

CONCENTRACIÓN DE MINERALES DE TITANIO CONTENIDOS EN LAS ARENAS DE PLAYAS DE LA REGIÓN DE ATACAMA-CHILE

Luís Valderrama C.

IDICTEC - Universidad de Atacama - Chile

luis.valderrama@uda.cl

RESUMEN

El presente trabajo tiene como fin caracterizar y concentrar minerales de titanio contenidos en las arenas de playas de la Región de Atacama. El análisis mineralógico indicó que los principales constituyentes son cuarzo, feldespato, ilmenita, titanita, rutilo y trazas de circonita, monacita y wolframita. Los análisis químicos indican que la ley de TiO_2 es de 2,3% y 3,15% para las arenas de Huasco y Caldera, respectivamente. Al retirar el material sobre 0,300 mm, se produce una preconcentración, aumentando las leyes de TiO_2 a 5,33% para Huasco y 6,48% para Caldera. Las pruebas de concentración gravitacional fueron realizadas en una mesa Wilfley, y fueron estudiados diferentes ángulos de inclinación de la mesa, para la concentración primaria (2,5°; 3,0°; 3,5° y 4,0°) y la limpieza (5,0°; 5,5; 6,0° y 6,5°) respectivamente. Los mejores resultados fueron obtenidos usando un ángulo de inclinación de 3,0° para la concentración primaria y 6,0° para limpiar el concentrado. Con estos resultados se diseñó un circuito para las arenas de Huasco, lográndose un concentrado final con una ley de 46,0% de TiO_2 y una recuperación de 21,2%, y para Caldera, se obtuvo un concentrado final de 51,3% TiO_2 con una recuperación de 17,4%.

PALABRA CLAVES: Arenas de playa, Ilmenita, Concentración gravitacional.

CONCENTRATION OF TITANIUM MINERALS CONTAINED IN BEACH SANDS OF THE ATACAMA REGION -CHILE

ABSTRACT

The present work has the objective of characterizing and concentrating titanium minerals contained in beach sands of Atacama Region. The mineralogic analysis indicated that the main components are quartz, feldspar, ilmenite, titanite, rutile and traces of circonite, monacite and wolframite. The chemical analyses indicate that the grade of TiO_2 is of 2.3% and 3.15% for sands of Huasco and Caldera respectively. When retiring the material over 0.300 mm, a preconcentration is produced, increasing the TiO_2 grade up to 5.33% for Huasco and 6.48% for Caldera. The gravitational concentration tests were made in a table Wilfley, and different slope angles of the table were studied for primary concentration (2,5°; 3,0°; 3,5° and 4,0°) and cleaning (5,0°; 5,5; 6,0° and 6,5°) respectively. The best results were obtained using a slope angle of 3,0° for primary concentration and 6,0° for cleaning the concentrated. With these results a circuit was designed for Huasco sands, obtaining a final concentrate with a grade of 46.0% of TiO_2 and a recovery of 21.2%, and for Caldera sand, it was obtained a final concentration of 51.3% of TiO_2 with a recovery of 17.4%.

KEY WORDS: Beach sands, Ilmenite, Gravitational concentration

CONCENTRAÇÃO DE MINERAIS DE TITÂNIO CONTIDOS EM AREIAS DE PRAIAS DA REGIÃO DE ATACAMA-CHILE

INTRODUCCIÓN

El titanio es un elemento abundante en la corteza terrestre, siendo excedido sólo por otros ocho elementos (O, Si, Al, Fe, Ca, Na, K y Mg). Existen numerosos minerales de titanio, sin embargo, sólo unos pocos están en volúmenes y concentraciones explotables económicamente.

El titanio metálico es poco reactivo a temperatura ambiente, pero cuando es calentado forma compuestos estables, duros y refractarios. El titanio es resistente a la mayoría de los ácidos orgánicos, al ácido clorhídrico y sulfúrico diluidos, a los gases y soluciones conteniendo cloro. Debido a sus propiedades como la densidad, elevada tenacidad, elevado punto de fusión, gran resistencia a la corrosión, elevada resistencia mecánica, estabilidad térmica y elevada blancura, el titanio es utilizado en diversas aplicaciones, desde la fabricación de turbinas para aviones supersónicos hasta prótesis dentarias. Por estas razones el titanio es considerado un metal de importancia estratégica (1).

El titanio es encontrado en meteoritos y en rocas lunares; en la corteza terrestre se encuentra combinado generalmente con oxígeno y hierro. Los principales minerales económicamente importantes son el rutilo, ilmenita, anatasa y leucoxeno.

La producción de titanio es obtenida a partir de depósitos primarios o secundarios. En los depósitos primarios, el rutilo raramente es encontrado en concentraciones económicamente aprovechables. En los depósitos secundarios ocurren en forma de placeres, localizados en áreas de playas o próxima a las mismas. En estos placeres el cuarzo es el mineral predominante, además puede contener los minerales de ilmenita, rutilo y otros minerales de interés económico como circonita y monacita.

En ambos tipos de depósito, la ilmenita es siempre más común que el rutilo, siendo las reservas de ilmenita a nivel mundial mucho mayores que las de rutilo.

En el año 2005, la producción total de ilmenita fue de 4.800.000 toneladas métricas y los mayores productores fueron Australia, África del Sur y Canadá, mientras que la de rutilo fue de 360.000 toneladas y los países productores son Australia, África del Sur y Ucrania. Australia es el mayor productor mundial de concentrado de minerales de titanio, aportando con un 24% de la producción mundial de ilmenita y 45% de la producción de rutilo (2).

En Chile, la empresa Withe Mountaine Titanium Corporation pretende explotar el yacimiento Cerro Blanco, ubicado en la comuna de Huasco, en la Región de Atacama. Se estiman reservas de 100 millones de toneladas de rutilo, con leyes de 1,86% de TiO_2 . El proyecto considera la construcción de una planta para concentrar el mineral y exportar los concentrados.

El titanio se encuentra presente en cerca de 45 minerales, pero los depósitos con viabilidad económica son la ilmenita, rutilo, anatasa, leucoxeno y titanita.

La ilmenita es un óxido de hierro y titanio, cuya fórmula es FeTiO_3 , con una composición teórica de 36,8% de Fe, 31,6% de Ti y 31,6% de O. La relación entre el hierro y el titanio varía simplemente por el contenido de óxido férrico. La transformación de hierro ferroso a férrico es comúnmente a la oxidación del mineral. La forma cristalina de la ilmenita es alterada a una mezcla amorfa de FeO , Fe_2O_3 y TiO_2 según un proceso de intemperismo muy lento. La lixiviación del hierro ocurre por la acción del agua, resultando un aumento en la ley de TiO_2 , y el producto final de esta alteración puede ser rutilo, anatasa o leucoxeno. Las especies resultantes de esta alteración de la ilmenita son conocidas como minerales secundarios de titanio (3).

La ilmenita tiene una dureza de 5,5 – 6,0; peso específico 4.700 kg/m^3 ; brillo metálico a submetálico; color negro de hierro; raya negra o rojo castaño; es opaco; puede ser magnético sin necesidad de calentarlo. Los principales minerales que acompañan a la ilmenita son la circonita, hematina, magnetita, rutilo, apatita, monacita, calcita, olivita, pirrotina, biotita, albita y cuarzo.

El rutilo es un dióxido de titanio, TiO_2 , cuya composición química es 60% de Ti y 40% de O. Normalmente contienen un poco de hierro, pudiendo el porcentaje de éste llegar a 10%. Sus principales características son dureza 6 – 6,5; peso específico $4.180 - 4.250 \text{ kg/m}^3$; brillo adiamantino a submetálico; raya castaño pálido; normalmente son traslúcidos, y en ocasiones transparente. Especies similares son la anatasa y la brookita (4).

El principal uso del titanio se encuentra en la fabricación de pigmentos, donde se usa en la forma de dióxido de titanio finamente pulverizado. También es ampliamente usado en la industria del papel y en la industria del caucho y plásticos. Debido a su elevada resistencia mecánica, bajo peso específico y una sobresaliente resistencia a la corrosión, hace que sea de gran aplicación en la industria aeronáutica y aeroespacial, especialmente en aplicaciones militares (misiles, cohetes, cápsulas espaciales, aviones de alta velocidad, etc). Un uso especial y creciente se encuentra en la cirugía de huesos, debido tanto a su bajo peso como a su fuerza y especialmente a su completa resistencia a los fluidos corporales (5).

Como la ilmenita tiene una elevada densidad y en términos de susceptibilidad magnética es clasificada como un mineral magnético y fuertemente magnético (5.000 a 10.000 Gauss) y se comporta como un mineral conductor. Por lo tanto la concentración de la ilmenita, puede ser realizada por métodos gravitacionales y magnéticos (6). Para la concentración gravitacional de la ilmenita pueden ser usados equipos tales como espirales, mesas concentradoras, conos Reichert y jig. La flotación es usada para la concentración de los finos naturales o los generados en los circuitos de molienda, que en los circuitos de concentración gravitacional son inadecuados para tratarlos (7, 8).

En los depósitos de placeres el mineral está en forma de arena, no siendo necesarias las etapas de conminución. El mineral está constituido por ilmenita, rutilo, y otros minerales pesados (circonita, y monacita, por ejemplo), y cuarzo como el principal mineral constituyente de ganga.

El proceso de concentración que se aplica para el tratamiento de arenas de playa es iniciado con la remoción del material grueso. Los depósitos de arenas de playas poseen características especiales que favorecen la concentración gravitacional, ya que la granulometría de los minerales de titanio se encuentra en las fracciones granulométricas entre 1.500 a 74 micrómetros. La concentración gravitacional por vía húmeda

generalmente es realizada en espirales y/o conos Reichert, para eliminar el cuarzo y otros minerales livianos. El concentrado primario de minerales pesados es secado (generalmente en hornos rotatorios) y, en seguida, es sometido a separación magnética y separación electrostática.

Un concentrado de ilmenita es obtenido en la separación magnética. La fracción no magnética es procesada en etapas de separación electrostática de alta intensidad de campo, para remover el rutilo y algunas fracciones de ilmenita residual. La recuperación depende de la granulometría del mineral, obteniéndose recuperaciones más elevadas con minerales gruesos.

Este trabajo de investigación muestra los resultados de la caracterización química, granulométrica y mineralógica de las arenas de playa de Huasco y Caldera en estudio, como también los resultados de la concentración gravitacional en mesa Wilfley a que fueron sometidas. Los resultados obtenidos indican que es posible concentrar estas arenas con leyes y recuperaciones aceptables.

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

El procedimiento experimental usado en este estudio consistió en la toma y clasificación por tamaño de la muestra, mediante análisis granulométrico en húmedo. El material fue clasificado en húmedo en tamices ASTM de abertura de 0,600 mm, 0,425 mm, 0,300 mm, 0,212 mm, 0,150 mm, 0,106 mm, 0,075 mm y menos 0,075 mm respectivamente.

La etapa siguiente consistió en moler todas las fracciones granulométricas obtenidas y analizarlas químicamente por técnicas de espectrometría de fluorescencia de rayos X. Los análisis mineralógicos fueron realizados a través de la conjugación de técnicas de microscopía óptica de polarización por luz transmitida, difracción de rayos X, fluorescencia de rayos X y microscopía electrónica. En estos análisis fueron usados los siguientes equipos: microscopio óptico marca Zeiss, fluorescencia de rayos X por medio de un espectrómetro Siemens SRS 3000, difracción de rayos X en un equipo Siemens D 5000 y microscopio electrónico de barrido marca Jeol 5410.

Las pruebas de concentración gravitacional fueron realizadas en una mesa Wilfley de laboratorio. Para el tratamiento y proceso de concentración de las arenas de playa, se programó un set de pruebas preliminares para apreciar el comportamiento del material en la mesa, definir los ángulos de inclinación de la mesa, el largo de carrera, los golpes por minuto del equipo concentrador. Además, se determinó el rango del caudal de agua de lavado, y se determinó realizar las pruebas de concentración con el material en forma de pulpa. Para este efecto, se realizaron ensayos cualitativos con diferentes porcentajes de sólidos (20%, 25%, 30%, 40%) para evaluar el comportamiento del sistema de bombeo disponible y la capacidad de tratamiento de la mesa vibratoria.

Una vez definidas las condiciones de operación del conjunto mesa-unidad de agitación-sistema de bombeo y establecido el porcentaje de sólidos en la pulpa de 25%, se utilizó el procedimiento que se detalla a continuación:

Se prepararon 16 muestras representativas de cada una de las arenas Huasco y Caldera, de 550 g y 575 g respectivamente, embolsadas e identificadas. Para cada material embolsado

se preparó la pulpa respectiva con 25% de sólido en el reactor de agitación, se le dio un tiempo de acondicionamiento de 5 minutos, procediendo a ser vertida mediante bombeo por el sector de alimentación de la mesa, con ángulo de inclinación y condiciones de operación conocidas; obteniéndose en las diferentes zonas de descarga de la mesa el concentrado, mixto, relave y lamas. Para lograr una cantidad adecuada de los diferentes productos de la mesa se realizaron 4 pruebas en continuo para cada material. Estos materiales (concentrado, mixto, relave) fueron filtrados y secados en estufa, para posteriormente ser pesados y analizados químicamente.

Los concentrados y mixtos obtenidos fueron sometidos a una molienda seca a un tamaño 90% -70 mallas para la liberación de las partículas útiles y repasados separadamente en la misma mesa con un ángulo de inclinación mayor.

Con objeto de determinar el ángulo de inclinación óptimo de la mesa, en las condiciones de operación planteadas, para lograr los mejores concentrados de TiO_2 en cuanto a leyes y recuperación, se definió un set de pruebas con ángulos de trabajo menores para una concentración rougher y un repaso o cleaner para el concentrado y mixto primarios de ambas arenas con ángulos mayores de inclinación de la mesa.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis químico de las arenas

La tabla 1 muestra la composición química de la muestra de arenas Huasco. En ella se puede observar que la muestra presenta una ley de titanio de 2,3 % y una ley bastante alta de sílice de 56,2 %.

Tabla 1. Composición química de la arenas de Huasco

Compuesto	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	TiO ₂	MgO	Fe	Va
(%)	56,2	13,1	12,2	2,3	1,3	1,2	0,03

La tabla 2 muestra la composición química de la muestra de arenas de la playa de Caldera. En ella se puede apreciar que la muestra presenta una ley de óxido de titanio de 3,15 %, esta ley es más alta que la arena de Huasco.

Tabla 2. Composición química de la arena de Caldera

Compuesto	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	TiO ₂	MgO	Fe	Va
(%)	41,4	19,8	12,2	3,15	4,8	1,4	0,02

Análisis granulométrico

Los resultados de los análisis granulométricos de las muestras estudiadas con sus respectivas leyes por fracción granulométrica son mostrados en la tabla 3 y 4.

Tabla 3. Distribución por fracción granulométrica de la arena de Huasco

Tamaño	Porcentaje Parcial	Porcentaje Retenido Acumulado	Ley (%)			
(mm)	(%)	(%)	TiO ₂	Fe	SiO ₂	CaO
0,600	2,5	2,5	0,5	0,8	37,9	26,6
0,425	16,6	19,1	0,5	0,6	47,0	19,3
0,300	45,2	64,3	0,7	0,7	59,6	13,3
0,212	27,0	91,2	2,0	1,3	61,8	9,6
0,150	6,3	97,5	14,8	4,8	50,3	8,6
0,106	1,3	98,8	33,3	11,2	41,9	5,9
0,075	0,5	99,2	2,2	8,8	41,4	12,8
-0,075	0,8	100,0	0,7	4,9	40,3	11,1

Se puede observar en la tabla 3, que relacionando la distribución granulométrica con el análisis químico de estas arenas, se aprecia que en las mallas más finas existe un incremento en la ley de TiO₂. En el tamaño 0,106 mm. la ley de titanio alcanza un máximo de 33,3 % de TiO₂.

El análisis granulométrico del material indica que el 64,3 % de la masa está retenido en la malla de tamaño 0,300 mm, con una ley de TiO₂ de 0.62 %. Esto implica que estas fracciones contienen el 17,2 % del total de TiO₂ contenido en esta muestra de arenas. En el material bajo la tamaño 0,300 mm la ley TiO₂ se incrementa a 5,3 %, que representa el 82,8 % del titanio de la muestra. Esto implica que al retirar el material + 0,300 mm la ley de cabeza aumenta de 2,3 % a 5,3 % con una pérdida de 17,2 % de TiO₂ presente en este material.

Tabla 4. Distribución por fracción granulométrica de la arena de Caldera

Tamaño	Porcentaje Parcial	Porcentaje Retenido Acumulado	Ley (%)			
(mm)	(%)	(%)	TiO ₂	Fe	SiO ₂	CaO
0,600	17,3	17,3	1,3	1,2	39,3	21,8
0,425	21,8	39,1	1,2	1,0	40,2	21,7
0,300	24,0	63,1	1,2	0,8	38,8	23,0
0,212	15,9	79,0	2,0	0,8	40,5	20,5
0,150	12,7	91,7	5,2	1,7	49,4	13,6
0,106	6,6	98,3	13,0	3,8	49,3	9,5
0,075	1,6	99,9	33,2	10,2	34,6	8,8
-0,075	0,1	100,0	30,2	14,2	34,8	6,7

En la tabla 4 se muestra la distribución granulométrica y ley TiO₂ de las arenas de Caldera, se puede observar que en las mallas más finas existe también un incremento en la ley de titanio. En el tamaño 0,075 mm la ley de titanio alcanza un máximo de 33,2 % de TiO₂.

Con respecto al análisis granulométrico de esta muestra de arena, se aprecia que el 63,1 % de la masa está retenida en la malla de tamaño 0.300 mm con una ley de TiO₂ de 1,22 %, lo que significa que estas fracciones contienen cerca del 25 % del total de TiO₂ contenido

en esta muestra. En el material bajo el tamaño 0,300 mm. la ley de TiO_2 se incrementa a 6,48 % y representa el 75 % del titanio presente en la muestra.

En resumen, en la tabla 4 se observa que al retirar el material sobre la malla 0,300 mm., la ley de TiO_2 aumenta a 6,48 %, con una pérdida de titanio presente en el material de 24,2 %.

Estos resultados permiten proponer que en ambos casos, para tratar estas arenas por un proceso de concentración, se debería incluir una etapa de clasificación, con el objetivo de retirar todo el material mayor a 0,300 mm. lo que provocaría una preconcentración de las arenas, aumentando sus leyes de TiO_2 a 5,3 % en las arenas Huasco y 6,48 % en el caso de la arena Caldera y rechazando el 64 % del material alimentado. Esto reduciría las etapas de chancado y molienda e instalaciones anexas de la futura planta concentradora.

La determinación del peso específico de las arenas fue realizada por el método de Le Chatelier, y para las arenas de Huasco fue de 2,78 (g/cm^3) y para la arena de Caldera de 2,89 (g/cm^3).

Análisis mineralógico

La composición mineralógica de estas arenas de playa fue determinada a partir de los datos obtenidos por difracción de rayos X, microscopía óptica y electrónica de barrido y los análisis químicos de los productos obtenidos en la separación de los minerales mediante líquidos densos.

El análisis del microscopio electrónico de barrido confirma la mineralogía existente de los minerales de titanio que predominan, asociados al cuarzo y feldespato en ambas arenas.

Las muestras de arenas están constituidas por cuarzo, feldespato, magnetita, hematina, ilmenita, titanita y rutilo. Como minerales a escala de trazas fueron detectados monacita, circonita, wolframita y scheelita.

Pruebas de concentración gravitacional

Las pruebas de concentración gravitacional de las arenas de playa fueron realizadas en una mesa Wilfley, manteniendo constante el flujo de alimentación, agua de lavado, longitud, frecuencia del movimiento, y la forma de los riffles, y sólo se varió el ángulo de inclinación de la mesa para una concentración primaria y ángulos de 5,0°; 5,5; 6,0° y 6,5°, para el repaso de los concentrados y mixtos obtenidos en la primera etapa.

La primera parte consistió en determinar el ángulo de inclinación de la mesa Wilfley, para esto fueron realizadas pruebas usando ángulos de 2,5°; 3,0°; 3,5° y 4,0°, donde se obtuvo en cada prueba concentrados, mixtos y relaves, los cuales fueron filtrados, secados, pesados y preparados para ser analizados químicamente.

En la figura 1 se observa los resultados obtenidos al variar el ángulo de inclinación de la mesa en función de la recuperación y la ley de TiO_2 en el concentrado. Usando un ángulo de inclinación de 2,5°, se puede observar que el concentrado alcanza una ley TiO_2 de 8,9 % con una recuperación de 95,3 %. Usando un ángulo de inclinación de 3,0°, se obtiene una ley TiO_2 de 17,1 % con una recuperación de 81,0 %. Con una inclinación de 3,5°, se logra un concentrado de 25,3 % con una recuperación de 68,5% y con un ángulo de inclinación

de $4,0^\circ$ se obtiene un concentrado con una ley TiO_2 de 33,2 % con una recuperación de 48,1 %.

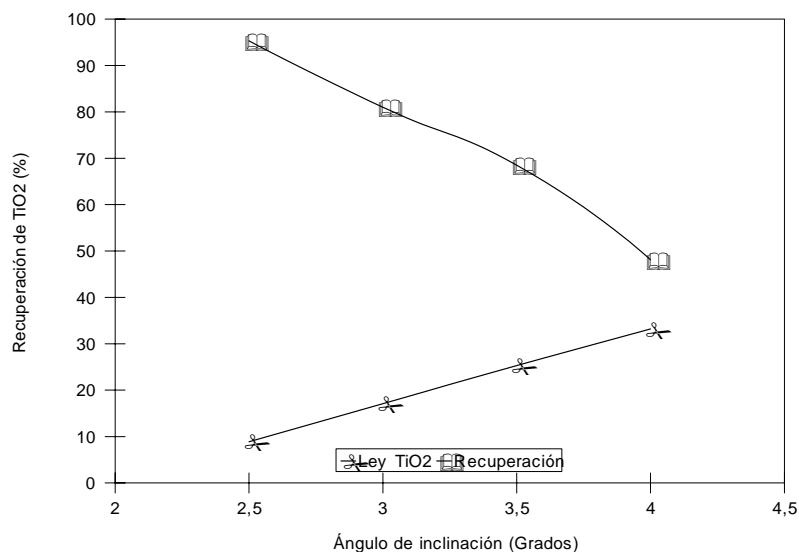


Figura 1. Efecto de la variación del ángulo de inclinación para arena de Caldera

En el caso de las arenas de Huasco el efecto del ángulo de inclinación de mesa sobre la recuperación y la ley de TiO_2 en el concentrado es mostrado en la figura 2, y se observa que sigue la misma tendencia que las arenas de Caldera. Para un ángulo de $2,5^\circ$, el concentrado obtenido alcanza una ley TiO_2 de 13,6 % con una recuperación de 90,3 %; con un ángulo de inclinación de $3,0^\circ$, se obtiene un concentrado con una ley TiO_2 de 16,6 % y una recuperación de 85,3 %. Usando un ángulo de $3,5^\circ$ se obtiene un concentrado de 19,3% y una recuperación de 63,6% y con un ángulo de inclinación de $4,0^\circ$ se obtiene un concentrado con una ley TiO_2 de 25,0 % con una recuperación de 43,5 %.

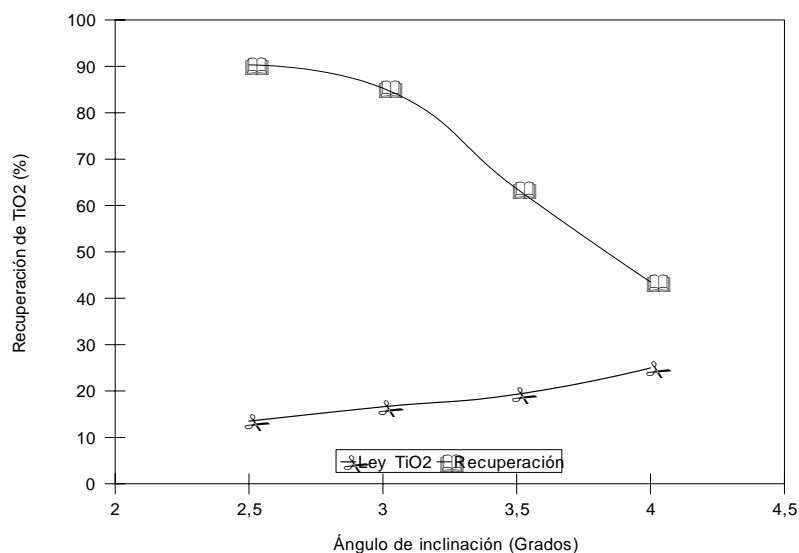


Figura 2. Efecto de la variación del ángulo de inclinación para arena de Huayco

Los concentrados y mixtos obtenidos en cada una de las pruebas fueron sometidos a una molienda en seco a una granulometría de 90 % menor a 0,212 mm y repasados en la misma

mesa con un ángulo de inclinación que vario de 5,0°; 5,5°; 6,0° y 6,5°, con el objetivo de aumentar la ley de TiO₂.

En la figura 3y 4 se observa la variación de la recuperación y la ley de titanio en función del ángulo de inclinación de la mesa para los concentrados obtenidos de las arenas de Caldera y Huasco.

La figura 3 muestra que al someter a una relimpieza el concentrado de Caldera obtenido la ley de TiO₂ en el concentrado se incrementa hasta un valor máximo de 51,3% con una recuperación de 21,4% para un ángulo de inclinación de 6°, para ángulos de inclinación mayor tanto la ley como la recuperación disminuyen drásticamente.

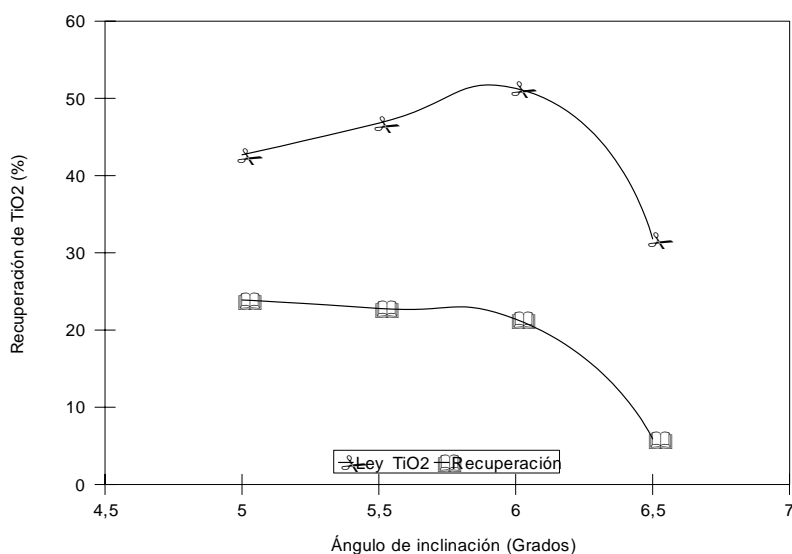


Figura 3. Efecto de la variación del ángulo de inclinación para el concentrado de Caldera

La figura 4 muestra la relimpieza del concentrado de Huasco utilizando los mismos ángulos de inclinación usado en las arenas de Caldera. Se observa la misma tendencia, que a medida que se incrementa la ley de TiO₂ en el concentrado la recuperación disminuye, alcanzando un máximo para un ángulo de inclinación de 6°, en que se alcanzó una ley de 46,0% de TiO₂ con una recuperación de 24,8%.

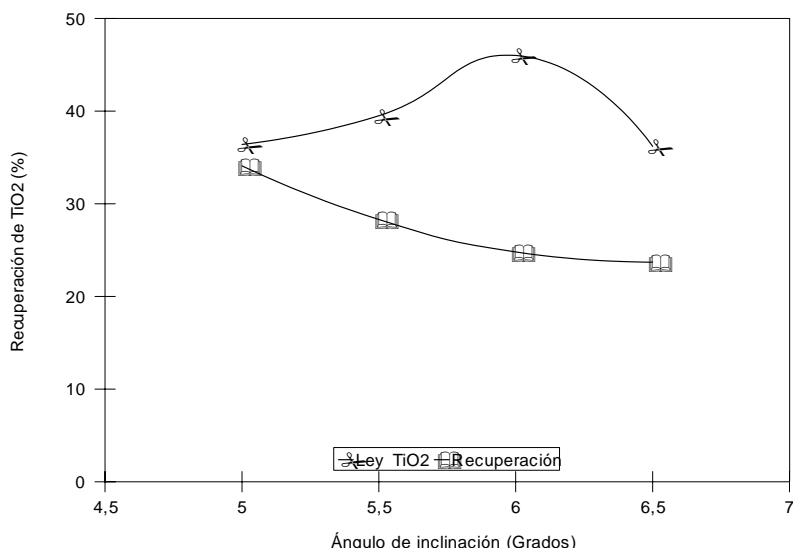


Figura 4. Efecto de la variación del ángulo de inclinación para el concentrado de Huasco

En base a estos resultados obtenidos del estudio del ángulo de inclinación de la mesa para la etapa rougher y de limpieza de este concentrado, se diseñó un circuito para el tratamiento de las arenas de Caldera y Huasco, con ángulos de inclinación de 3° para la etapa rougher y 6° para la etapa de limpieza.

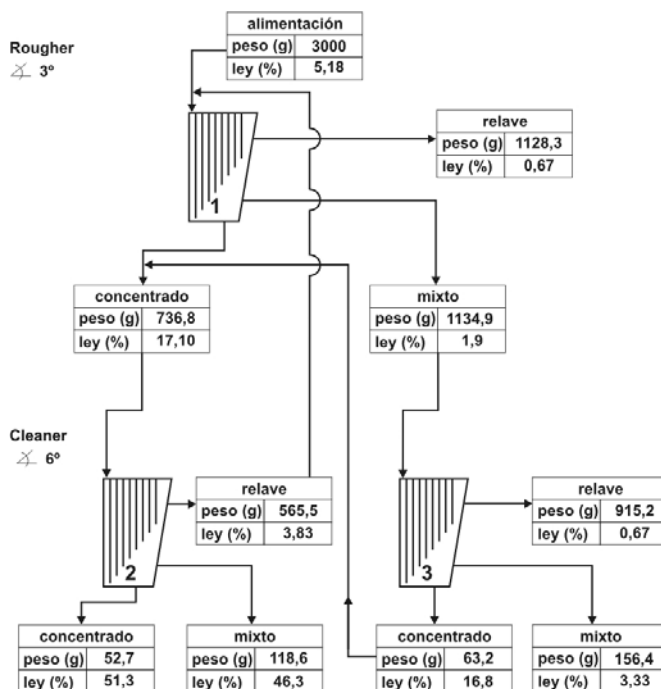


Figura 5. Diagrama del proceso para las arenas de Caldera

En la figura 5 se observa que el circuito propuesto esta formado por una etapa rougher, los concentrados obtenidos de esta etapa son sometidos a una etapa de limpieza, mientras que los mixtos de esa misma etapa son limpiados para obtener un concentrado que retorna

como alimentación a la etapa cleaner. La recuperación obtenida en este circuito es de 52,7% y una ley de 47,8% de TiO_2 .

La figura 6 muestra el circuito de concentración gravitacional para el tratamiento de las arenas de Huasco, este esquema es similar al utilizado para tratar las arenas de Caldera. La ley del concentrado final es de 37,3% TiO_2 con una recuperación de 64,8% .

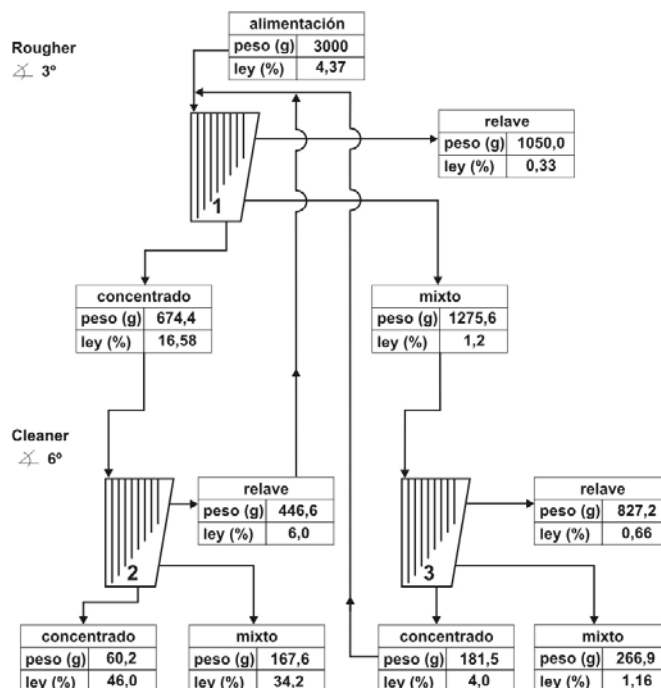


Figura 6. Diagrama de proceso para la arena de Huasco

CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos con las muestras de arenas de playa del sector de Huasco y Caldera se puede concluir lo siguiente:

- La muestra de arena presentan leyes de 2,3 % y 3,15% de TiO_2 para Huasco y Caldera respectivamente; la distribución granulométrica y el análisis químico por malla muestran que en las granulometrías más finas existe un aumento en la ley de titanio. Al retirar el material sobre 0,300 mm, la ley de TiO_2 para la arena de Huasco se incrementa a 5,33 %, y para la arena de Caldera a 6,48% de TiO_2 .
- Ambas arenas están constituidas por cuarzo, feldespatos, magnetita, hematita, ilmenita, rutilo y titanita. A nivel de trazas fueron detectadas monacita, circonita, wolframita y scheelita.
- Las pruebas de concentración gravitacional para ambas arenas indicaron que los mejores resultados fueron obtenidos con ángulo de inclinación de $3,0^\circ$ para la etapa rougher y $6,0^\circ$ para la etapa de limpieza.
- Con los resultados obtenidos se diseñó un circuito que consistió en una etapa rougher y limpieza del concentrado y mixto obtenidos. Para las arenas de Caldera se obtuvo un concentrado con ley de 51,3% y una recuperación de 17,4%; y para las arenas de Huasco se obtuvo un concentrado final de 46,0% TiO_2 con una recuperación de 21,2%;

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. GAMBOGI, J. Titanium. U.S. Geological Survey Minerals Yearbook. p. 78-1 a 78-8. 2003.
2. MINERAL COMMODITY SUMMARIES 2006. U.S. Department of the Interior. U.S. Geological Survey.
3. WELHAM, N. J. AND LLEWELLYN, D. J. Mechanical enhancement of the dissolution of ilmenite. Mineral Engineering. Vol 11, N° 9, p. 827 – 841, 1999.
4. LYND, L. E. Titanium. Mineral Facts and Problems, Bureau of Mines, p. 1-21. 1985.
5. FROES, R.H. Titanium – products and application. Journal of Metals, p. 12-14, 1987.
6. CUI, Z., LIU, Q. AND ETSELL, T. H. Magneties properties of ilmenite, hematite and oilsand minerals after roasting. Mineral Engineering. N°15,. p. 1121 – 1129, 2002.
7. BALTAR, C. Y CUNHA, A. Aproveitamento de finos de ilmenita por flotação com succinamato. XIX Encontro Nacional de Tratamento de Minerios e Metalurgia Extrativa. Florianópolis, p. 51-58. 2004.
8. FAN, X. Y ROWSON, N. The efecto f $Pb(NO_3)_2$ on ilmenita flotation. Minerals Engineering, Vol. 13, N°2, p. 205-215, 2000.