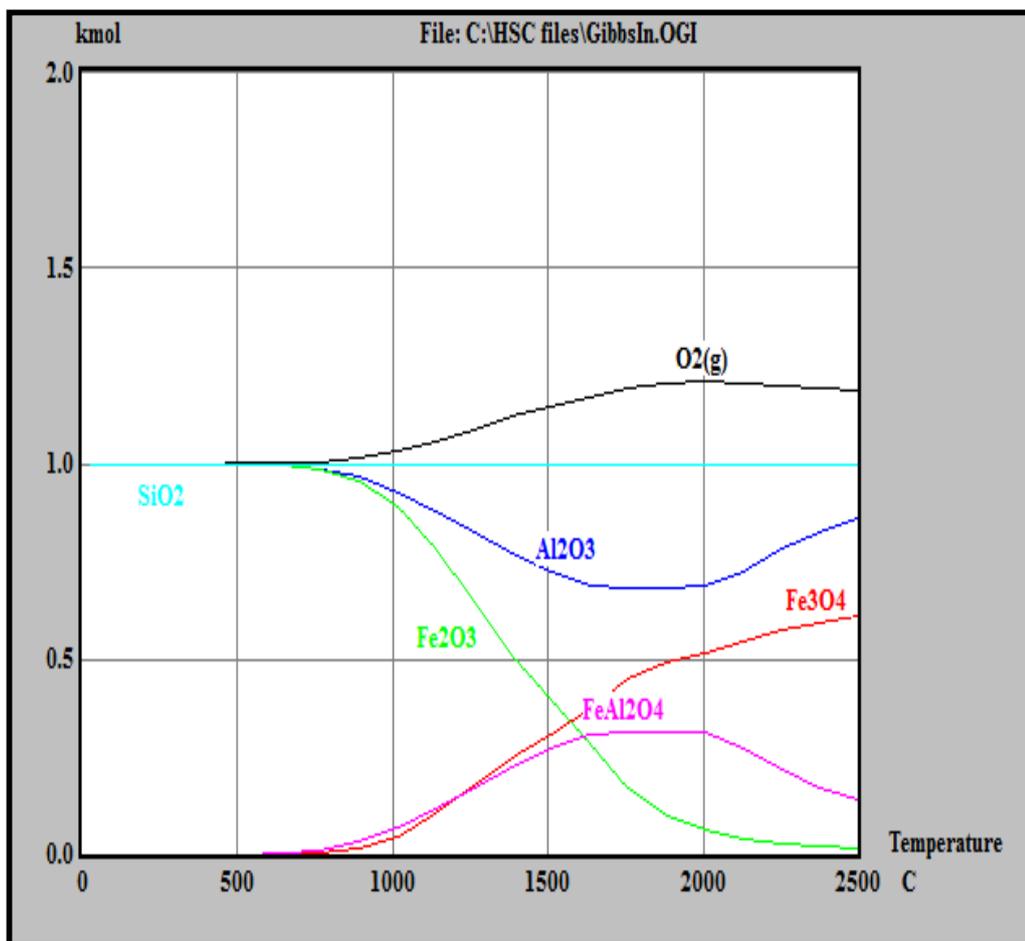


Figura 2.2 Diagrama de Equilibrio Fe₂O₃ – Al₂O₃

El diagrama mostrado en la Figura 2.2 esquematiza el comportamiento teórico de las especies Al₂O₃ y Fe₂O₃ al incrementar la temperatura.

CAPITULO III

PLANTA DE BENEFICIO ANDALUCITA

3.1 Ubicación y accesos

La unidad operativa se encuentra emplazada al Norte de la ciudad de Lima y al NW de Piura, en la jurisdicción de Paita, cuyo accesos se realiza por la ciudad de Lima a Piura de recorrido de 970Km. (Carretera Panamericana Norte) y Piura a Paita de recorrido de 50Km; de este último lugar Paita se dirige con dirección a la Mina a una distancia de 15 Km. por carretera afirmada.

La zona de explotación se encuentra alejada de cualquier centro poblado, el centro poblado más cercano es Paita.

La Planta de Procesamiento de Andalucita se ubica al este del cerro La Tortuga al sur de Paita, a una altitud de 138 m.s.n.m., ocupa una extensión de 17 500m² (175 m x 100 m); con una capacidad de tratamiento de 1,400 TMD.

Tabla 3.1 Acceso a la unidad

Tramo	Distancia (Km)	Tiempo (hrs)	Tipo de vía
Lima-Piura	970.0	16	Panamericana Norte
Piura-Paita	50.0	1	Carretera Asfaltada
Paita-Islilla	12.5	0.3	Carretera Afirmada
Islilla-Unidad	2.5	0.2	Trocha Afirmada
TOTAL	1035.0		

A continuación se describe brevemente la operación en la Planta de Beneficio del mineral andalucita.

3.2 Tamizado (Área 08)

El mineral proveniente de mina de ley promedio 10% (Hundidos) alimenta al área de clasificación (área 08), en la tolva de recepción (08-BIN-01) se realiza la primera clasificación mediante una parrilla estática de abertura 100 mm. El material retenido (+100 mm) es separado del circuito.

El mineral -100 mm alimenta la zaranda vibratoria N°2 (08-SCR-02) la cual tiene por objetivo eliminar las partículas mayores a 12.5mm. El material -12.5 mm alimentara a dos zarandas (Zarandas Liwell N°3 y N°4) que permitirán la eliminación de partículas finas menores a 0.5 mm.

Las partículas mayores a 12.5mm son evacuadas mediante la tolva de gruesos, de igual manera las partículas menores a 0.6mm son evacuadas por la tolva de finos.

Otros parámetros controlados en esta etapa son: la humedad del mineral de mina (máximo 2.0%) y el contenido de finos en el producto final de esta área que transportado mediante la faja N°5 (08-CVR-05) no deberá exceder el 2.0%; con estas determinaciones se busca obtener una operación óptima de zarandas tanto en esta etapa como en la etapa posterior de reducción de tamaño.

El producto final de la etapa de clasificación deberá tener las siguientes características:

- Humedad menor a 2.0%
- Contenido de finos menor al 2.0%, se considera finos a las partículas menores a 0.6 mm.
- Granulometría: -12.5 mm + 0.6 mm
- Ley de Hundidos: 20% (promedio)

3.3 Chancado (Área 01)

La etapa de reducción de tamaño (área 01) inicia con la recepción de mineral producido en el área 08. El objetivo es producir un material 100% -4 mm. Para lograr esto se utiliza una chancadora de impacto (BARMAC) operando en circuito cerrado. Inicialmente la operación de esta área era en seco, para disminuir la polución originada por partículas en el aire (polvos) se realizó la modificación del área para la operación en húmedo, adicionalmente se observó que el bombeo de esta pulpa (mineral+H₂O) hacia el área posterior de concentración favorecía al proceso, en el sentido de que se genera un “atriccionamiento preliminar” antes de ingresar al área

de separación por medio denso (DMS), eliminándose en la zaranda de Lavado (Zaranda N°1 del área DMS) las partículas finas que son estériles para el proceso.

Luego de esta etapa se tienen los siguientes parámetros:

- Granulometría: 100% -4.0 mm
- Ley de Hundidos: 24% (promedio)

3.4 Concentración por medio denso (Área 02)

El producto obtenido en el área 01 de características: 100% -4.0 mm y ley de hundidos promedio 24% sirve de alimento para el área de concentración. La operación de concentración se logra mediante la utilización del medio denso Ferro-Silicio (Fe-Si). El mineral proveniente del área 01 se mezcla con el medio (en forma de pulpa) para luego alimentar al banco de Hidrociclones (4) de 360 mm, la concentración de andalucita se da debido a la diferencia de densidades de los minerales (valioso y estéril), la gravedad específica de la andalucita es 3.2 y el estéril está constituido principalmente por cuarzo de gravedad específica 2.65.

Del banco de Hidrociclones se obtienen dos productos, el valioso se obtendrá en la descarga (Hundidos) y la ganga se obtendrá en el rebose (Flotados), también es usual utilizar los términos Sink and Float para referirse a estos productos.

Para el control de la operación del área DMS se tiene en cuenta lo siguiente: el %

mínimo de Hundidos en la descarga de Hidrociclones es de 99.0%, el valor máximo de Hundidos en el rebose de los Hidrociclones es de 6%.

3.4.1 Recuperación de Fe-Si

El medio es capturado de la descarga de las zarandas N°2 y N°3; aprovechando las propiedades magnéticas del Ferro-Silicio, este es recuperado mediante un tambor magnético en húmedo (Wet Drum) el cual permite que el medio reingrese al circuito de concentración.

3.5 Atricción (Área 03)

El concentrado obtenido en el área 02 (DMS) ingresa al área de atricción para la eliminación de Fe_2O_3 , el concentrado ingresa en forma de pulpa a las celdas de atricción para realizar dicha eliminación, siendo un factor importante el contenido de agua interno de celdas que garantice la buena eliminación del fierro y otros elementos (micas, arcillas, etc.) que perjudican la calidad del producto final.

3.6 Secador –Enfriador (Área 04)

El concentrado de andalucita deberá tener una humedad adecuada para ser embolsado, esto se logra en el área de secado en la cual se hace uso de una cámara de combustión la cual alcanza valores de temperatura en el rango de 400 a 700 °C, el aire caliente generado en la cámara de combustión ingresa a la cámara de expansión mediante el uso de toberas en donde la temperatura alcanza valores entre 80-140°C para la operación adecuada del sistema de secado.

Antes de ingresar a la siguiente etapa de refinación magnética es necesario que el material producto del secador tenga la temperatura adecuada, valores menores a 60°C, para lograr esto se utiliza el Enfriador que básicamente es un sistema en el cual el agua fría contenida en tuberías internas al enfriador están en contacto con la carga caliente llevándose a cabo un intercambio de calor dando como resultado un caudal de retorno de agua caliente y el material con la temperatura adecuada para la siguiente etapa.

3.7 Circuito de Separación Magnética (Área 05)

Etapa en la cual se alcanza las especificaciones finales establecidas para el concentrado de andalucita. En el circuito de Separación Magnética se logra alcanzar la granulometría y el contenido de Fe_2O_3 (contenido final) adecuado para cada producto obtenido en esta área.

Esta área es alimentada por el producto obtenido de la etapa de secado, esta alimentación esta en el rango de 8 a 9 TPH, se hace uso de rodillos magnéticos para controlar el contenido de Fe_2O_3 en el concentrado final de andalucita.

3.8 Tratamiento de Efluentes (Área 06)

El material fino eliminado en el área de concentración por medio denso (Área 02) es bombeado hacia el espesador (Área 06) que se encargara de recuperar una fracción del agua utilizada en los procesos. Los lodos eliminados de la operación de espesamiento son dirigidos hacia el sistema de pozas de recuperación de agua.

CAPITULO IV

EVALUACIÓN DEL PROCESO DE CONCENTRACION MAGNETICA

Se realizo la evaluación del proceso de separación magnética con el objetivo de encontrar los parámetros óptimos de operación que nos permitan controlar el contenido de Fe_2O_3 en el concentrado de andalucita. El Fe_2O_3 es considerado como contaminante, si el contenido de Fe_2O_3 en el concentrado de Andalucita es elevado ocasionara que ciertas propiedades del ladrillo refractario (elaborado a base de Andalucita) se vean afectadas en forma negativa (Refractariedad, Resistencia al choque térmico, entre otras).

4.1 Rodillos Magnéticos

Se realizo el análisis de los productos generados en los 3 circuitos (rodillos magnéticos) utilizados para la separación magnética, se realizaron análisis de malla para conocer la respectiva distribución granulométrica de cada producto y alimento en cada rodillo, adicionalmente se realizo el respectivo análisis valorado para cada uno de estos flujos.

Realizando el respectivo balance de masa se observo que la alimentación para los

circuitos 1A y 1B no era uniforme, lo que generó una variación en la masa y la distribución del contenido magnético.

El producto magnético del rodillo ‘‘A’’ (primer Rodillo) de los circuitos 1A y 1B tuvieron altos porcentajes de Fe_2O_3 , llegando a alcanzar el 18 %, estos granos se concentraban principalmente en el rango de (-2.36 + 0.6 mm). Mientras que el producto magnético del rodillo ‘‘B’’ solo alcanzó el 1.33%.

Si se retira el material magnético obtenido del rodillo A de ambos circuitos (1A y 1B), el producto enviado a la zona de chancado bajaría de 3% a 1.5%, lo que implicaría en una mejora en la separación en el circuito 2, así como la reducción de contenido de Fe_2O_3 en todos los sub productos.

4.2 Muestreo

Se tomaron como puntos la alimentación y los productos obtenidos en los rodillos magnéticos, a la vez se realizó la medición de la masa para cada uno de estos puntos, para realizar su balance respectivo.

El muestreo se realizó en planta de beneficio durante una guardia completa (8 horas).

En la figura 4.1 se muestra los distintos puntos que se muestrearon en los rodillos magnéticos.

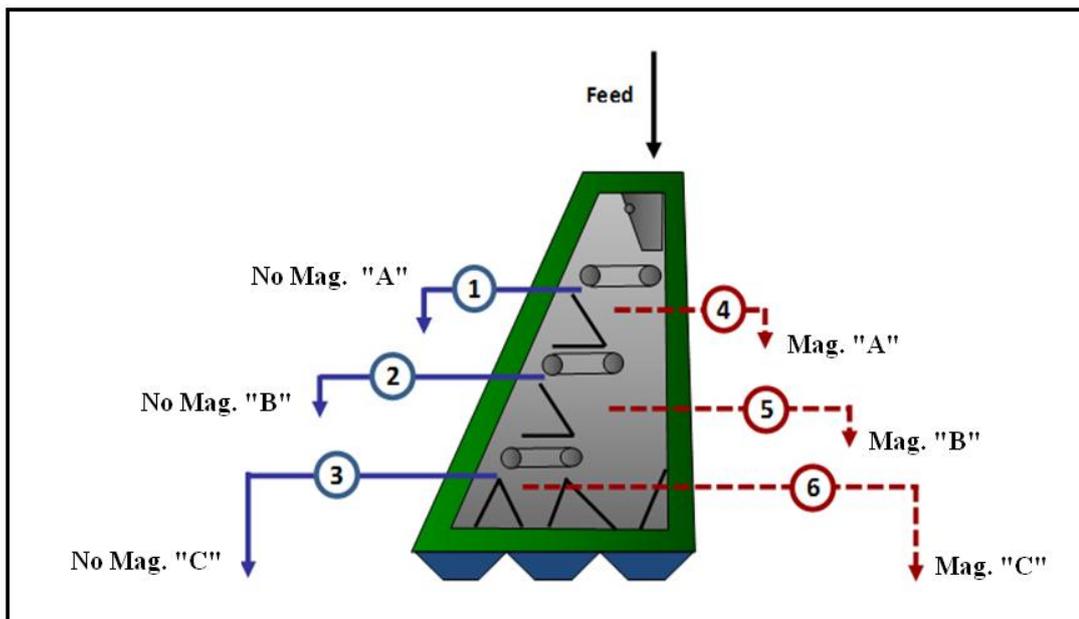


Figura 4.1 Muestreo en Rodillos Magnéticos

4.3 Preparación de Muestras

Se realizó el cuarteo de las muestras, con el fin de prepararlas para su respectivo análisis granulométrico, para ello se obtuvo un peso aproximado de 1 Kg para productos menores a 4.75 mm y 200 g para productos finos (menores a 500 μm). Las muestras sirvieron simultáneamente para los análisis granulométricos y determinación de contenido de Fe_2O_3 (XRF), para la lectura del contenido de Fe_2O_3 de cada malla del análisis granulométrico se separa un peso de 25 g, que es el peso ideal para la manipulación en la preparación de las briquetas, las cuales son utilizadas para la lectura en el equipo de Fluorescencia de Rayos X (XRF).

Para realizar el análisis XRF, se realizó la preparación de las briquetas, el cual consistió en pulverizar la muestra hasta obtener un tamaño de 100% - 200M (75 μm), luego la muestra fue llevada al equipo de prensado para obtener las briquetas que

serán utilizadas para el análisis XRF. A continuación se muestra el procedimiento de preparación de las muestras para realizar el análisis valorado.

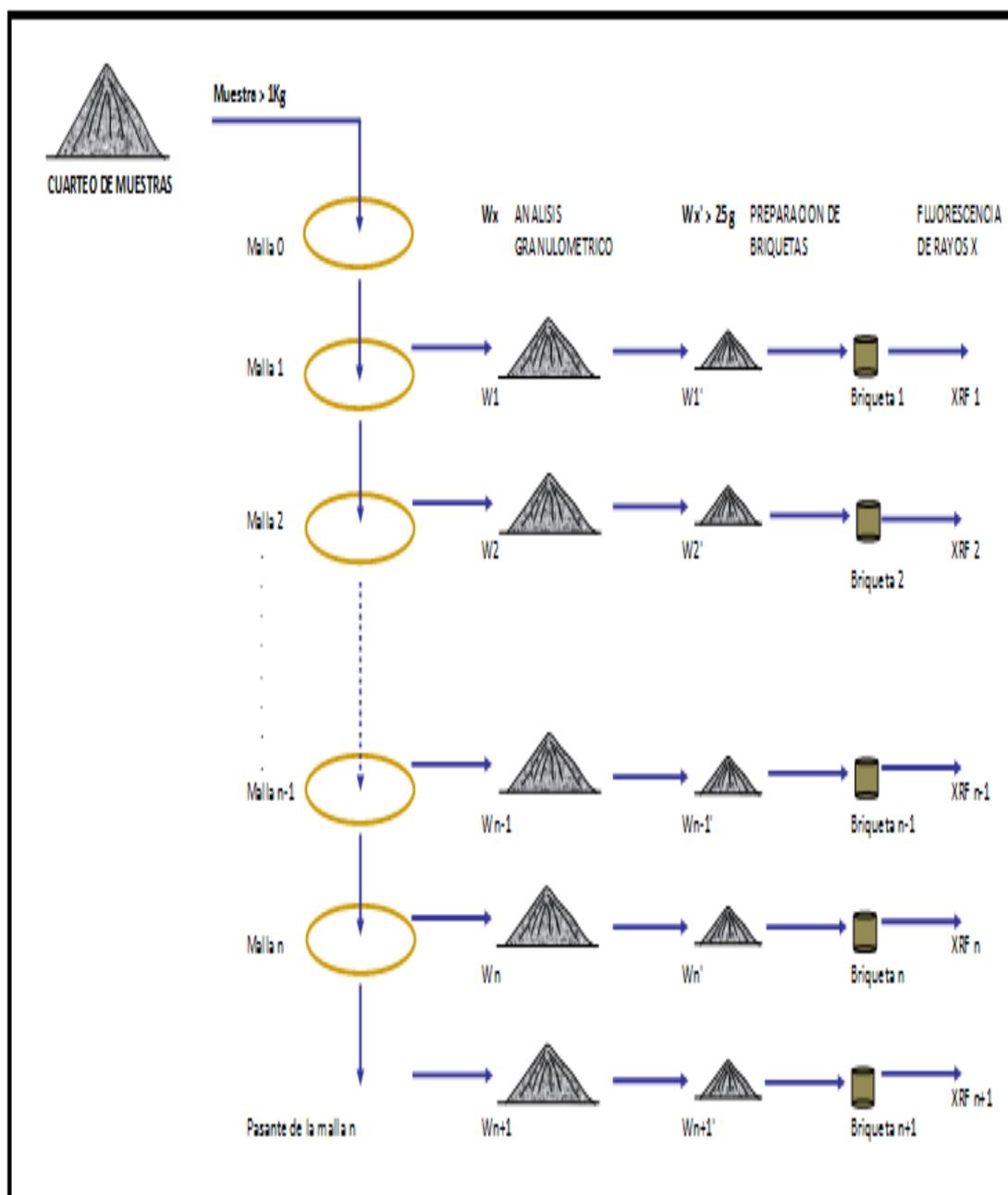


Figura 4.2 Preparación de Muestra

4.4 Análisis por Fluorescencia de Rayos X (XRF)

Las briquetas de las distintas muestras fueron analizadas por el equipo de fluorescencia de Rayos X, para hallar el contenido de los compuestos: Aluminio (Al_2O_3), Hierro (Fe_2O_3), Silicio (SiO_2), Potasio (K_2O), Sodio (Na_2O), Magnesio (MgO), Calcio (CaO), Titanio (TiO_2), Manganeso (MnO) y Fosforo (P_2O_5). Se realizó el análisis a la alimentación y a los productos de los rodillos magnéticos.

4.5 Distribución de tamaño de partícula

Se realizó el análisis granulométrico de todos los productos, empleándose para muestras de mayor tamaño las mallas con aberturas: 4.7, 4.0, 3.35, 2.36, 1.7, 1.0, 0.85, 0.6, 0.5, y 0.212 mm, y para muestras de tamaño fino se utilizaron mallas con aberturas: 150, 106, 75, 45, y 20 μm .

Cada fracción fue pesada y registrada, para hallar sus respectivas distribuciones granulométricas, estas mismas muestras fraccionadas fueron empleadas para realizar el análisis de fluorescencia de rayos X.

4.5.1 Análisis Granulométrico del Circuito 1A (05-MPR-01)

El producto alimentado a este equipo y los productos no magnéticos se concentraron principalmente en el rango (-3.35 a +1.0 mm), siendo los valores: Feed (86.0%), No Magnético "A" (86.6%), No Magnético "B" (84.6%), y No Magnético "C" (85.6%). El tamaño medio de cada uno de estos productos estuvo en: 2378, 2525, 2568, 2522 μm respectivamente.

Tabla 4.1 Análisis Granulométrico del Circuito 1A

Circuito 1A (05-MPR-01)						
Malla	Feed	Faja A		Faja B		Faja C
		No Mag.	Magnético	No Mag.	Magnético	No Mag.
(x) μm	%W	%W	%W	%W	%W	%W
4750						
4000	0.34	0.34	0.03	0.66		0.57
3350	3.98	5.93	0.55	6.99		5.66
2360	25.72	32.95	5.02	32.41	0.19	30.50
1700	27.44	26.80	12.26	25.27	3.93	25.71
1000	32.88	26.81	43.05	26.93	17.13	29.42
850	5.19	3.83	15.50	4.07	49.97	4.38
600	4.07	2.98	18.86	3.30	13.66	3.40
500	0.20	0.16	1.75	0.16	12.35	0.15
212	0.16	0.15	2.43	0.13	1.04	0.13
-212	0.02	0.04	0.55	0.08	1.72	0.07
Total Retenido (mallas seleccionadas)						
%W	86.04	86.56	89.67	84.61	93.11	85.63

En el figura 4.3 se muestra las curvas granulométricas de todos los productos del circuito 1A, se puede apreciar un ligero desplazamiento de la alimentación a los productos no magnéticos, esto se aprecia mejor en la variación del tamaño medio indicado anteriormente.

El producto magnético del Rodillo "A" se concentro en el rango de (-2.36, +0.6 mm), en un porcentaje de 89.67%, con un tamaño medio de 1768 μm , mientras que para el Rodillo "B" se tuvo un rango de concentración de (-1.7+0.5 mm) con un porcentaje de 93.11%, y un tamaño medio de 1290 μm .

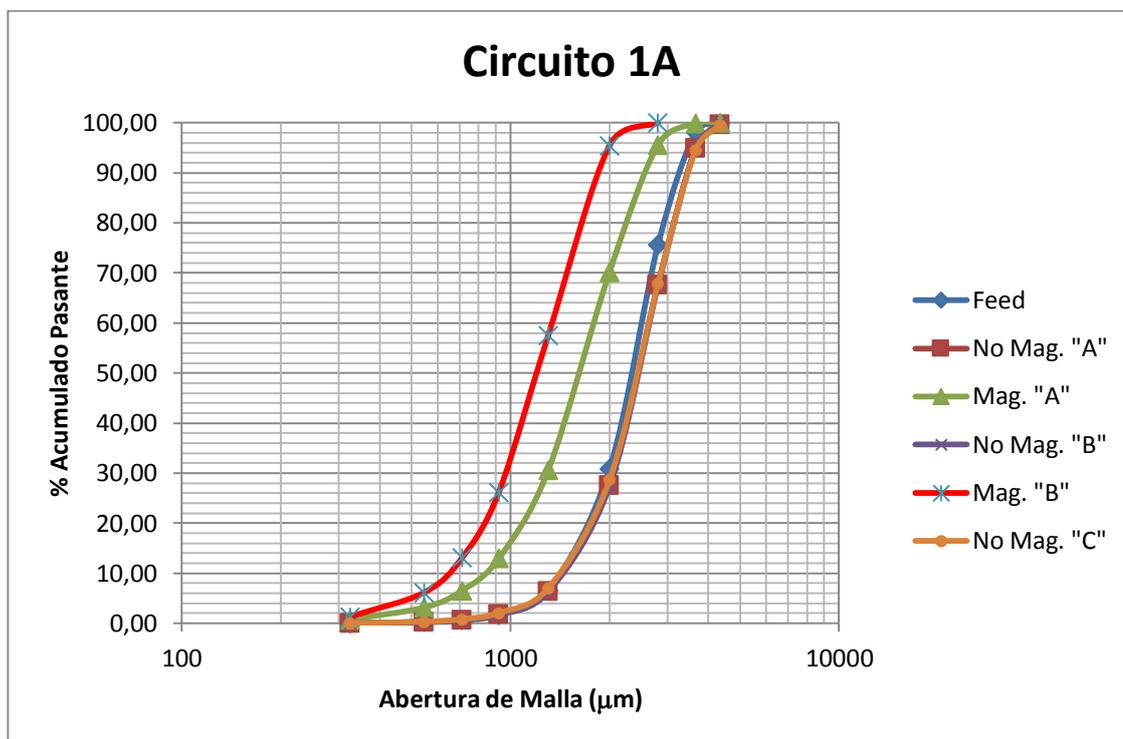


Figura 4.3 Productos del Circuito 1A

4.5.2 Análisis Granulométrico del Circuito 1B (05-MPR-02)

El producto alimentado a este equipo se concentró principalmente en el rango de (-3.35 a +1.0 mm) al igual que los productos no magnéticos, siendo los valores: Feed (87.4%), No Mag. "A" (88.1%), No Mag. "B" (87.8%), y No Mag. "C"

(88.2%). El tamaño medio de cada uno de estos productos estuvo en: 2724, 2553, 2621, 2574 μm respectivamente.

Ambos productos magnéticos del Rodillo “A” y del Rodillo “B” se concentraron en el rango de (-2.36, +0.6 mm), en un porcentaje de 91.6%, con un tamaño medio de 1789 μm para el Rodillo “A”, mientras que para el Rodillo “B” un porcentaje de 94.1%, con un tamaño medio de 1809 μm .

Tabla 4.2 Análisis Granulométrico del Circuito 1B

Circuito 1B (05-MPR-02)						
Malla	Feed	Faja A		Faja B		Faja C
		No Mag.	Magnético	No Mag.	Magnético	No Mag.
(x) μm	%W	%W	%W	%W	%W	%W
4750						
4000	0.71	0.36	0.04	0.47		0.41
3350	7.30	5.91	0.33	5.71	0.14	5.77
2360	39.16	35.41	4.32	36.51	3.72	33.99
1700	27.13	28.22	12.40	27.06	17.22	28.54
1000	21.15	24.43	46.91	24.21	53.76	25.68
850	2.49	3.06	14.71	3.19	13.02	2.95
600	1.81	2.37	17.58	2.47	10.07	2.42
500	0.09	0.11	1.49	0.13	0.72	0.10
212	0.09	0.11	1.72	0.14	1.12	0.10
-212	0.05	0.03	0.50	0.10	0.23	0.04
Total Retenido (mallas seleccionadas)						
%W	87.44	88.06	91.60	87.78	94.07	88.21

En la figura 4.4 se muestra las curvas granulométricas de todos los productos del circuito 1B (05-MPR-02), se puede apreciar un ligero desplazamiento de la alimentación a los productos no magnéticos, esto se aprecia en la variación del tamaño medio indicado anteriormente.

El primer producto magnético sufre un desplazamiento hacia la izquierda y experimenta una disminución en su tamaño de grano (tamaño medio 1789 μm). El segundo producto magnético sufre un desplazamiento mayor obteniendo un tamaño medio de (1809 μm).

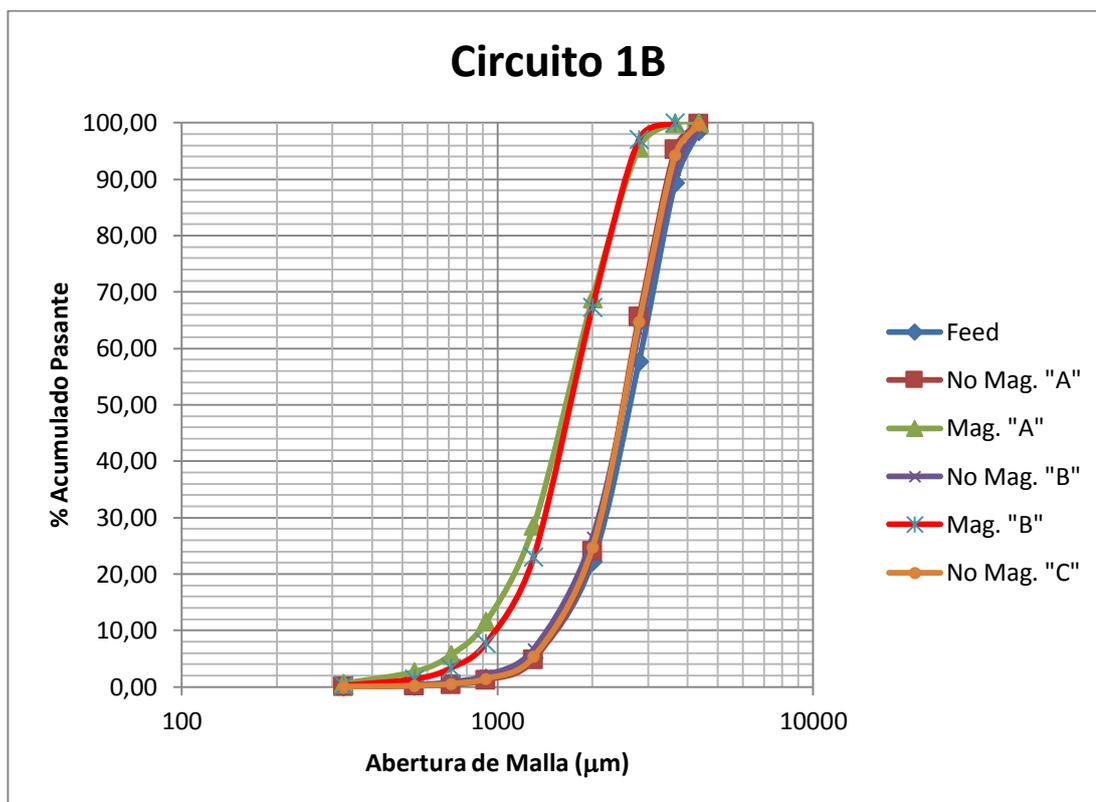


Figura 4.4 Productos del Circuito 1B

La alimentación de los rodillos magnéticos tuvo una variación en su granulometría, sus tamaños medios de partículas fueron 2378 y 2724 μm . Estos productos se concentraron principalmente en el rango de malla (-3.35, +1.0 μm), estando por encima del 84% de su masa.

Los productos no magnéticos generados tuvieron una granulometría similar a la alimentación, obteniendo una variación aproximada de 7% en su tamaño medio de partícula, lo que provoca una variación mínima en su curva granulométrica.

Los productos magnéticos del rodillo ‘‘A’’ obtuvieron similares valores en el tamaño medio de partícula de 1768 y 1789 μm , y su distribución granulométrica se concentró en el rango de (-2.36, +0.6 μm) este vendría a ser el rango donde se concentra este tipo de material.

Los productos magnéticos del rodillo ‘‘B’’ tuvieron distribuciones granulométricas diferentes presentando un tamaño medio de partícula de 1290 y 1809 μm .

4.5.3 Análisis Granulométrico del Circuito 2 (05-MPR-03)

El producto alimentado a este equipo se concentró principalmente en el rango de (-1.7, +0.6 mm) al igual que los productos no magnéticos, siendo los valores: Feed (68.6%), No Mag. ‘‘A’’ (74.6%), No Mag. ‘‘B’’ (78.3%), y No Mag. ‘‘C’’ (74.5%). El tamaño medio de cada uno de estos productos estuvo en: 967, 1056, 1075, 1030 μm , respectivamente.

Los productos magnéticos del rodillo ‘‘A’’ y del rodillo ‘‘B’’ se concentraron en el rango de (-0.5 mm), en un porcentaje de 71.7%, con un tamaño medio de 489 μm , y 45.3%, con un tamaño medio de 752 μm respectivamente.

Tabla 4.3 Análisis Granulométrico del Circuito 2

Circuito 2 (05-MPR-03)						
Malla	Feed	Faja A		Faja B		Faja C
		No Mag.	Magnético	No Mag.	Magnético	No Mag.
(x) μ m	% W	%W	%W	% W	% W	%W
2360						
1700	0.13	0.34	0.05	0.26	0.10	0.22
1000	28.57	34.73	7.03	35.21	17.29	30.27
850	16.67	18.18	5.05	19.74	11.68	20.05
600	23.41	21.74	11.61	23.40	19.36	24.17
500	6.09	5.31	4.53	5.66	6.24	6.45
212	17.08	12.19	25.16	12.69	20.22	15.76
-212	8.04	7.51	46.57	3.04	25.11	3.08
Total Retenido (mallas seleccionadas)						
% W	68.65	74.65	71.73	78.35	45.33	74.49

En el gráfico 4.4 se muestra las curvas granulométricas de todos los productos del circuito 2 (05-MPR-03), se puede apreciar un ligero desplazamiento de la alimentación a los productos no magnéticos, esto se aprecia en la variación del tamaño medio indicado anteriormente.

El primer producto magnético sufrió un desplazamiento hacia la izquierda con respecto a la alimentación y experimento una disminución en su tamaño de grano (tamaño medio $489\mu\text{m}$). Por lo tanto este producto posee el menor tamaño de esta concentración. El segundo producto magnético sufrió también un desplazamiento obteniendo un tamaño medio de ($753\mu\text{m}$).

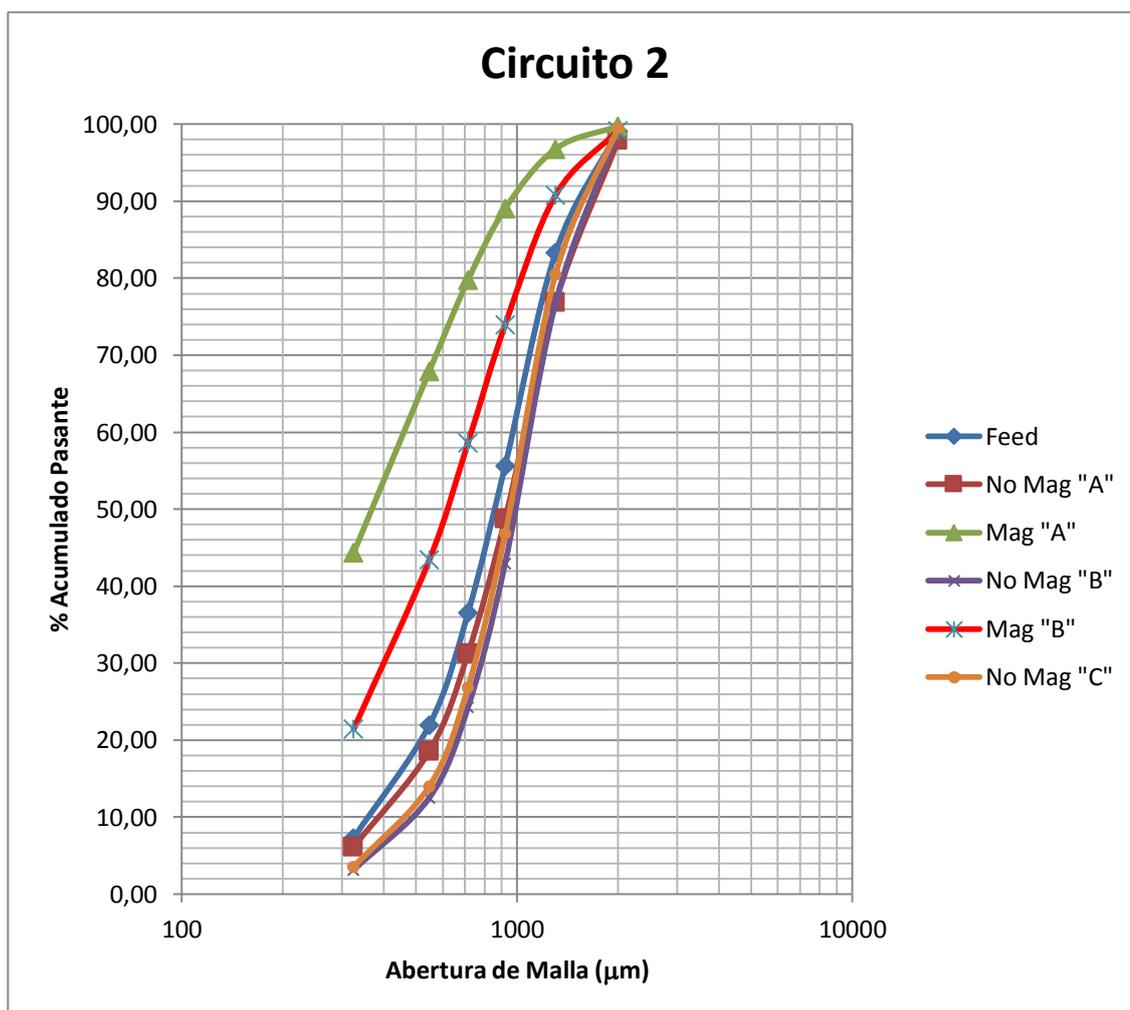


Figura 4.5 Productos del Circuito 2

4.6 Análisis Valorado de los Circuitos 1A y 1B

4.6.1 Alimentación

El material magnético no se halló distribuido uniformemente en el Circuito 1A, se observó valores de contenido Fe_2O_3 por encima de 0.83% bajo la malla 850 μm .

El bajo contenido de alúmina (menor a 59.2%) para el rango antes mencionado nos permite establecer una relación inversa con la zona de concentración de hierro.

En el circuito 1B el contenido de Fe_2O_3 , fue uniforme, se presentó en todo el rango de mallas, de la misma forma que el contenido de alúmina fue consecuente con el contenido de hierro excepto el rango (-1.7, +1.0 mm).

El contenido de Fe_2O_3 en el alimento de cada circuito fue distinto en gran medida (0.81% y 0.91%), el primero está más cercano a conseguir los valores de calidad, y esta se cumpliría con solo pasar el primer rodillo.

Esta variación se debe a que el chute pantalón que divide la carga para alimentar a los dos circuitos (1A y 1B) genera una separación natural de la carga ocasionando que partículas de mayor tamaño se dirijan hacia el circuito 1B observándose un tamaño medio mayor al del circuito 1A, esto también afecta al contenido magnético de cada uno de estos flujos, observándose una relación directa entre el tamaño de partícula con el contenido de Fe_2O_3 .

Tabla 4.4 Análisis Valorado Circuitos 1A y 1B

Alimentación						
MALLA	Circuito 1A (MPR-01)			Circuito 1B (MPR-02)		
(x) μm	% W	%Fe ₂ O ₃	%Al ₂ O ₃	% W	%Fe ₂ O ₃	%Al ₂ O ₃
CABEZAS		0.81%	59.44%		0.91%	59.03%
4000	0.34	0.80	59.21	0.71	0.91	58.07
3350	3.98	0.80	59.51	7.32	0.91	58.36
2360	25.72	0.83	59.40	39.16	0.90	58.93
1700	27.44	0.82	59.46	27.13	0.94	58.09
1000	32.88	0.77	59.52	21.15	0.89	59.42
850	5.19	0.79	59.43	2.49	0.85	59.11
600	4.07	0.89	58.97	1.81	0.94	58.77
-600	0.38	0.95	58.70	0.23	0.95	58.59

4.6.2 Producto No Magnético del Rodillo “A”

Este es el producto generado al pasar el concentrado de andalucita por el primer rodillo de separación magnética (rodillo “A”). Los dos productos tenían contenidos remanentes de Fe₂O₃ en los extremos, el Rodillo del circuito 1A en el rango de (-4.75, 3.35 mm), y el Rodillo del circuito 1B en el rango de (-4.75, 2.36 mm) y (-0.6 mm). Este último generara problemas en la recuperación, debido a que incluye una zona de mayor concentración en masa (-3.35,+2.36 mm).

En este proceso se generó la “limpieza” del material alimentado en el rango de (-3.35,+0.6 mm) para el Rodillo del circuito 1A, y el rango (-2.36, +0.6 mm) para el Rodillo del circuito 1B. Hubo rangos en el que el contenido de Fe_2O_3 estuvo por debajo de 0.65%, y esto sucedió principalmente en el rango de (-1.7, +0.6 mm) para Rodillo del circuito 1A y el rango (-1.0, +0.6 mm) para Rodillo del circuito 1B.

En el segundo rodillo se puede apreciar que el contenido de hierro remanente, está dentro de la zona de mayor concentración granulométrica, lo que implicaría mayor pérdida por bajar el hierro en esta zona.

El contenido de alúmina se muestra consecuente con el contenido de hierro en todo el rango, con algunas excepciones debido a los errores en el análisis de XRF.

Ambas muestras poseen un alto contenido de Fe_2O_3 en las mallas inferiores, esto indica una baja eficiencia de separación de los rodillos primarios en partículas menores a 0.6 mm.

Estos resultados reflejan el comportamiento análogo de ambos rodillos magnéticos, existió diferencias mínimas, esto se debió principalmente a la distribución en la alimentación y su tonelaje.

Es necesario tomar en cuenta estos resultados, para realizar cambios en la operación del área de separación magnética.

Tabla 4.5 Análisis Valorado No Magnético Rodillo A

Producto No Magnético del Rodillo "A"						
MALLA	Circuito 1A (MPR-01)			Circuito 1B (MPR-02)		
(x)μm	% W	%Fe₂O₃	%Al₂O₃	% W	%Fe₂O₃	%Al₂O₃
CABEZAS		0.74%	59.40%		0.79%	59.21%
4000	0.34	0.86	58.87	0.36	0.84	58.98
3350	5.93	0.86	59.17	5.91	0.84	59.28
2360	32.95	0.79	59.32	35.41	0.85	59.14
1700	26.80	0.75	59.49	28.22	0.77	59.19
1000	26.81	0.65	59.46	24.43	0.71	59.34
850	3.83	0.56	59.61	3.06	0.63	59.27
600	2.98	0.56	59.18	2.37	0.64	59.03
-600	0.35	2.10	59.01	0.25	3.45	59.01

4.6.3 Producto Magnético del Rodillo "A"

El producto alimentado al circuito de separación magnética, poseen minerales libres con alto contenido de Hierro tales como la Magnetita, Hematita, Ilmenita, etc. Los cuales tienen que ser eliminados necesariamente del sistema. Pero también existen minerales de hierro asociados al mineral ínsito, los cuales se presentan desde su formación como roca metamórfica, es por ello que la andalucita se forma dentro de la composición del esquisto micáceo, como la moscovita, y que la acompañara en todo momento en sus caras superficiales externos a su formación, siendo necesario el proceso de atrición y chancado lo que nos permitirá liberarlo para posteriormente concentrarlo nuevamente.

El producto magnético del primer rodillo se distribuye en todos los rangos y sus valores superan el 8.0% de Fe_2O_3 . Según los datos, la mayor cantidad de material con alto contenido de hierro está presente en el rango de (-2.36, +0.6 mm).

Será necesario hacer la pruebas de chancado, para determinar la factibilidad de liberar el Fe_2O_3 y posteriormente retirarlo del circuito de separación magnética.

Los valores de los productos magnéticos de ambos rodillos fueron similares, al igual que sus análisis granulométricos, siendo el rango de mayor concentración (-2.36, +0.6 mm).

Tabla 4.6 Análisis Valorado Magnético Rodillo A

Producto Magnético del Rodillo "A"						
MALLA	Circuito 1A (MPR-01)			Circuito 1B (MPR-02)		
(x)μm	% W	%Fe_2O_3	%Al_2O_3	% W	%Fe_2O_3	%Al_2O_3
CABEZAS		18.03%	41.21%		14.79%	44.24%
4000	0.03	23.16	34.94	0.04	24.24	34.68
3350	0.55	23.27	35.11	0.33	24.36	34.85
2360	5.02	23.39	35.29	4.32	24.48	35.03
1700	12.26	23.04	36.28	12.40	21.51	37.45
1000	43.05	18.60	40.93	46.91	15.13	44.12
850	15.50	16.21	43.18	14.71	10.51	48.31
600	18.86	15.82	43.24	17.58	11.11	47.56
-600	4.73	8.29	49.87	3.71	10.14	48.23

4.6.4 Producto No Magnético del Rodillo “B”

El producto del primer rodillo magnético ya consiguió su calidad con respecto al contenido de hierro, con la excepción de algunos valores de alúmina. El segundo rodillo magnético, como ponderado también cumplió su calidad, pero por rangos en su granulometría, todavía posee valores por encima del 0.88% de Fe_2O_3 en el tramo (-4.75, +2.36 mm).

Este rango capta una de las zonas de mayor contenido en masa de este producto, por lo que afectara en la recuperación si se desea eliminarlo.

Si la comparamos con la alimentación, podemos observar que en el segundo rodillo el contenido de Fe_2O_3 persiste, e inclusive ha subido de 0.84% a 0.86% y su porcentaje de masa ha pasado a ser de 41.68% a 42.69%, estos valores nos indican que no se está realizando una buena eliminación de partículas magnéticas (Fe_2O_3), incluso se podría afirmar que se está eliminando partículas con alto contenido de alúmina y no de Fe_2O_3 .

Esto responde a la baja en la recuperación de separación del rodillo “B”, principalmente por la mala distribución en la alimentación, el alto contenido en la zona de mayor porcentaje en masa y la baja eficiencia de separación.

Sera necesario hacer una evaluación del corte de las cuchillas de los rodillos magnéticos, así como de la alimentación de los rodillos, para ubicar y corregir este tipo de defectos.

Tabla 4.7 Análisis Valorado No Magnético Rodillo B

Producto No Magnético del Rodillo "B"						
MALLA	Circuito 1A (MPR-01)			Circuito 1B (MPR-02)		
(x)μm	% W	%Fe₂O₃	%Al₂O₃	% W	%Fe₂O₃	%Al₂O₃
CABEZAS		0.72%	59.47%		0.79%	59.25%
4000	0.66	0.78	59.10	0.47	0.88	58.70
3350	6.99	0.78	59.42	5.71	0.88	58.99
2360	32.41	0.83	59.12	36.51	0.86	59.18
1700	25.27	0.72	59.69	27.06	0.79	59.27
1000	26.93	0.62	59.72	24.21	0.70	59.38
850	4.07	0.54	59.26	3.19	0.63	59.44
600	3.30	0.57	59.73	2.47	0.61	59.17
-600	0.37	0.57	59.73	0.37	0.60	59.07

4.6.5 Producto Magnético del Rodillo "B"

Los productos magnéticos, tuvieron un porcentaje de 1.16% y 1.33% de Fe₂O₃ en su ponderado, pero algunos rangos de mallas llegaron a alcanzar hasta 3.91% de Fe₂O₃, y su mayor contenido de masa estuvo por debajo de 1.7 mm. La reducción de tamaño del área de chancado permitirá liberar en gran parte el mineral de hierro.

Los porcentajes de Fe₂O₃ del segundo rodillo, responden a la baja eficiencia analizado anteriormente (producto no magnético), obteniendo por debajo de la malla -0.6 mm porcentajes 0.82%, y existe mayor porcentaje de partículas menores a esta en el primer rodillo, lo que nos confirma la mala distribución en la alimentación de ambos rodillos.

Tabla 4.8 Análisis Valorado Magnético Rodillo B

Producto Magnético del Rodillo "B"						
MALLA	Circuito 1A (MPR-01)			Circuito 1B (MPR-02)		
(x)µm	% W	%Fe₂O₃	%Al₂O₃	% W	%Fe₂O₃	%Al₂O₃
CABEZAS		1.16%	58.33%		1.33%	57.96%
4000						
3350				0.14	3.35	54.71
2360	0.19	3.91	53.28	3.72	3.37	54.98
1700	3.93	2.09	56.47	17.22	1.82	57.12
1000	17.13	1.42	57.83	53.76	1.20	58.24
850	49.97	1.10	58.59	13.02	0.98	58.45
600	13.66	0.99	58.50	10.07	0.92	58.53
-600	15.12	0.91	58.43	2.08	0.82	57.25

4.6.6 Producto No Magnético del Rodillo "C"

Según el análisis ponderado los dos productos cumplen con las especificaciones técnicas estando por debajo de 0.83% en contenido de Fe₂O₃ y por encima de 59.2% en contenido de alúmina.

Comparando con las cabezas respectivas, el primer rodillo magnético todavía se resiste a bajar el contenido de hierro en el rango (-3.35,+ 2.36 mm), mientras que en el segundo rodillo bajo de 0.88% a 0.84%. Se aprecia que los granos menores a 2.36 mm, para el segundo rodillo ya cumplieron su calidad, pero persiste en los granos mayores.

Tabla 4.9 Análisis Valorado No Magnético Rodillo C

Producto No Magnético del Rodillo "C"						
MALLA	Circuito 1A (MPR-01)			Circuito 1B (MPR-02)		
(x)μm	% W	%Fe₂O₃	%Al₂O₃	% W	%Fe₂O₃	%Al₂O₃
CABEZAS		0.71	59.45		0.76	59.28
4000	0.57	0.71	59.19	0.41	0.84	58.95
3350	5.66	0.71	59.49	5.77	0.84	59.27
2360	30.50	0.81	59.21	33.99	0.84	59.14
1700	25.71	0.76	59.30	28.54	0.77	59.32
1000	29.42	0.61	59.79	25.68	0.68	59.37
850	4.38	0.51	59.69	2.95	0.59	59.66
600	3.40	0.48	59.42	2.42	0.54	59.43
-600	0.36	0.48	59.42	0.24	0.54	59.22

4.6.7 Análisis Valorado Circuito 2

La alimentación a este rodillo posee un porcentaje de 1.96% de Fe₂O₃, esto se encuentra distribuido homogéneamente en toda su granulometría, pero se incrementa en los granos menores a 212 μ m. El producto no magnético de la faja "A", posee solo un rango aceptable, con bajo contenido de hierro (-0.5, +0.212 mm), también se observa una permanencia de alto contenido por debajo de 212 μ m.

El producto magnético posee valores de Fe_2O_3 , que varían de 2% a 19.8%, gran parte de este material se ha concentrado por debajo de 500 μm . este material se ha generado principalmente por la liberación del hierro en el circuito de chancado. Aquí también se recomendaría desviar este producto y almacenarla muy aparte del segundo producto magnético, será necesario realizar una prueba de liberación de contenido magnético, para hallar su recuperación económicamente y su factibilidad.

Tabla 4.10 Productos Rodillo A, Circuito 2

Producto del Rodillo "A"									
MALLA	ALIMENTO			NO MAGNETICOS			MAGNETICOS		
(x)μm	% W	%Fe_2O_3	%Al_2O_3	% W	%Fe_2O_3	%Al_2O_3	% W	%Fe_2O_3	%Al_2O_3
CABEZAS		1.96	57.80		1.05	58.72		6.15	52.74
2360									
1700	0.13	1.89	57.71	0.34	1.19	58.47	0.05	19.74	41.18
1000	28.57	1.90	58.00	34.73	1.20	58.76	7.03	19.84	41.39
850	16.67	1.91	57.99	18.18	1.05	58.80	5.05	15.97	44.82
600	23.41	1.95	58.03	21.74	0.95	58.80	11.61	11.12	48.22
500	6.09	1.89	57.90	5.31	0.86	58.97	4.53	7.17	51.96
212	17.08	1.81	57.72	12.19	0.75	59.06	25.16	4.19	54.46
-212	8.04	2.63	56.06	7.51	1.30	57.35	46.57	2.72	55.60

El producto no magnético todavía posee valores con alto contenido de Fe_2O_3 en el rango (-1.7, +0.85 mm), y esta incluye parte de la zona de mayor concentración en masa, lo que implicaría una disminución en la recuperación.

El producto magnético posee valores de Fe_2O_3 que varía de 1.2% a 2.98%, estos valores presentan van en forma descendente acorde con la granulometría del material.

Tabla 4.11 Producto Rodillo B, Circuito 2

Producto del Rodillo "B"						
MALLA	NO MAGNETICOS			MAGNETICOS		
(x)μm	% W	%Fe_2O_3	%Al_2O_3	% W	%Fe_2O_3	%Al_2O_3
CABEZAS		0.79	59.30	0.00	1.91	56.62
2360						
1700	0.26	0.92	58.98	0.10	2.98	55.03
1000	35.21	0.92	59.28	17.29	2.99	55.31
850	19.74	0.80	59.30	11.68	2.52	55.98
600	23.40	0.73	59.34	19.36	2.20	56.09
500	5.66	0.66	59.35	6.24	1.74	57.02
212	12.69	0.56	59.40	20.22	1.20	57.71
-212	3.04	0.81	58.87	25.11	1.26	57.24

Este producto a pesar de cumplir con la calidad en su ponderado, todavía contiene rangos de valores altos en hierro, y también persiste un pequeño porcentaje menor a 212 μm , principalmente como adherencia de partículas finas hacia las partículas gruesas.

Tabla 4.12 Rodillo C, Circuito 2

MALLA	No Magnéticos Rodillo ‘C’		
(x)μm	% W	%Fe₂O₃	%Al₂O₃
CABEZAS		0.72	59.37
2360			
1700	0.22	0.89	58.91
1000	30.27	0.89	59.21
850	20.05	0.75	59.40
600	24.17	0.66	59.36
500	6.45	0.58	59.53
212	15.76	0.50	59.72
-212	3.08	0.86	58.69

4.7 Balance de Masa de los Equipos de Separación Magnética

4.7.1 Balance del Circuito 1A

El balance que se presenta a continuación posee valores experimentales, que fueron hallados durante las pruebas realizadas.

La alimentación a este equipo fue de 4.42 TPH, con un porcentaje de Fe₂O₃ de 0.81%, su granulometría menor a 1.0 mm estuvo en 4.8%, y su tamaño medio estuvo en 2378 μm.

El producto no magnético del rodillo "A", tuvo una descarga 4.3 TPH, esto represento el 97.2% de la alimentación total y su contenido de Fe_2O_3 fue de 0.74%. El tamaño medio fue de 2478 μm , aquí se observa un ligero incremento en la granulometría.

El producto magnético del rodillo "A" tuvo una descarga de 0.12 TPH, que representa el 2.8% de la alimentación, su contenido de Fe_2O_3 fue de 18.0%. Su granulometría bajo con respecto a la alimentación (tamaño medio 1746 μm).

El producto no magnético del rodillo "B" represento el 80.9% de la alimentación, su contenido de hierro como óxido bajo a 0.72%, y su granulometría se incrementó levemente (tamaño medio 2513 μm).

El producto magnético de este rodillo represento el 16.3% de la carga total, y poseía un contenido de Fe_2O_3 de 1.16%, con una granulometría fina, el cual tuvo 1776 μm como tamaño medio.

Si juntáramos los tres productos magnéticos de los rodillos (A, B, y C) y lo enviamos al medio se obtendría 1.29 TPH con un porcentaje de Fe_2O_3 de 2.89%, pero si solo enviamos al medio los productos magnéticos de los rodillos (B y C), obtendríamos 1.17 TPH con un porcentaje de Fe_2O_3 de 1.29%. Esto mejoraría la calidad y la separación de los productos después de chancado.

La recuperación total estuvo en 70.7%.

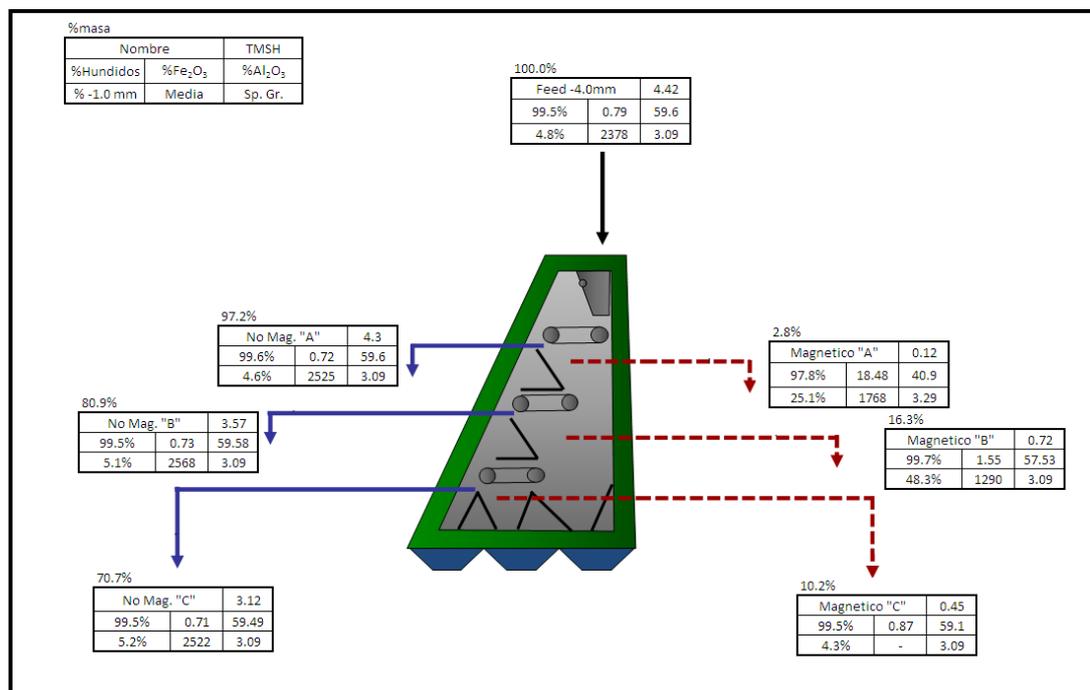


Figura 4.6 Balance del Circuito 1A

4.7.2 Balance del Circuito 1B

La alimentación a este rodillo fue de 3.05 TPH, el porcentaje de Fe₂O₃ fue de 0.91% y el tamaño medio estuvo en 2667 μ m.

El producto no magnético del rodillo "A" posee el 97% de la masa de la alimentación, su contenido de Fe₂O₃ fue de 0.78% y su granulometría bajo ligeramente con respecto al grano alimentado. El producto magnético tuvo una descarga de 0.1 TPH, siendo este el 3.1% de la masa total alimentada, su contenido de Fe₂O₃ fue de 16.39% y poseía ligeramente fina. El producto no magnético del rodillo "A", tuvo el 91% de la masa total, su contenido de Fe₂O₃ estuvo en 0.84% y su granulometría sufrió un leve desplazamiento con respecto a la granulometría de la alimentación. El producto magnético represento el 5.9% de la masa total alimentada,

su contenido de Fe_2O_3 fue de 1.34% y a comparación del producto del primer rodillo su granulometría fue ligeramente fina.

Si juntáramos los tres productos magnéticos de los rodillos (A, B, y C) y lo enviamos al medio se obtendría 0.54 TPH con un porcentaje de Fe_2O_3 de 3.92%, pero si solo enviamos al medio los productos magnéticos de los rodillos (B y C), obtendríamos 0.44 TPH con un porcentaje de Fe_2O_3 de 1.09%. Esto también mejoraría la calidad y la separación de los productos después de chancado. La recuperación total fue de 82.4%.

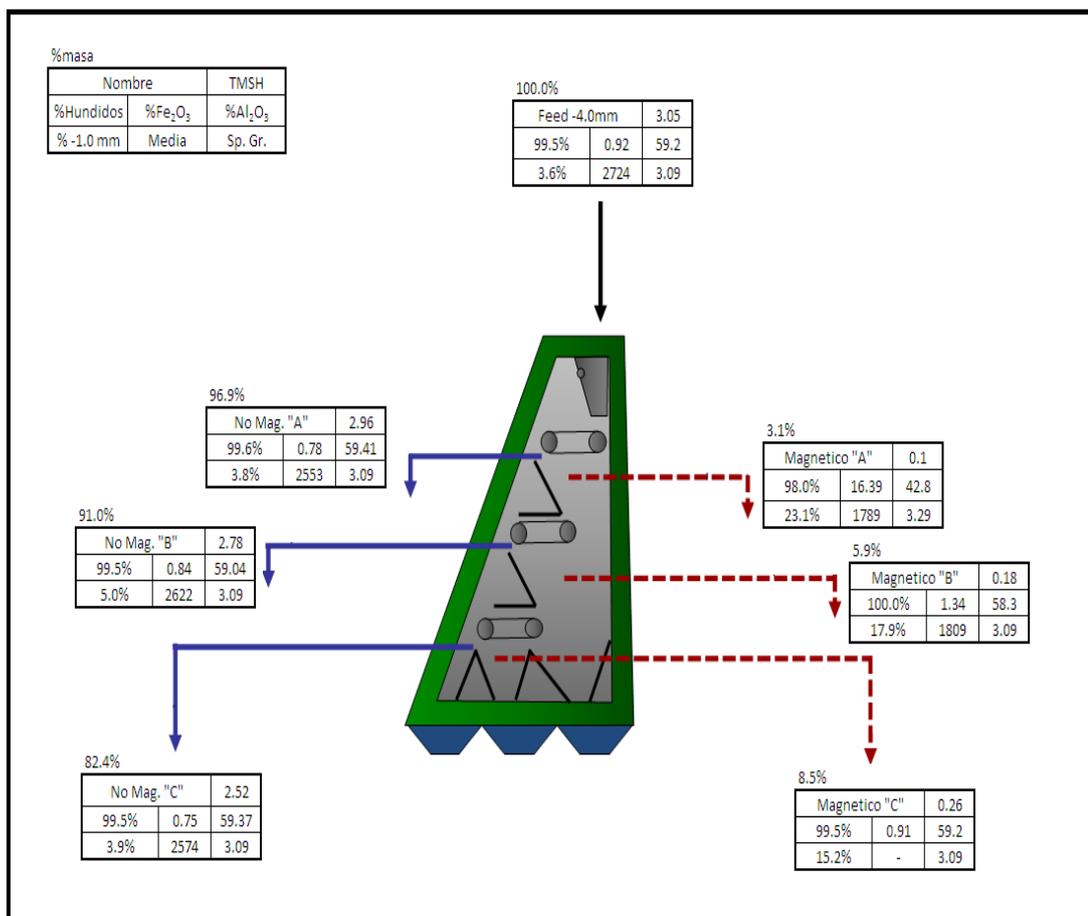


Figura 4.7 Balance Circuito 1B

Comparando ambos circuitos (1A y 1B), se observa una variación en sus respectivas recuperaciones, obteniendo el recuperaciones parciales de: 97.2%, 80.9% y 70.7% en los rodillos A, B y C; mientras que el rodillo 02 presentó recuperaciones de: 96.9%, 91% y 82.4%. Esto significa que en el circuito 1A se obtuvo una buena separación, reduciendo rápidamente el contenido magnético en toda su granulometría, pero su recuperación fue menor.

4.7.3 Balance del Circuito 2

La alimentación estuvo en 2.63 TPH, el contenido de Fe_2O_3 fue de 2.0% y la granulometría tuvo un tamaño medio de 961 μm .

El producto no magnético del rodillo ‘A’ obtuvo un porcentaje de 75.6% con respecto a la alimentación, el contenido de Fe_2O_3 fue de 1.02% y su granulometría experimento un incremento leve.

El producto magnético tuvo un porcentaje en masa de 24.4% con respecto a la alimentación, su contenido de Fe_2O_3 fue de 5.92% y obtuvo una granulometría fina con un tamaño medio de 487 μm .

El producto no magnético del rodillo ‘B’ tuvo una descarga que represento el 57.2% de la masa total, su contenido de Fe_2O_3 estuvo en 0.80%, y su granulometría sufrió un incremento, obteniendo un tamaño medio de 1061 μm .

El producto magnético represento el 18.3% de la alimentación, el contenido de Fe₂O₃ estuvo en 1.99% y su granulometría se incrementó llegando alcanzar un tamaño medio de 752 μm.

La recuperación total fue de 51.6%.

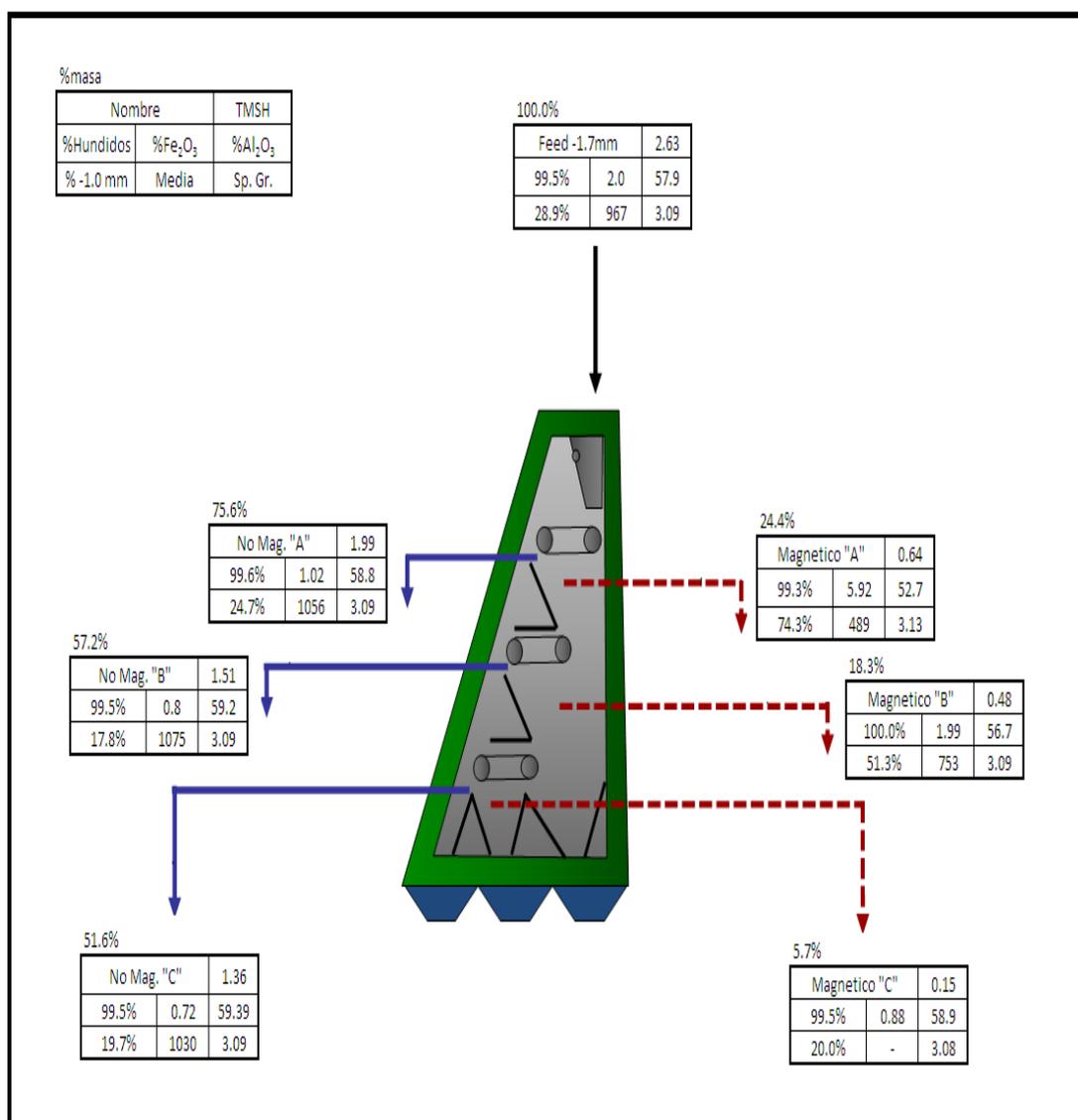


Figura 4.8 Balance Circuito 2

4.7.4 Balance de los Circuitos 1A y 1B Corregidos

Teniendo en cuenta los distintos valores obtenidos se armó un balance para el rodillo magnético 01 y 02, que simulara la operación en forma continua, teniendo como aspecto, la mejora en las eficiencias de separación, distribución en la alimentación del equipo y rodillos.

Si quitamos el magnético del primer rodillo de los circuitos A y B obtendríamos 0.36 TPH con un porcentaje de Fe_2O_3 de 1.27%, este sería el nuevo valor a conseguir para la generación de subproductos, así mismo se podrá desviar todo el material del tercer rodillo como producto final, el cual cumplirá con la calidad.

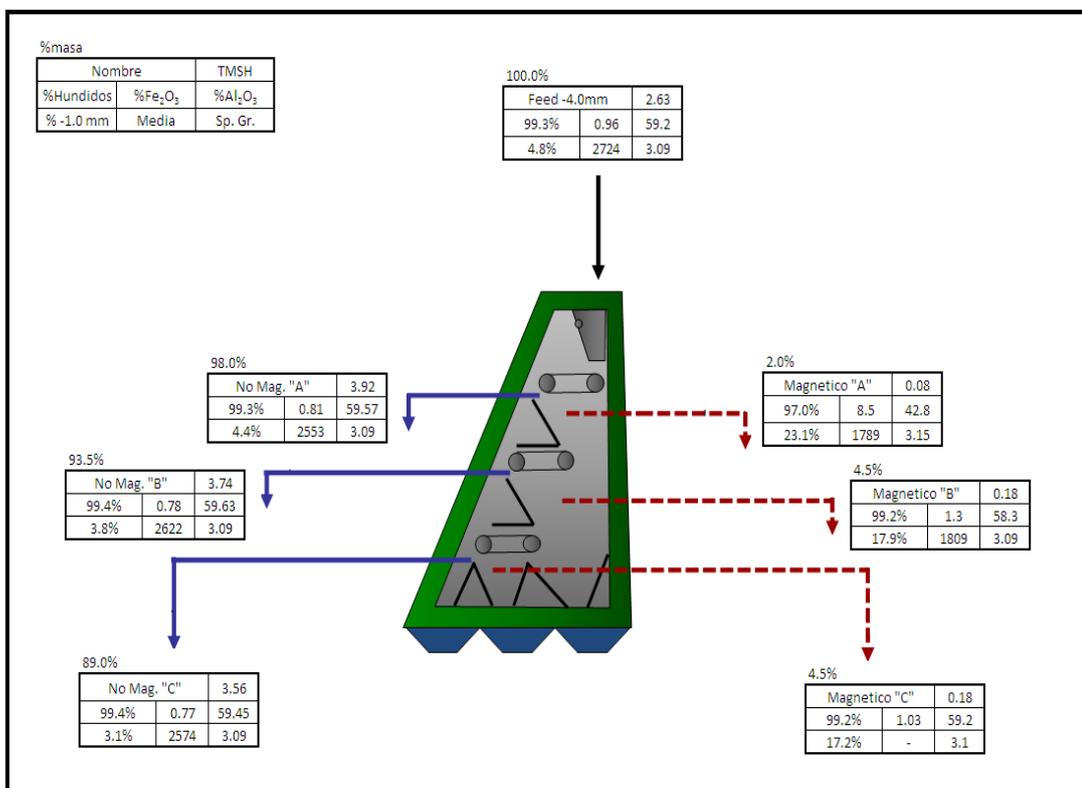


Figura 4.9 Balance Corregido 1A y 1B

4.7.5 Balance del Circuito 2 Corregido

Similarmente se ha corregido los datos de los productos al tercer rodillo magnético, donde el porcentaje de Fe_2O_3 se incrementó a 2.24%, principalmente por su variación con el cambio de mineral.

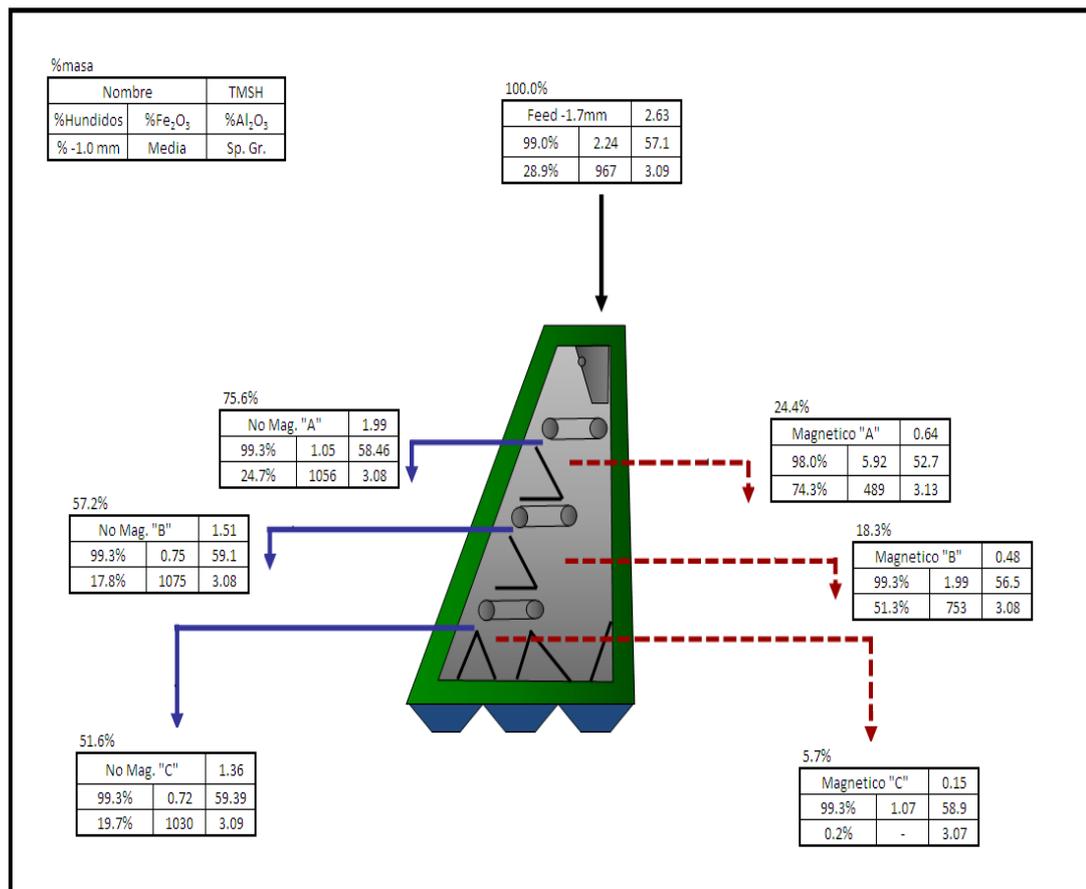


Figura 4.10 Balance Corregido del Circuito 2

4.8 Balance de Masa del Circuito de Separación Magnética

En plano adjunto se observa el balance del circuito de separación magnética, con una alimentación de 8 TPH. La distribución de carga hacia los rodillos magnéticos y rodillos es homogénea.

Se generan un total de 05 productos entre ellos dos productos Premium, dos Baghouse de distintas calidades, y un producto magnético. En el siguiente cuadro se puede apreciar las características de los distintos productos.

Tabla 4.13 Balance de Masa Circuito de Separación Magnética

Producto	Peso		Al ₂ O ₃			Fe ₂ O ₃		
	TPH	%	TPH	%	%W	TPH	%	%W
P4010	7.11	88.91	4.229	59.45	89.6	0.055	0.77	71.46
P1700	0.46	5.77	0.273	59.09	5.8	0.003	0.75	4.55
MF1700	0.35	4.32	0.188	54.35	4	0.015	4.24	19.08
BGH-04	0.01	0.1	0.004	55.68	0.1	0.0001	1.41	0.15
BGH-05	0.07	0.9	0.024	33.33	0.5	0.004	5.07	4.76
TOTAL	8	100	4.718	59	100	0.08	0.96	100

Siendo:

P4010: Concentrado Final de Andalucita (Grano grueso)

P1700: Concentrado Final de Andalucita (Grano fino)

MF1700: Magnético Final (Total)

BGH-04: Polvo de Bag House del Área 04

BGH-05: Polvo de Bag House del Área 05

4.9 Retiro del Producto Magnético del Rodillo “A” de ambos circuitos 1A y 1B

Del análisis realizado a los Rodillos Magnéticos se sugiere retirar la descarga magnética del primer rodillo de los circuitos 1A y 1B con el objetivo de mejorar la operación del circuito.

En la tabla 4.14 se observa los valores a obtener luego de la remoción del producto magnético del Rodillo “A” en los circuitos 1A y 1B, el contenido de Fe_2O_3 de los productos no comercializables es menor, de igual manera el contenido de alúmina se incremento para estos productos (Magnético Fino, Polvo de Bag House del área 05)

Tabla 4.14 Balance luego del Retiro del Producto Magnético

Producto	Peso		Al_2O_3			Fe_2O_3		
	TPH	%	TPH	%	%W	TPH	%	%W
P4010	7.11	88.91	4.229	59.45	89.6	0.055	0.77	71.46
P1700	0.37	4.63	0.219	59.19	4.6	0.003	0.75	3.65
MF1700	0.28	3.46	0.158	57.13	3.4	0.005	1.69	6.10
MG4000	0.16	2	0.068	42.8	1.5	0.013	8	16.68
BGH-04	0.01	0.1	0.004	55.68	0.1	0	1.41	0.15
BGH-05	0.07	0.9	0.039	53.75	0.8	0.002	2.09	1.96
TOTAL	8	100	4.718	59	100	0.077	0.96	100

MG4000: Magnético Gueso

CONCLUSIONES

1. El rango de material con alto contenido magnético con una alimentación de partículas menores a 4.0 mm, se concentra principalmente en el rango de (-2.36, +0.6 mm).
2. Los rodillos magnéticos no se encuentran alimentados homogéneamente, lo que genera sobre carga y provoca una baja en la recuperación en los rodillos.
3. Es necesario realizar una evaluación de la separación de rodillos, para hallar su eficiencia y detectar problemas que se presentarían por distribución en su alimentación y movimiento de cuchillas.
4. Al retirar el producto magnético del rodillo A, de los dos circuitos (1A y 1B) el contenido de Fe_2O_3 bajaría en la alimentación a la zona de chancado bajando de 3.0% a 1.5%, esto implicara una disminución en todos los sub productos, mejorando el proceso de separación en el circuito 2 y se evitará el incremento de material magnético con granos finos.
5. Se tiene la data acerca de las distribuciones de cada producto generado durante la separación magnética que nos permitirá tener un punto de partida para futuras mejoras y/o ampliación del área.
6. No se está tratando el material magnético obtenido del circuito de separación magnética, simplemente se descarta ya que no cumple con las

especificaciones de calidad del concentrado de andalucita; no se cuenta con los equipos adecuados (molinos) para la liberación de este material y posterior recuperación.

7. Para la generación de nuevos productos (Concentrados de grano grueso y grano fino) se deberá tomar en cuenta los análisis valorados que nos dan una idea del comportamiento del contenido de Fe_2O_3 y % de Al_2O_3 para todo el rango de tamaños menores a 4 mm.
8. No se cuantifica el campo magnético generado por los Rodillos Magnéticos ya que no se cuenta con un Gaussímetro para realizar tal medición. Como dato teórico el Rodillo Magnético es fabricado a base de tierras raras que logran alcanzar campos magnéticos de hasta 21 000 Gauss.
9. De los datos obtenidos se podría realizar una redistribución de los Rodillos Magnéticos ya que se comprueba que el producto no magnético del Rodillo B ya está cumpliendo con las especificaciones tanto para alúmina como Fe_2O_3 , en vez de contar con 2 series de 6 rodillos se podría configurar 3 series de dos Rodillos cada una.
10. Es importante recordar que el control del contenido de Fe_2O_3 deberá ser el adecuado ya que este condiciona la calidad del producto final de concentrado de andalucita.
11. De los datos obtenidos del análisis valorado realizado a los productos obtenidos en cada circuito de separación magnética se puede apreciar una

relación inversa entre el contenido de alúmina y contenido de Fe_2O_3 . Cuando el contenido de Fe_2O_3 es alto (mayor a 0.83%), el contenido de alúmina estará por debajo del mínimo requerido (59.2%).

12. Se desea producir a futuro un producto de mayor tamaño de partícula (-8.0 mm), para lo cual se tiene que considerar que el valor máximo de contenido de Fe_2O_3 ya no será el mismo, puesto que los granos de mayor tamaño presentan mayor contenido de $\%\text{Fe}_2\text{O}_3$, ya se han realizado pruebas con este tipo de grano observándose un valor mínimo de contenido de Fe_2O_3 de 0.90%.
13. Es importante señalar que el contenido de Fe_2O_3 también disminuye cuando se realiza una buena operación de Atricción.

BIBLIOGRAFIA

1. Errol G. Kelly, Procesamiento de Minerales.
2. Hatbison Walker, Handbook of Refractory Practice – Classes of Refractories
3. Quiroz Núñez Iván, Ingeniería Metalúrgica
4. J.D. Dana, Manual de Mineralogía Cuarta Edición.

ANEXOS

Anexo N°1 Flowsheet Planta de Beneficio

Anexo N°2 Balance de Masa Corregido

Anexo N°3 Análisis Valorado Circuito 1A

Anexo N°4 Análisis Valorado Circuito 1B

Anexo N°5 Análisis Valorado Circuito 2

Anexo N°6 Productos Comercializables de Andalucita

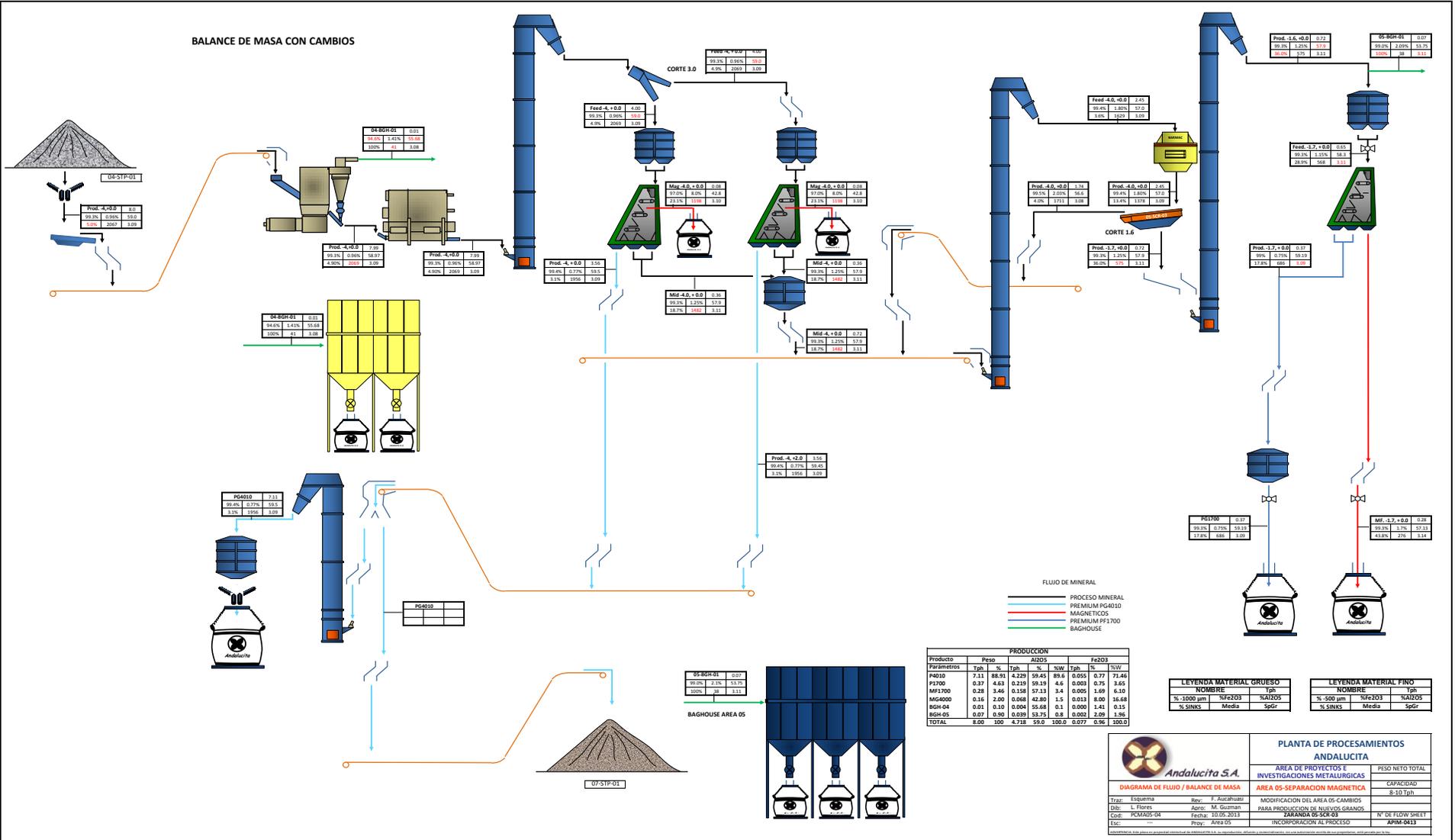
ANEXO N°1

FLWSHEET PLANTA DE BENEFICIO

ANEXO N°2

Balance de Masa Corregido

BALANCE DE MASA CON CAMBIOS



PRODUCCION

Producto	Peso	Al2O3		Fe2O3	
		Tph	%	Tph	%
PG610	7.11	88.91	4.229	59.45	89.6
PF1700	0.37	4.63	0.219	59.19	4.6
MG4000	0.16	2.00	0.06	42.40	1.5
BGH-04	0.01	0.10	0.004	55.68	0.1
BGH-05	0.07	0.90	0.039	55.73	0.8
TOTAL	8.00	100	4.748	59.0	100.0

LEYENDA MATERIAL GRSO

NOMBRE	Tph
% 1000 µm	54.203
% SINKS	Medio

LEYENDA MATERIAL FINO

NOMBRE	Tph
% 500 µm	36.203
% SINKS	Medio



Andalucita S.A.

DIAGRAMA DE FLUJO / BALANCE DE MASA

Dib: L. Flores | Rev: 1 | Escala: 1:1

Cod: PCMAGN-04 | Fecha: 10.09.2013

Elab: | Proy: Area 05

PLANTA DE PROCESAMIENTOS ANDALUCITA

AREA DE PROYECTOS E INVESTIGACIONES METALURGICAS

AREA 05-SEPARACION MAGNETICA

MODIFICACION DEL AREA 05-CAMBIOS PARA PRODUCCION DE NUEVOS GRANOS.

ZARANDA 05 SCR 03

INCORPORACION AL PROCESO

PRM-0013

PESO NETO TOTAL

CAPACIDAD

8-10 Tph

Nº DE FLOW SHEET

PRM-0013

ANEXO N°3

Análisis Valorado Circuito 1A

Anexo N°3 , Analisis Valorado Circuito 1A

Al ₂ O ₃						
Mallas	F	NMA	MA	NMB	MB	NMC
-4.0+3.35	59.51	59.17	0.00	59.42	0.00	59.49
-3.35+2.36	59.40	59.32	35.29	59.12	53.28	59.21
-2.36+1.7	59.46	59.49	36.28	59.69	56.47	59.30
-1.7+1.0	59.52	59.46	40.93	59.72	57.83	59.79
-1.0+0.85	59.43	59.61	43.18	59.26	58.59	59.69
-0.85+0.6	58.97	59.18	43.24	59.73	58.50	59.42

Fe ₂ O ₃						
Mallas	F	NMA	MA	NMB	MB	NMC
-4.0+3.35	0.80	0.86	0.00	0.78	0.00	0.71
-3.35+2.36	0.83	0.79	23.39	0.83	3.91	0.81
-2.36+1.7	0.82	0.75	23.04	0.72	2.09	0.76
-1.7+1.0	0.77	0.65	18.60	0.62	1.42	0.61
-1.0+0.85	0.79	0.56	16.21	0.54	1.10	0.51
-0.85+0.6	0.89	0.56	15.82	0.57	0.99	0.48

SiO ₂						
Mallas	F	NMA	MA	NMB	MB	NMC
-4.0+3.35	37.97	38.14	0.00	37.97	0.00	38.23
-3.35+2.36	38.05	38.23	32.80	38.25	38.42	38.29
-2.36+1.7	38.07	38.17	32.90	38.01	38.35	38.32
-1.7+1.0	38.17	38.45	33.31	38.22	38.16	38.20
-1.0+0.85	38.35	38.50	33.53	38.86	38.11	38.50
-0.85+0.6	38.66	38.97	33.56	38.39	38.35	38.86

K ₂ O						
Mallas	F	NMA	MA	NMB	MB	NMC
-4.0+3.35	0.35	0.42	0.00	0.40	0.00	0.33
-3.35+2.36	0.38	0.36	0.53	0.42	0.82	0.40
-2.36+1.7	0.32	0.32	0.69	0.31	0.69	0.36
-1.7+1.0	0.27	0.25	0.66	0.24	0.49	0.23
-1.0+0.85	0.21	0.18	0.57	0.20	0.34	0.19
-0.85+0.6	0.20	0.18	0.60	0.19	0.34	0.18

Na ₂ O						
Mallas	F	NMA	MA	NMB	MB	NMC
-4.0+3.35	0.09	0.10	0.00	0.09	0.00	0.09
-3.35+2.36	0.09	0.07	-0.13	0.10	0.06	0.10
-2.36+1.7	0.08	0.08	-0.13	0.09	0.08	0.11
-1.7+1.0	0.08	0.07	-0.07	0.08	0.10	0.09
-1.0+0.85	0.07	0.07	-0.05	0.07	0.08	0.09
-0.85+0.6	0.07	0.07	-0.08	0.07	0.09	0.08

MgO						
Mallas	F	NMA	MA	NMB	MB	NMC
-4.0+3.35	0.15	0.15	0.00	0.16	0.00	0.14
-3.35+2.36	0.15	0.15	0.21	0.15	0.19	0.14
-2.36+1.7	0.15	0.14	0.21	0.15	0.17	0.13
-1.7+1.0	0.14	0.13	0.20	0.14	0.15	0.13
-1.0+0.85	0.15	0.13	0.21	0.15	0.14	0.13
-0.85+0.6	0.14	0.12	0.22	0.14	0.14	0.13

CaO						
Mallas	F	NMA	MA	NMB	MB	NMC
-4.0+3.35	0.19	0.22	0.00	0.25	0.00	0.11
-3.35+2.36	0.17	0.16	5.59	0.18	1.57	0.14
-2.36+1.7	0.15	0.14	4.15	0.12	0.44	0.11
-1.7+1.0	0.14	0.10	2.59	0.09	0.23	0.09
-1.0+0.85	0.11	0.11	1.86	0.09	0.15	0.07
-0.85+0.6	0.13	0.10	1.61	0.07	0.16	0.07

TiO ₂						
Mallas	F	NMA	MA	NMB	MB	NMC
-4.0+3.35	0.24	0.25	0.00	0.23	0.00	0.22
-3.35+2.36	0.24	0.23	0.51	0.25	0.57	0.25
-2.36+1.7	0.23	0.23	0.66	0.22	0.59	0.23
-1.7+1.0	0.22	0.20	1.19	0.18	0.49	0.18
-1.0+0.85	0.19	0.16	1.37	0.13	0.40	0.14
-0.85+0.6	0.19	0.14	1.61	0.14	0.34	0.12

MnO						
Mallas	F	NMA	MA	NMB	MB	NMC
-4.0+3.35	0.02	0.01	0.00	0.01	0.00	0.02
-3.35+2.36	0.01	0.01	0.53	0.02	0.08	0.01
-2.36+1.7	0.02	0.01	0.89	0.01	0.04	0.01
-1.7+1.0	0.02	0.01	1.30	0.02	0.03	0.01
-1.0+0.85	0.03	0.01	1.90	0.01	0.03	0.01
-0.85+0.6	0.06	0.01	2.19	0.02	0.03	0.01

P ₂ O ₅						
Mallas	F	NMA	MA	NMB	MB	NMC
-4.0+3.35	0.04	0.03	0.00	0.04	0.00	0.03
-3.35+2.36	0.03	0.04	0.28	0.04	0.09	0.03
-2.36+1.7	0.05	0.03	0.32	0.04	0.07	0.03
-1.7+1.0	0.04	0.03	0.28	0.04	0.09	0.03
-1.0+0.85	0.04	0.03	0.22	0.05	0.06	0.03
-0.85+0.6	0.05	0.03	0.21	0.04	0.07	0.02

Siendo:

- F Feed
- NMA No Magnetico Rodillo "A"
- MA Magnetico Rodillo "A"
- NMB No Magnetico Rodillo "B"
- MB Magnetico Rodillo "B"
- NMC No Magnetico Rodillo "C"

ANEXO N°4

Análisis Valorado Circuito 1B

Anexo N°4, Analisis Valorado Circuito 1B

Al ₂ O ₃						
Mallas	F	NMA	MA	NMB	MB	NMC
-4.0+3.35	58.36	59.28	0.00	58.99	0.00	59.27
-3.35+2.36	58.93	59.14	35.03	59.18	54.98	59.14
-2.36+1.7	59.09	59.19	37.45	59.27	57.12	59.32
-1.7+1.0	59.42	59.34	44.12	59.38	58.24	59.37
-1.0+0.85	59.11	59.27	48.31	59.44	58.45	59.66
-0.85+0.6	58.77	59.03	47.56	59.17	58.53	59.43

Fe ₂ O ₃						
Mallas	F	NMA	MA	NMB	MB	NMC
-4.0+3.35	0.91	0.84	0.00	0.88	0.00	0.84
-3.35+2.36	0.90	0.85	24.48	0.86	3.37	0.84
-2.36+1.7	0.94	0.77	21.51	0.79	1.82	0.77
-1.7+1.0	0.89	0.71	15.13	0.70	1.20	0.68
-1.0+0.85	0.85	0.63	10.51	0.63	0.98	0.59
-0.85+0.6	0.94	0.64	11.11	0.61	0.92	0.54

SiO ₂						
Mallas	F	NMA	MA	NMB	MB	NMC
-4.0+3.35	38.89	38.13	0.00	38.31	0.00	38.18
-3.35+2.36	38.37	38.29	32.41	38.20	38.19	38.27
-2.36+1.7	38.28	38.42	33.21	38.30	38.32	38.31
-1.7+1.0	38.16	38.45	34.19	38.40	38.28	38.47
-1.0+0.85	38.53	38.71	35.58	38.57	38.45	38.44
-0.85+0.6	38.76	38.99	35.30	38.90	38.53	38.73

K ₂ O						
Mallas	F	NMA	MA	NMB	MB	NMC
-4.0+3.35	0.44	0.39	0.00	0.42	0.00	0.37
-3.35+2.36	0.42	0.40	0.51	0.39	0.60	0.40
-2.36+1.7	0.39	0.32	0.74	0.35	0.56	0.35
-1.7+1.0	0.27	0.28	0.78	0.27	0.40	0.29
-1.0+0.85	0.25	0.21	0.56	0.21	0.36	0.19
-0.85+0.6	0.24	0.19	0.64	0.19	0.29	0.18

Na ₂ O						
Mallas	F	NMA	MA	NMB	MB	NMC
-4.0+3.35	0.10	0.09	0.00	0.10	0.00	0.09
-3.35+2.36	0.10	0.09	-0.16	0.09	0.08	0.10
-2.36+1.7	0.09	0.09	-0.09	0.08	0.08	0.08
-1.7+1.0	0.09	0.08	-0.06	0.09	0.08	0.07
-1.0+0.85	0.09	0.07	0.00	0.07	0.09	0.07
-0.85+0.6	0.08	0.07	-0.02	0.07	0.08	0.08

MgO						
Mallas	F	NMA	MA	NMB	MB	NMC
-4.0+3.35	0.14	0.14	0.00	0.15	0.00	0.14
-3.35+2.36	0.14	0.15	0.15	0.15	0.17	0.15
-2.36+1.7	0.13	0.15	0.19	0.14	0.17	0.14
-1.7+1.0	0.13	0.14	0.19	0.14	0.15	0.14
-1.0+0.85	0.13	0.14	0.17	0.14	0.14	0.14
-0.85+0.6	0.13	0.14	0.18	0.14	0.14	0.14

CaO						
Mallas	F	NMA	MA	NMB	MB	NMC
-4.0+3.35	0.22	0.18	0.00	0.20	0.00	0.17
-3.35+2.36	0.18	0.14	5.18	0.19	0.93	0.17
-2.36+1.7	0.15	0.12	3.98	0.13	0.37	0.11
-1.7+1.0	0.12	0.10	2.20	0.11	0.20	0.09
-1.0+0.85	0.13	0.10	1.33	0.09	0.15	0.08
-0.85+0.6	0.13	0.09	1.24	0.09	0.14	0.08

TiO ₂						
Mallas	F	NMA	MA	NMB	MB	NMC
-4.0+3.35	0.25	0.25	0.00	0.26	0.00	0.25
-3.35+2.36	0.26	0.26	0.53	0.25	0.44	0.25
-2.36+1.7	0.24	0.24	0.75	0.24	0.43	0.23
-1.7+1.0	0.23	0.21	1.25	0.21	0.35	0.20
-1.0+0.85	0.20	0.18	1.22	0.17	0.30	0.16
-0.85+0.6	0.20	0.17	1.41	0.15	0.27	0.14

MnO						
Mallas	F	NMA	MA	NMB	MB	NMC
-4.0+3.35	0.02	0.02	0.00	0.02	0.00	0.02
-3.35+2.36	0.04	0.02	0.69	0.02	0.14	0.02
-2.36+1.7	0.02	0.02	0.98	0.02	0.07	0.01
-1.7+1.0	0.02	0.02	0.97	0.01	0.03	0.02
-1.0+0.85	0.04	0.02	1.16	0.02	0.03	0.01
-0.85+0.6	0.06	0.02	1.41	0.01	0.04	0.01

P ₂ O ₅						
Mallas	F	NMA	MA	NMB	MB	NMC
-4.0+3.35	0.04	0.03	0.00	0.03	0.00	0.03
-3.35+2.36	0.03	0.03	0.17	0.03	0.08	0.03
-2.36+1.7	0.04	0.04	0.27	0.04	0.06	0.03
-1.7+1.0	0.03	0.03	0.22	0.04	0.05	0.04
-1.0+0.85	0.04	0.03	0.16	0.04	0.05	0.03
-0.85+0.6	0.04	0.02	0.17	0.04	0.05	0.04

Siendo:

- F Feed
- NMA No Magnetico Rodillo "A"
- MA Magnetico Rodillo "A"
- NMB No Magnetico Rodillo "B"
- MB Magnetico Rodillo "B"
- NMC No Magnetico Rodillo "C"

ANEXO N°5

Análisis Valorado Circuito 2

Anexo N°5, Analisis Valorado Circuito 2

Mallas	Al ₂ O ₃					
	F	NMA	MA	NMB	MB	NMC
+1.0	58.00	58.76	41.39	59.28	55.31	59.21
-1.0+0.85	57.99	58.80	44.82	59.30	55.98	59.40
-0.85+0.6	58.03	58.88	48.22	59.34	56.09	59.36
-0.6+0.5	57.90	58.97	51.96	59.35	57.02	59.53
-0.5+0.212	57.72	59.06	54.46	59.40	57.71	59.72
-0.212	56.06	57.35	55.60	58.77	57.24	58.69

Mallas	Fe ₂ O ₃					
	F	NMA	MA	NMB	MB	NMC
+1.0	1.90	1.20	19.84	0.92	2.99	0.89
-1.0+0.85	1.91	1.05	15.97	0.80	2.52	0.75
-0.85+0.6	1.95	0.95	11.12	0.73	2.20	0.66
-0.6+0.5	1.89	0.86	7.17	0.66	1.74	0.58
-0.5+0.212	1.81	0.75	4.19	0.56	1.20	0.50
-0.212	2.63	1.30	2.72	0.81	1.26	0.86

Mallas	SiO ₂					
	F	NMA	MA	NMB	MB	NMC
+1.0	38.23	38.32	32.60	38.26	38.09	38.36
-1.0+0.85	38.25	38.50	33.29	38.46	38.15	38.45
-0.85+0.6	38.23	38.65	35.50	38.58	38.59	38.67
-0.6+0.5	38.40	38.67	36.74	38.67	38.48	38.65
-0.5+0.212	38.58	38.76	37.79	38.76	38.68	38.62
-0.212	38.53	39.33	38.45	38.99	39.08	39.00

Mallas	K ₂ O					
	F	NMA	MA	NMB	MB	NMC
+1.0	0.39	0.37	0.00	0.34	0.00	0.36
-1.0+0.85	0.37	0.36	0.59	0.29	0.64	0.27
-0.85+0.6	0.31	0.32	0.67	0.27	0.63	0.28
-0.6+0.5	0.35	0.32	0.58	0.29	0.58	0.25
-0.5+0.212	0.40	0.32	0.65	0.31	0.53	0.24
-0.212	0.53	0.60	0.62	0.35	0.56	0.34

Mallas	Na ₂ O					
	F	NMA	MA	NMB	MB	NMC
+1.0	0.08	0.07	0.00	0.08	0.00	0.09
-1.0+0.85	0.07	0.09	-0.08	0.09	0.09	0.09
-0.85+0.6	0.07	0.08	-0.03	0.07	0.11	0.07
-0.6+0.5	0.08	0.10	0.01	0.08	0.10	0.08
-0.5+0.212	0.09	0.09	0.07	0.08	0.10	0.08
-0.212	0.09	0.13	0.08	0.08	0.10	0.08

Mallas	MgO					
	F	NMA	MA	NMB	MB	NMC
+1.0	0.15	0.15	0.15	0.15	0.00	0.14
-1.0+0.85	0.15	0.15	0.17	0.14	0.17	0.15
-0.85+0.6	0.14	0.14	0.15	0.14	0.15	0.13
-0.6+0.5	0.15	0.14	0.17	0.14	0.16	0.14
-0.5+0.212	0.15	0.14	0.16	0.13	0.15	0.13
-0.212	0.15	0.15	0.16	0.13	0.14	0.14

Mallas	CaO					
	F	NMA	MA	NMB	MB	NMC
+1.0	0.29	0.23	2.42	0.15	0.00	0.13
-1.0+0.85	0.27	0.19	1.79	0.12	0.58	0.10
-0.85+0.6	0.27	0.17	1.34	0.11	0.47	0.10
-0.6+0.5	0.28	0.17	1.03	0.11	0.37	0.09
-0.5+0.212	0.29	0.16	0.67	0.11	0.27	0.09
-0.212	0.38	0.28	0.44	0.17	0.28	0.19

Mallas	TiO ₂					
	F	NMA	MA	NMB	MB	NMC
+1.0	0.34	0.32	0.88	0.27	0.00	0.26
-1.0+0.85	0.32	0.29	1.02	0.25	0.71	0.23
-0.85+0.6	0.31	0.25	0.95	0.20	0.62	0.17
-0.6+0.5	0.30	0.20	0.81	0.15	0.43	0.13
-0.5+0.212	0.34	0.15	0.72	0.11	0.26	0.09
-0.212	0.96	0.28	0.77	0.14	0.26	0.15

Mallas	MnO					
	F	NMA	MA	NMB	MB	NMC
+1.0	0.07	0.03	0.00	0.02	0.00	0.02
-1.0+0.85	0.11	0.03	1.28	0.02	0.07	0.01
-0.85+0.6	0.13	0.02	0.94	0.02	0.07	0.01
-0.6+0.5	0.09	0.02	0.42	0.01	0.04	0.01
-0.5+0.212	0.08	0.02	0.21	0.01	0.03	0.01
-0.212	0.11	0.04	0.10	0.02	0.03	0.02

Mallas	P ₂ O ₅					
	F	NMA	MA	NMB	MB	NMC
+1.0	0.06	0.05	0.00	0.04	0.00	0.04
-1.0+0.85	0.06	0.05	0.16	0.03	0.09	0.04
-0.85+0.6	0.05	0.04	0.13	0.04	0.07	0.04
-0.6+0.5	0.07	0.05	0.11	0.04	0.07	0.03
-0.5+0.212	0.05	0.04	0.08	0.04	0.06	0.03
-0.212	0.06	0.05	0.06	0.04	0.05	0.04

Siendo:

- F Feed
- NMA No Magnetico Rodillo "A"
- MA Magnetico Rodillo "A"
- NMB No Magnetico Rodillo "B"
- MB Magnetico Rodillo "B"
- NMC No Magnetico Rodillo "C"

ANEXO N°6

Productos Comercializables de Andalucía

Denominación Comercial	Size	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃
Durandal D 59	5 - 8 mm	59.10%	0.75%
Randalusite	3 - 8 mm	59.50%	0.70%
Durandal D60	3 - 5 mm	60.70%	0.45%
Durandal D 59	3 - 5 mm	59.10%	0.75%
Purusite	0 - 4 mm	58.90%	0.80%
Randalusite	1 - 4 mm	59.50%	0.70%
Durandal D60	1 - 3 mm	60.70%	0.45%
Durandal D 59	1 - 3 mm	59.10%	0.75%
Durandal D57	1 - 3 mm	57.60%	0.80%
Krugerite K57P	0.5 - 3 mm	57.60%	0.80%
Krugerite K55	0.5 - 3 mm	56.60%	1.10%
Durandal D60	0.8 - 1.6 mm	60.80%	0.42%
Kerphalite KA	0.3 - 1.6 mm	58.70%	1.05%
Kerphalite KB	0.3 - 1.6 mm	53.60%	1.35%
Durandal D60	0 - 1 mm	60.80%	0.42%
Durandal D 59	0 - 1 mm	59.10%	0.75%
Durandal D57	0 - 1 mm	57.60%	0.80%
Durandal D60	0.3-0.8 mm	60.80%	0.42%
Durandal D60	0 - 0.5 mm	60.80%	0.42%
Kerphalite KF-50	200 - 400 µm	60.80%	38.10%
Kerphalite KF-60	100 - 400 µm	60.80%	38.10%
Kerphalite KF	50 - 350 µm	60.80%	0.45%
Kerphalite KA	50 - 350 µm	59.10%	0.80%
Kerphalite KF-70	100 - 300 µm	60.80%	38.10%
Kerphalite KF-100	100 - 200 µm	60.80%	38.10%
Kerphalite KF	160 µm	60.80%	0.45%
Kerphalite KA	160 µm	59.10%	0.80%
Kerphalite KB	160 µm	53.60%	1.35%
Kerphalite KF-100	160 µm	60.80%	0.45%
Kerphalite KF	55 µm	60.80%	0.45%
Kerphalite KA	55 µm	59.10%	0.80%
Kerphalite KB	55 µm	53.60%	1.35%
Kerphalite KF-200	55 µm	60.80%	38.10%
Kerphalite KF-325	45 µm	60.80%	0.45%
Purusite	10 µm	58.90%	0.80%
Purusite	5 µm	58.90%	0.80%
Purusite	2 µm	58.90%	0.80%