

Diseño, construcción y puesta en marcha de un concentrador magnético tipo tambor nivel de laboratorio

Design, construction and set in functions of a magnetic concentrator drum type at laboratory level

Ing. Esp. Álvaro Forero Pinilla*
Ing. Héctor Hely Alarcón Sichacá**
Ing. Yesid Rolando Acosta Hernández***

Resumen

El objeto del presente proyecto es diseñar y construir un equipo de separación magnética, partiendo desde la selección del prototipo hasta establecer los fundamentos del diseño previamente establecido. Se identifican y analizan los principales criterios que se deben tener en cuenta para ser incorporados en cualquier diseño y construcción de un concentrador magnético.

Palabras claves: Magnetita, concentrador, magnetos, beneficio.

Abstract

The objective of the present project is to design and to construct an equipment of magnetic separation, starting off from the selection of the prototype to establishing the foundations of the design previously established. The main criteria are identified and analyzed that are due to consider to be incorporated in any design and construction of a magnetic concentrator;

Key Words: Magnetite, concentrator, magnetos, benefit.

* Ingeniero Metalúrgico. Docente UPTC. Director Grupo de Investigación Materiales Siderúrgicos.

** Ingeniero Metalúrgico. Integrantes del grupo de Investigación Materiales Siderúrgicos.

*** Ingeniero Metalúrgico. Integrantes del grupo de Investigación Materiales Siderúrgicos.

Introducción

La concentración magnética es el método de separación de minerales que aprovecha las diferencias de las propiedades magnéticas de sus constituyentes. La separación magnética es un proceso importante en el beneficio de menas de hierro, así como también encuentra aplicación en el tratamiento de minerales no ferrosos.

Este proyecto se elabora por integrantes del grupo de investigación de Materiales Siderúrgicos a partir de una evaluación en cuanto a su diseño para seleccionar los diferentes tipos de materiales destinados a su construcción los cuales deben estar normalizados y estandarizados bajo normas técnicas; luego se procede a la consecución de los materiales y a la construcción del concentrador tipo tambor, optimizando su funcionamiento con muestras patrón de mineral y varios ensayos para la calibración y puesta en marcha del dispositivo.

1. Marco Teorico

Los separadores magnéticos aprovechan la diferencia en las propiedades magnéticas entre los minerales componentes de la mena y se usan para separar los minerales valiosos de la ganga no magnética, por ejemplo la magnetita del cuarzo, o los contaminantes magnéticos u otros minerales valiosos de los valores no magnéticos. Un ejemplo de esto es el mineral de casiterita asociado con trazas de wolframita y de magnetita que se extraen mediante separadores magnéticos.

1.1 Separadores Magnéticos[1]

Los elementos de diseño que se incorporan en todos los separadores magnéticos, ya sean de alta o baja intensidad o para trabajar en seco o en húmedo, se relacionan con suministrar un campo de alta intensidad en el cual haya un alto gradiente de campo. El método más directo para producir un campo convergente es preparar un polo en forma de V sobre un polo plano. El ahusamiento del polo superior concentra el flujo magnético dentro de una pequeña área que da una muy alta intensidad. El polo plano más abajo tiene el

mismo flujo magnético distribuido dentro de un área mayor, por consiguiente hay un gradiente de campo muy alto a través del espacio en virtud de los diferentes niveles de intensidad.

Los separadores magnéticos comerciales son máquinas de proceso continuo y la separación se lleva a cabo en una corriente móvil de partículas que pasan hacia el interior y a través del campo magnético.

1.2 Síntesis del Dispositivo

Los separadores tipo tambor son los dispositivos más comunes que se usan actualmente para la separación y concentración de menas de hierro finamente molidas (entre 100 y 150 mallas). Las máquinas de concentración magnética del tipo tambor consisten esencialmente de un sistema transportador, de un material no magnético, que es un tambor rotatorio (forma cilíndrica), dentro del cual se dispone un sistema generador magnético que comúnmente esta compuesto de varios magnetos permanentes con polaridad alternadas. El sistema de magnetos es fijo, mientras que el tambor rota sobre este sistema. La distribución de los magnetos, permite que el material magnético sea atraído hacia la superficie del tambor, en donde se transporta fuera del campo magnético y se descarga separado de la ganga. El mineral, previamente preparado, se carga en la tolva receptora, que descarga el mineral sobre un sistema alimentador, que finalmente dirige el mineral hacia el tambor, en donde ocurre la separación del mineral altamente susceptible al campo magnético y el mineral no magnético.

2. Diseño

La selección del diseño definitivo del concentrador magnético, viene siendo determinado por ciertos elementos que deben tenerse en cuenta para ser incorporados en cualquier dispositivo de esta naturaleza. Cada uno de estos elementos proporciona un punto de partida que permiten llegar a los detalles del diseño definitivo. Los requisitos a tener en cuenta son:

- Suministro de un campo magnético de alta

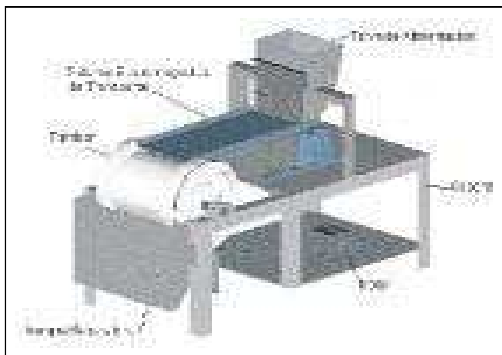
intensidad con un alto gradiente de campo.

- Regulación de la intensidad de campo magnético para varios tipos de intensidad.
- Control en la velocidad del paso y en el sistema del transporte de las partículas a través del campo magnético.
- Determinación de las características del material alimentado.

2.1 Diseño Detallado

Para lograr una mejor descripción de los dispositivos del equipo, es necesario dividirlo en sus partes componentes, para así, profundizar en cada una de ellas y obtener finalmente sus características específicas. En la figura 1 se observa un diseño del concentrador magnético.

Figura 1. Concentrador magnético tipo tambor

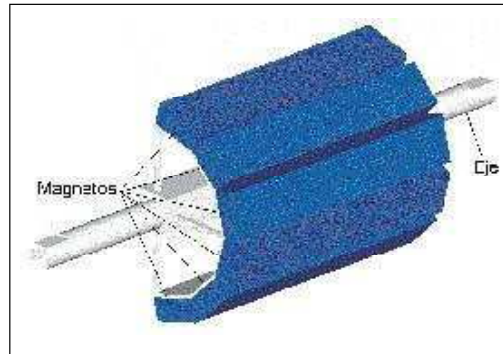


Fuente: El autor

2.1.1 Fuente magnética. Es la encargada de generar el campo magnético que atrapa las partículas magnéticas del mineral. La geometría seleccionada para la disposición del sistema es la de Bloque. Para obtener un campo de alta intensidad se debe tener polos alternados con orientación de la polaridad también alternada consecutivamente, como se muestra en la figura 2. Para esto se ubican 6 magnetos con polaridad alternada consecutivamente; los cuales

presentan una orientación de la polaridad a través del espesor.

Figura 2. Configuración del Sistema Magnético.



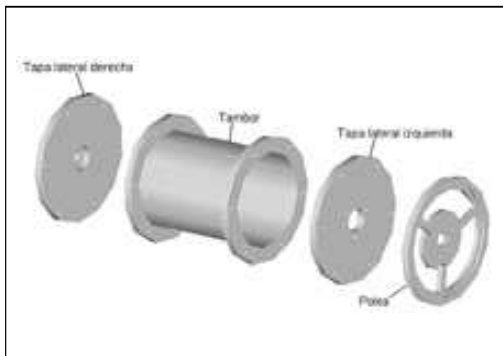
Fuente: El autor.

El material seleccionado para el magneto permanente es un imán de tierras raras de Neodimio-Hierro-Boro (Nd Fe B), ya que por sus excelentes propiedades permite ser mecanizado, se puede magnetizar en cualquier dirección y tiene un bajo costo. Los materiales magnéticos de Nd Fe B presentan valores de $(BH)_{\max}$ de hasta 300 KJ/m^3 ($45\text{MG}\cdot\text{Oe}$). Para soportar el sistema magnético se utiliza una lamina de acero al carbono doblada, dibujando el contorno de la ubicación de cada magneto; la cual esta sujeta fijamente a una eje que cumple con la función de sostener el sistema magnético y servir de eje de rotación del sistema de transporte del material a concentrar.

2.1.2 Sistema de transporte. El sistema está compuesto por un tambor rotatorio conectado a un motor por medio de un sistema de transmisión por correa. Esta conformación sirve para la conducción indirecta de fuerzas a cierta distancia, desde un motor a un árbol de arrastre. La transmisión de la fuerza tiene lugar mediante el frotamiento de una correa sobre la polea de los árboles. Este tipo de transmisión tiene las ventajas de disminuir los choques, amortiguar oscilaciones y suavizar su funcionamiento. El tambor rotatorio tiene la función de transportar las partículas que son atraídas hacia los polos del magneto y llevarlas fuera de la influencia del campo magnético hacia un sitio donde se descarga el mineral ya concentrado. El material que reúne las condiciones

para ser empleado en esta aplicación es el acero inoxidable austenítico, que no se magnetiza, pero es permeable al campo magnético. El tambor rotatorio esta conformado por 4 piezas acopladas; un tambor, dos tapas laterales, y una polea para la transmisión del movimiento (ver la figura 3).

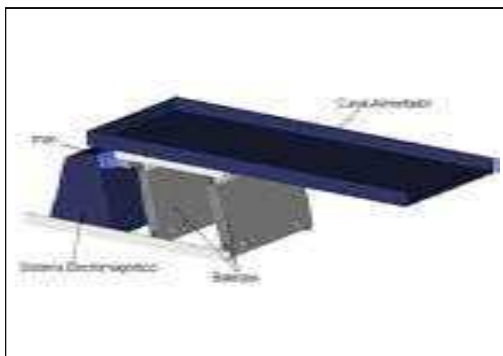
Figura 3. Despiece sistema rotatorio.



Fuente: El autor.

2.1.3 Sistema Alimentador. Debe proporcionar una alimentación de material uniforme y constante al tambor. Dentro de los diferentes tipos de alimentadores existentes se encuentran los equipos electromecánicos, neumáticos y electromagnéticos. El equipo seleccionado es el sistema alimentador electromagnético, debido a ventajas que ofrece como la posibilidad de regular el caudal de alimentación, facilitar la manipulación de la carga y sus bajos costos de mantenimiento. Ver figura 4.

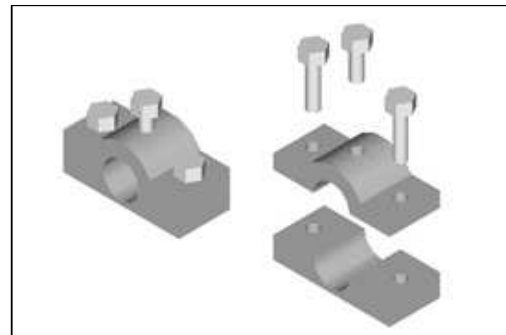
Figura 4. Sistema Alimentador Electromagnético.



Fuente: El autor.

2.1.4 Soporte Estructural. Tiene la función de sostener y acoplar cada uno de los sistemas descritos anteriormente. El material seleccionado es un acero al carbono, ya que los esfuerzos que soporta son el peso de los demás componentes del equipo. Figura 5.

Figura 5. Abrazadera para ajustar y fijar el eje del sistema magnético.

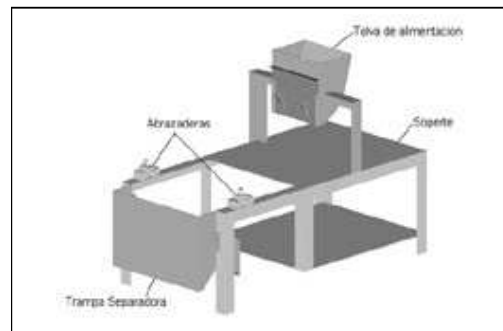


Fuente: El autor.

Otro componente muy importante que integra el soporte es la trampa separadora del mineral; ella cumple la función de dar límites a dos zonas en las que se descarga el mineral.

Encima del sistema vibrador se encuentra una tolva de alimentación y distribución, con una capacidad para almacenar un volumen de 4000 cm³ de mineral preparado. La función principal de la tolva es descargar el mineral sobre el canal transportador. En la figura 6 se muestra la disposición de la trampa separadora, la tolva de alimentación y las abrazaderas en soporte estructural.

Figura 6. Soporte Estructural.



Fuente: El autor.

3. Equipo Construido

En la figura 7 se presenta el equipo construido fundamentado en los diseños anteriormente descritos.

Figura 7. Concentrador magnético tipo tambor construido



Fuente: El autor

4. Preparación Mecánica del Mineral de Magnetita [3] y [4]

Este procedimiento se hace para concentrar el mineral por vía seca y optimizar la eficiencia del concentrador magnético.

El mineral se encuentra en trozos; este se fragmenta en una trituradora de mandíbula, donde se reduce de tamaño en trozos de +/- 1", luego se lleva a un molino de disco y se obtiene un mineral fino, posteriormente se realiza una clasificación en una en una serie de tamices vibratorios.

Se obtienen 3 muestras del mineral con las siguientes granulometrías:

- 4000 gr. Malla 60.
- 1000gr. Malla 100.
- 1000gr. Malla 150.

El peso total de la muestra es de 6000 g , el cual se deposita en la tolva receptora, la que descarga sobre una bandeja vibratoria, dirigiendo el mineral hacia el tambor, donde ocurre la separación del mineral

altamente susceptible al campo magnético y la ganga no magnética.

En las operaciones de concentración de minerales no se alcanza una separación completa de las partículas de mineral y ganga, es necesario recircular los productos obtenidos, para lograr aumentar la relación de concentración. El mineral circula por el concentrador en tres ocasiones, hasta obtener una retención total de material magnético. El tiempo total en el que se realizó la práctica fue de 15 min.

5. Caracterización del Mineral

Al mineral de magnetita se le realizaron los siguientes análisis: petrográfico, químico (absorción atómica y volumétrico). [5][8]

5.1 Petrografía. Se trabajaron dos tipos de probetas; una en sección pulida y otra en sección delgada para el análisis.

5.1.1 Descripción macroscópica [9]

Aspecto: Material granular complejo de alto peso específico, magnético con presencia de minerales opacos y translucidos.

Color: Gris oscuro a negro con ocasionales partículas irregulares de color amarillo latón (minerales opacos), venillas de color blanco lechoso con minerales romboédricos presentando buena exfoliación y aglomerados finos de color verdoso (minerales translucidos)

Color de Raya: Gris oscuro a negro.

Dureza: De 5 – 6 en la escala de Mohos.

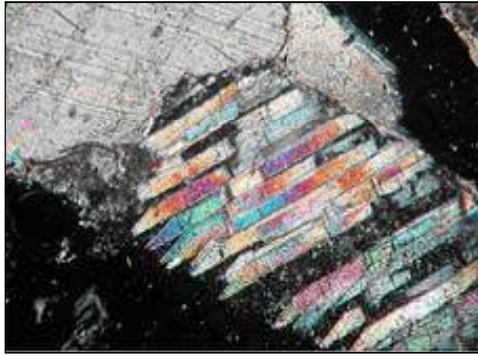
Habito: Granular con excoriaciones finas.

Descripción Microscópica (Sección delgada)

Asociación de minerales translucidos y metálicos. Entre los minerales translucidos se presentan silicatos de calcio y magnesio, carbonatos de calcio así: Piroxenos, wollestonita, granates y calcita. Los metálicos

principales son magnetita, calcopirita y blenda. Estos últimos son cruzados por venas y venillas de calcita y mezcla de piroxenos (diopsido), wollostonita (euhedrales y con forma tabular).

Figura 8. Calcita maclada y con alta birrefringencia. (S. delgada. Nicoles cruzados. (10X))



Fuente: Laboratorios UPTC Sogamoso.

COMPOSICIÓN MINERALÓGICA DE TRASLUCIDOS

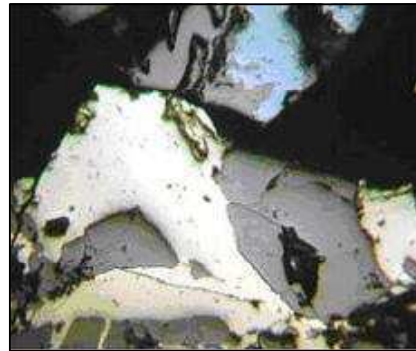
CALCITA	31.61%
WOLLOSTONITA	16.77%
GRANATE	12.25%
PIROXENO	12.25%
BLENDA	12.31%
CUARZO	6.45%
SERPENTINA	5.16%
CLORITA	3.20%
TOTAL	100.00%
DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA (probeta pulida)	

El material analizado presenta asociaciones de minerales opacos de hierro, cobre y zinc principalmente compuestos por magnetita, blenda, calcopirita, pirita, calcosina, bornita y covelina; con otros traslucidos. La magnetita es el mineral más abundante y se presenta masivamente con múltiples escoriaciones microscópicas, su color gris oscuro, su isotropismo y su fácil pulido lo evidencian.

COMPOSICIÓN MINERALÓGICA DE OPACOS

MAGNETITA	75.80%
BLENDA	13.40%
CALCOPIRITA	6.60%
PIRITA	2.40%
CALCOSINA	1.80%
BORNITA	TRAZAS
COVELINA	TRAZAS
TOTAL	100.00%

Figura 9. Calcosina (azul) en magnetita y calcopirita rellenando fracturas de magnetita (amarillo latón). (Probeta pulida. Nicoles paralelos. 50X aceite.)



Fuente: Laboratorios UPTC Sogamoso.

Nota: la composición de los minerales opacos efectivos totales en la muestra (incluyendo los traslucidos) es:

MAGNETITA	52.31%
BLENDA	9.25%
CALCOPIRITA	4.55%
PIRITA	1.65%
CALCOSINA	1.24%
TRASLUCIDOS	<u>31.00%</u>
TOTAL	100.00%

5.1.2 Análisis Químico. Para este tipo de análisis se tomaron muestras representativas del mineral, y se prepararon en tamaños de acuerdo con los requerimientos de los procedimientos seleccionados en diferentes fuentes bibliográficas consultadas (ver anexo A).

Los resultados de las marchas químicas se encuentran en la tabla 1.

Tabla 1. Contenido en porcentaje de elementos presentes en la muestra.

Elemento	Contenido (%)
Hierro	42.33
Magnesio	0.75
Silicio	10.61
Manganeso	0.61
Calcio	16.54

Fuente: El autor.

6. Análisis de Resultados

La relación de concentración, que se obtiene de relacionar el peso de la alimentación del mineral en el concentrador, con el peso de los concentrados, se indica en la tabla 2.

Tabla 2. Resultados de muestras.

Muestra	Peso(g)	Mallas	Pasadas	Tiempo (min.)	Retención(g)		Mineral Magnético concentr.
					ganga	concentr.	
1	1000	60	3	15	425	575	57.5
2	1000	100	4	20	400	600	60.0
3	1000	150	4	20	400	600	60.0

Fuente: Autor

Los productos obtenidos en la concentración se pueden observar en la figura 10.

Figura 10. Ganga (izquierda) y mineral magnético (derecha) resultantes de la concentración.



Fuente: Autor

7. Conclusiones

Las variables de diseño más destacadas, que se deben tener en cuenta para la incorporación en un concentrador magnético se relacionan con la generación de los campos magnéticos, con el tiempo de permanencia de las partículas bajo el campo magnético, el tipo de sistema de transporte del mineral y a las características del mineral alimentado

Para concentrar mineral magnéticamente, es necesario prepararlo mecánicamente hasta una granulometría fina es decir entre mallas 100-150-200, para lograr una aceptable separación.

El medio de transporte para las partículas es el tambor, fabricado de acero inoxidable austenítico 304. Este material proporciona las propiedades magnéticas deseadas, ya que no se magnetiza, pero es permeable al campo magnético

Para lograr que el material sea arrastrado y llevado fuera del contacto magnético, fue necesario que se desbastara la superficie del tambor con una pulidora de disco.

La ubicación de campos magnéticos alternados, que están dispuestos con inversión sucesiva de la polaridad y el ahusamiento de los polos en la fuente generadora del campo, disminuye el arrastre de ganga en el concentrado por el fenómeno de la floculación o aglomeración y generan campos magnéticos de alta intensidad con gradientes de campo altos.

El equipo seleccionado para el accionamiento de la bandeja vibratoria es el sistema alimentador electromecánico, debido a ventajas que ofrece como la posibilidad de regular el caudal de alimentación, facilitar la manipulación de la carga y sus bajos costos de mantenimiento.

La aplicación del equipo se relaciona directamente con la concentración de minerales permeables a los imanes como magnetita, ilmenita, pirrotina y óxidos de hierro (limonitas, goletitas, hematites) previamente calentados.

8. Referencias

- [1] OTERO DE LA GANDARA, J. L. Operaciones de Separación en Metalurgia Extractiva. Madrid: Alhambra, 1976. p. 37–67.
- [2] INSTITUTO GEOGRAFICO AGUSTIN CODAZZI, Diccionario geográfico Colombiano, 2 ed, Bogota: Arco. 1980.
- [3] WILLS, B. A. Tecnología de procesamiento de minerales. México : Limusa, 1987. p. 421 - 431.
- [4] CORNELIS, Klein y CORNELIUS., Hurlbut. Manual de Mineralogía. 4 ed. Barcelona : Reverté, 1996. p. 299- 303.
- [5] PROSKE, O y ENSSLIN, F. Análisis de Metales : Toma de muestras. Madrid : Aguilar, 1966.
- [6] KRYNINE, Dimitri P y JUDD, William R. Principios de Geología y Geotecnia para Ingenieros. Barcelona : Omega, 1961. p. 22-28.
- [7] MCKINSTRY, Hugh Exton. Geología de Minas. Barcelona : Omega, 1977. p. 154-156.
- [8] CARTESEGNA, Domenico. Manual del Químico y del Ensayador : Colección de métodos de análisis y ensayos. La paz : América, 1972.
- [9] KRAUS, Edward Henry y ed al. Introducción al Estudio de Minerales y Cristales. Quinta edición. New York : Mc Graw Hill, 1965.

Fecha de recepción: 5 de junio de 2006
Fecha de aprobación: 5 de julio de 2006

