

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



**LIMPIEZA ELECTROMAGNÉTICA DE
MINERALES DE WOLFRAMITA**

**INFORME DE SUFICIENCIA
PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO
METALURGISTA**

PRESENTADO POR:
VICTOR JIMÉNEZ VALLENAS

**LIMA – PERÚ
2011**

DEDICATORIA

Este trabajo es dedicado a todas las personas que me apoyaron, a mis profesores por sus consejos, amigos por su apoyo, a mi familia por su incondicional apoyo en todo este largo camino de preparación, y muy especialmente a mi madrecita por todo su apoyo, así como a la persona muy especial en mi vida que me alentó a seguir en todo momento.

RESUMEN

Detallar la manera de recuperación de WO_3 aplicando electroimanes aprovechando las susceptibilidades magnéticas de los óxidos, sulfuros y el tungsteno, mejorando la ley de refinación actual que es del 72% de WO_3 , para obtener de esta manera concentrados de 74% WO_3 aplicando estos principios.

El mineral con contenido de tungsteno (0.9 a 1 % WO_3 de ley de cabeza) es concentrado en planta mediante gravimetría mediante Jigs y mesas gravimétricas, obteniendo de esta manera concentrados que varían de 30 a 40 % WO_3 , dichos concentrados son tratados en la Planta de Pre-refinado donde se logran obtener pre refinados de 70% WO_3 , para luego obtener refinados finales y limpios para despacho en la Planta de refinado, dichos refinados llegan hasta un 74% WO_3 mediante el uso de magnetos, es en estos magnetos donde se consigue estos resultados separando los óxidos y sulfuros presentes en el concentrado trabajando con altos y bajos amperajes aprovechando la susceptibilidad magnética de estas para conseguir el objetivo, concentrados limpios.

Es muy importante la clasificación del concentrado por granulometrías y así poder aplicar amperaje adecuado para una granulometría específica. Para esto se emplea dos magnetos para limpieza y un tercer magneto de limpieza final, tener presente que la velocidad de faja en los magnetos dependerá del tamaño de grano, cuanto más fino sea el refinado menor será la velocidad de faja que se aplique y mayor será la velocidad para granulometrías gruesas.

INDICE

	Pág.
INTRODUCCIÓN	6
CAPÍTULO I: ASPECTOS GENERALES	
1.1 Equipos de separación Magnética	8
1.2 Características de los Electro magnetos	9
1.3 Intensidad Magnética Requerida en la Separación Magnética de Diferentes Minerales	10
1.3.1 Intensidad de Campo	11
1.4 Campos de Alta Intensidad Magnética	11
1.5 Tipos de Separadores Magnéticos	12
1.6 Separadores Magnéticos de Banda Transversal de Alta Intensidad	13
1.6.1 Aplicaciones	14
CAPÍTULO II: DESCRIPCIÓN DEL PROCESO PLANTA PREREFINADO	
2.1. Tratamiento en Planta de Pre Refinado	16
2.1.1. Pruebas de Refinación Planta de Pre-refinado	18
CAPÍTULO III: DESCRIPCIÓN DEL PROCESO PLANTA REFINADO	
3.1. Tratamiento en Planta de Refinado	25
3.1.1. Recepción de Carga	25
3.1.2. Clasificación de Pre-Refinado	25

3.2. Concentración en Magneto	27
3.2.1. Magneto Eriez	30
3.2.2. Magneto 18	31
3.2.3. Magneto 16	32
3.2.4. Resultados de Pruebas	33
3.3. Efectos del Arsénico en la Refinación de Wolframita	36
3.3.1. Presencia de arsénico en concentrado de Wolframita	31
3.1.2. Solución a corto plazo	32
3.4. Presencia de arsénico en concentrado de WO ₃ Triplex-Duplex	38
3.5. Presencia de arsénico en concentrado final de WO ₃	40

CAPÍTULO IV: BALANCES DE CONCENTRADOS TRIPLES-DUPLEX Y MESAS

4.1. Balance metalúrgico concentrado Triplex-Duplex	43
4.1.1. Procedimientos	44
4.1.2. Resultados	47
4.1.2.1. Balance metalúrgico (magneto 16)	46
4.1.2.2. Balance metalúrgico (magneto 18)	48
4.1.2.3. Balance metalúrgico (magneto Eriez)	48
4.1.2.4. Balance metalúrgico total	49
4.2. Balance metalúrgico del pre concentrado de mesas	49
4.2.1. Procedimiento	50
4.2.2. Resultados.	52

CONCLUSIONES	55
BIBLIOGRAFIA	57
ANEXOS	

INTRODUCCIÓN

Actualmente este método no es muy aplicado en la minería peruana, es muy importante trabajar con los amperajes adecuados que nos permitan separar el Tungsteno de los sulfuros y óxidos, donde uno de los problemas es la presencia de arsénico, que perjudica la refinación.

Hoy en día estos procesos se podrían aplicar también en la recuperación de minerales finos no magnéticos (rutilo), concentración de minerales no magnéticos (casiterita) desde minerales magnéticos.

El tungsteno es el metal más importante para las aplicaciones de termo emisión. El beneficio de los minerales de tungsteno generalmente se realiza mediante concentración gravitacional o bien, por flotación, dependiendo de las características físicas, químicas y mineralógicas del mineral. Las especificaciones del mercado actual establecen un contenido mínimo de 65% de WO_3 para los concentrados por lo cual las recuperaciones en estas operaciones, varían generalmente entre 65% y 75%.

El objetivo de este trabajo es desarrollar una investigación básica usando las metodologías de vigilancia tecnológica que nos permita conocer las diferentes tecnologías aplicadas a la extracción y procesamiento del Tungsteno, con el fin de detectar las tecnologías vigentes a nivel global en el mercado.

CAPITULO I

ASPECTOS TEÓRICOS DEL PROCESO

Los separadores magnéticos aprovechan la diferencia en las propiedades magnéticas de los minerales componentes de las menas. Todos los materiales se alteran en alguna forma al colocarlos en un campo magnético, aunque en la mayor parte de las sustancias, el efecto es demasiado ligero para detectarlo.

Las propiedades de un material que determina su respuesta a un campo magnético es la susceptibilidad magnética. En minería Aplicando conceptos de susceptibilidad magnética es posible separar partículas valiosas en este caso el Tungsteno (WO_3). Llegando a obtener refinados finales con 74% WO_3 mediante el uso de magnetos.

1.1. Equipos de Separación Magnética

Los equipos de separación que se usan en la industria de procesamiento de minerales se fabrican utilizando corriente eléctrica o materiales ferro magnéticos principalmente.

Los electro magnetos consisten alambres enrollados teniendo en su interior un lama de material de alta susceptibilidad, generalmente hierro dulce. En este material se produce un alineamiento de los momentos magnéticos bipolares que refuerza el campo producido por el enrollado.

1.2. Características de los Electro magnetos

- Producción y acumulación de líneas magnéticas para lograr el desplazamiento de las partículas minerales hacia una de los polos.
- Fácil regulación del campo (se realiza por regulación de corriente)
- Control de flujo de material o la pulpa a través del separador.

- Los materiales se clasifican en dos amplios grupos, según los atraiga o los repela un magneto: paramagnéticos y diamagnéticos.
- Los diamagnéticos se repelen a lo largo de las líneas de fuerza magnética, hasta el punto donde la intensidad de campo ya es muy leve. Las sustancias diamagnéticas no se pueden concentrar magnéticamente.
- Los paramagnéticos son atraídos a lo largo de las líneas de fuerza magnética hasta los puntos de mayor intensidad del campo. Los materiales paramagnéticos se pueden concentrar en los separadores magnéticos de alta intensidad.

Ejemplo de minerales paramagnéticos que se separan en los separadores magnéticos comerciales: ilmenita, rutilo, wolframita, monacita, siderita, pirrotita, cromita, hematita y los minerales de manganeso.

Algunos elementos son paramagnéticos en sí mismo, tales como, Ni, Co, Mn, Cr, Ce, Ti y los minerales del grupo del platino, pero en la mayoría de los casos las propiedades paramagnéticas de los minerales se deben a la presencia de hierro en alguna forma ferro magnética.

El ferromagnetismo se considera como un caso especial de paramagnetismo. Los minerales ferro magnéticos tienen muy alta susceptibilidad magnética para las fuerzas magnéticas y retienen algún magnetismo cuando se alejan del campo (remanencia). Estos materiales se pueden concentrar en los separadores magnéticos de baja intensidad. La unidad más comúnmente usada es el Gauss (G).

1.3. Intensidad Magnética Requerida en la Separación Magnética de Diferentes Minerales.

Tabla N° 1.1: Intensidad Magnética

Intensidad magnética requerida para la separación (Gauss)	Mineral
500 – 5.000	Fuertemente magnéticos Magnetita, franklinita, leucita, silice, pirrotita
5.000 – 10.000	Moderadamente magnéticos Ilmenita, biotita, granate, wolframita
10.000 – 18.000	Débilmente magnéticos Hematita, columbita, limonita, pirolusita, rodocrosita, siderita, manganita
18.000 – 23.000	Pobrementemente magnéticos Rutilo, rodonita, dolomita, tantalita, cerusita, epidota, monacita, fergusonita, zircón, ceragirita, argentita, pirita, esfalerita, molibdenita, bornita, wilimita, tetraedrita, scheelita

1.3.1. Intensidad de Campo.

La fuerza magnetizadora que induce las líneas de fuerza a través de un material se llama intensidad de campo. La intensidad del campo magnético se refiere al número de líneas de flujo que pasan a través de una unidad de área. La capacidad de un magneto para elevar un mineral particular depende no solamente del valor de la intensidad de campo, sino también del gradiente de campo, es decir, la velocidad a la cual aumenta la intensidad de campo hacia la superficie magnética. El gradiente del campo magnético se asocia a la convergencia del campo magnético. Donde las líneas de fuerza convergen se induce un alto gradiente.

En todos los separadores magnéticos, ya sean de alta o de baja intensidad, o para trabajar en seco o en húmedo, se deben incorporar ciertos elementos de diseño. Una partícula magnética que entra al campo no solo será atraída a las líneas de fuerzas, sino que también migrarán a la región de mayor densidad de flujo, lo cual ocurre al final del punto. Esta es la base de la separación magnética.

1.4. Campos de Alta Intensidad Magnética

La introducción de nuevas aleaciones magnéticas, normalmente incorporando uno o más elementos tierras raras, ha permitido a los separadores de tambor operar con campos magnéticos mucho mayores que los normales, posibilitando la aplicación a menas que contienen minerales levemente magnéticos.

Configuraciones de magnetos especiales pueden ser utilizadas para dar campos magnéticos de alta intensidad. Los campos de alta intensidad permiten la remoción

de minerales contaminantes débilmente magnéticos desde concentrados no magnéticos, tales como, arena vidriosa, talco y caolín.

Los principales usos de la separación magnética son:

- a) eliminación o separación de fragmentos metálicos y;
- b) procesos de concentración y purificación magnética.

1.5. Tipos de Separadores Magnéticos

Los separadores magnéticos pueden ser del tipo electroimanes o imanes permanentes. Los electroimanes utilizan vueltas de alambre de cobre o de aluminio alrededor de un núcleo de hierro dotado de energía con corriente directa. Los imanes permanentes no requieren de energía exterior, las aleaciones especiales de estos imanes continúan produciendo un campo magnético a un nivel constante en forma indefinida después de su carga inicial, a menos que sean expuestos a influencias desmagnetizadoras.

En el separador magnético se deben incorporar las medidas necesarias para regular la intensidad del campo magnético y así permitir el tratamiento de varios tipos de materiales. Esto se logra fácilmente en los separadores electromagnéticos variando la corriente, mientras que en los separadores que utilizan magnetos permanentes, se puede variar la distancia interpolar. De acuerdo a estos principios se puede trabajar utilizando:

- **Una zona de baja intensidad:** de modo que sean separadas las partículas libres y de alta susceptibilidad (concentrado) ferro magnética y paramagnética

- **Una zona de alta susceptibilidad:** de modo que sean separadas partículas de alta y baja susceptibilidad (medios o mixtos)

1.6. Separadores Magnéticos de Banda Transversal de Alta Intensidad.

El separador magnético de banda transversal coge los materiales magnéticos y los quita de la cinta de alimentación descargándolos en un lado. La concentración es por elevación directa, y el producto magnético es limpio y libre de materiales no magnéticos atrapados. La banda transversal ha sido utilizada para concentrar wolframita, monacita, y otros productos minerales de valor. Son equipos de baja capacidad.

Las principales aplicaciones son las siguientes:

1. Recuperación de minerales finos no magnéticos (rutilo) desde relaves magnéticos molidos.
2. Concentración de minerales no magnéticos (casiterita) desde minerales magnéticos.
3. Producción de wolframita, tantalita y otros minerales magnéticos de alto valor unitario.

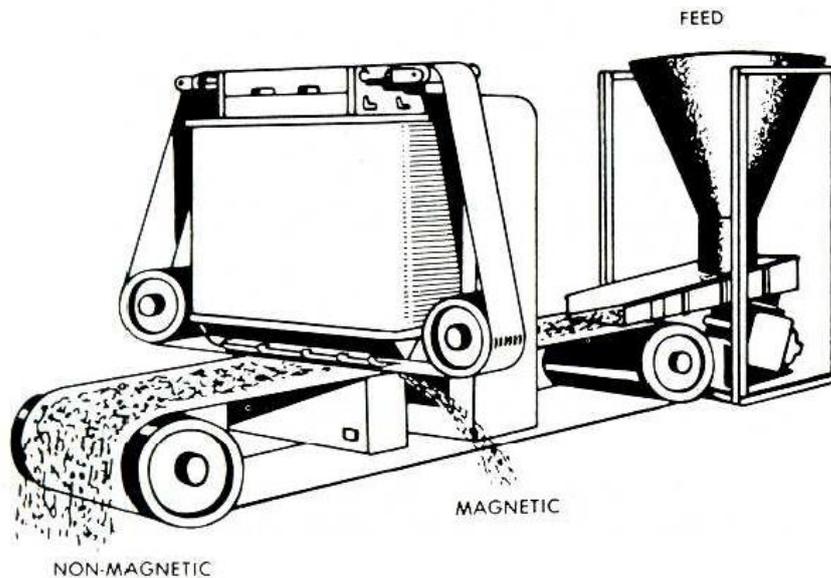


Figura N° 1.1: Separador magnético de banda transversal de alta intensidad

Electrizan con polos separados por bandas. El imán levanta las partículas magnéticas de la capa delgada que va sobre la banda transversal contra el polo superior. El polo superior termina en un borde agudo, y el polo inferior es plano esto propicia un gradiente de campo alto en el entrehierro.

1.6.1. Aplicaciones

Uso similar al equipo de rodillo inducido, pero limitado a minerales de alto valor como la chisterita, la columbita, la monzanita y los minerales de tungsteno. Puede usarse separar simultáneamente varios minerales con una gama de susceptibilidades. Se usa cuando se requiere una separación en extremo selectiva.

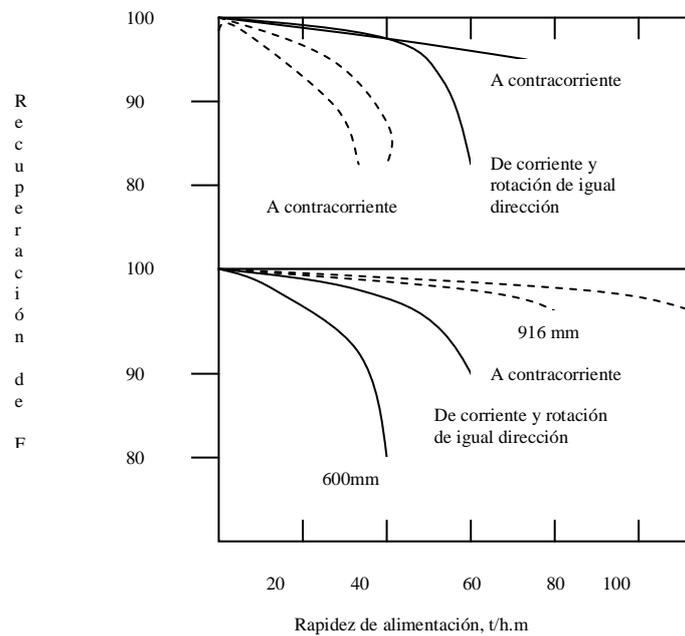


Figura N° 1 2: Intensidad de Campo

En la figura N° 1.2, se observa la Intensidad de campo, el diámetro del tambor y el diseño del tanque en la recuperación del hierro en un separador húmedo de tambor, mineral de magnetita, 75% $-44 \mu m$, 30% de sólidos en la pulpa (superior) diámetro del tambor 916mm. (Inferior) intensidad de campo, 85mT. (Cortesía de Sala Intencional AB.)

CAPITULO II

DESCRIPCIÓN DEL PROCESO PLANTA PRE-REFINADO

Para el procesamiento de tungsteno el mineral $-1/2''$ es transportado a los Jigs Triples y Dúplex, obteniendo de estas un concentrado que es secado y llevado a refinación, el relave de estas es llevado a molienda utilizando molinos de barras, la descarga de estas va a un circuitos de Jigs, donde el relave de los Jigs es tratado en mesas de gravimétricas. Los concentrados son clasificados por malla en una zaranda para ser refinados en la Planta de Pre refinado y refinado respectivamente mediante separadores magnéticos.

2.1. Tratamiento en Planta de Pre Refinado

Los pre-concentrados gravimétricos obtenidos en los Jigs, Molienda y mesas son tratados en el área de pre refinado, mediante concentración magnética en tambor y en rodillo magnético, en fracciones de tamaño de $-1/8''+1/16''$ y de $-1/16''$ para los tres tipos de pre-concentrados gravimétricos (de Jigs Triplex-Duplex, de Jigs de Molienda y De Mesas).

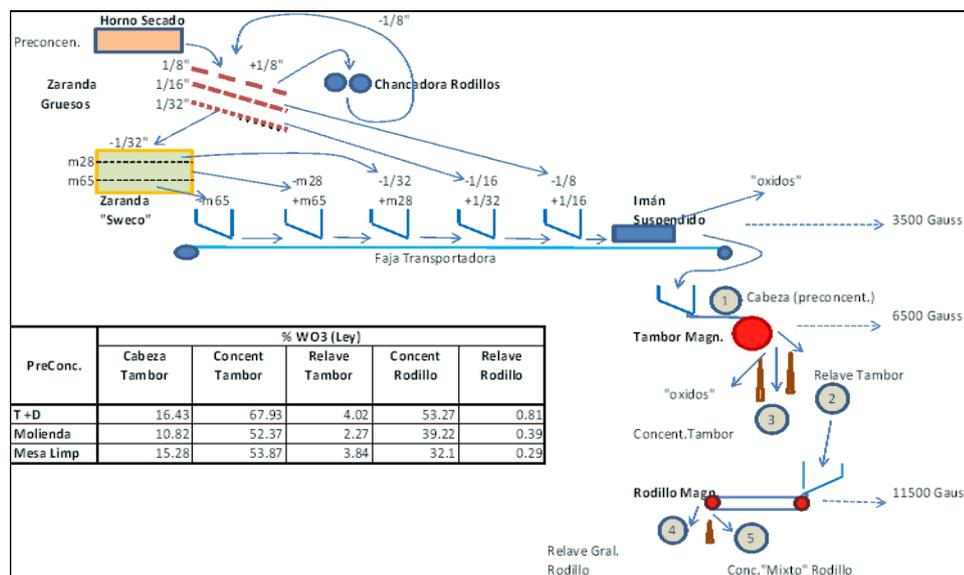


Figura N° 2.1: Diagrama de Planta de Pre-refinado

Con la reciente llegada de los magnetos de alta intensidad, de tambor y de rodillos, se inicio la operación de los equipos mencionados: Magneto de baja intensidad, magnetos de alta intensidad de tambor y de rodillos para puesta en operación continúa en la producción de refinados de mineral de tungsteno en la nueva planta de pre refinación magnética.

Se hicieron pruebas preliminares principalmente en el magneto de tambor que presentaba un complejo juego de parámetros de separación magnética debido a que aparentemente a simple vista los granos de mineral de tungsteno no se adherían al tambor (magneto) por lo que se presumió inicialmente que la fuerza magnética de atracción para la wolframita no era suficiente o adecuado para este mineral. Ello conllevó a planificar un cuidadoso conjunto de pruebas con los pre-concentrados Triplex-Duplex, de molienda y de mesas, para construir en base a los resultados de estas pruebas y para cada pre-concentrado, curvas experimentales de determinación

del posicionamiento requerido del splitter (placa separadora de concentrado y relave) después de haber hecho antes pruebas de tanteo cualitativo para fijar los parámetros de velocidad de tambor o rodillo y velocidad de alimentación (vibración de bandeja)

2.1.1. Pruebas de Pre-refinación.

Se realizaron 04 pruebas con cada pre concentrado, en total 12 pruebas. Y luego de múltiples pruebas de aproximación con observaciones cualitativas se mantuvo constante, en el máximo, la velocidad relativa del tambor en 60 (42.52 rpm) y la alimentación relativa en 25 (Hz) solo variando, como parámetro clave, la posición de la placa de corte concentrado/relave (spliter).

Para ello se tuvo que acondicionar, provisionalmente, un puntero indicador y una escala de posicionamiento en hoja bond, en el extremo del splitter y pared lateral frente a este (es necesaria su colocación permanente en placa metálica)

Se tuvo que tamizar los pre-concentrados separando los gruesos: la pruebas se hicieron con pre-concentrados T + D a $-3/16''$ (Triples y Dúplex), los pre concentrados de molienda y de mesas a $-1/8''$, debido que estos gruesos se iban directamente al relave.

Todas las muestras de los productos relave y concentrado se remitieron al laboratorio para su análisis por WO_3 , cuyos resultados se muestran en los cuadros siguientes:

Tabla 2.1: Resultado de pruebas preliminares con Pre-concentrados T + D

RPM = 42.52 Tiemp. Alimen.

Prueba N°	Peso Kg	Posiciones Relativas del Magneto Tambor			RESULTADOS			
		Velocidad Tambor	Alimentad. Bandeja	Spliter Posición	Concentrado		Relave	
					Peso	% WO ₃	Peso	% WO ₃
1	9.08	60	25	6.5	1.28	52.85	7.80	2.04
2	9.20	60	25	6.9	1.41	52.30	7.79	1.58
3	9.08	60	25	7.3	1.63	46.52	7.45	1.83
4	9.07	60	25	7.6	1.95	42.97	7.12	1.06

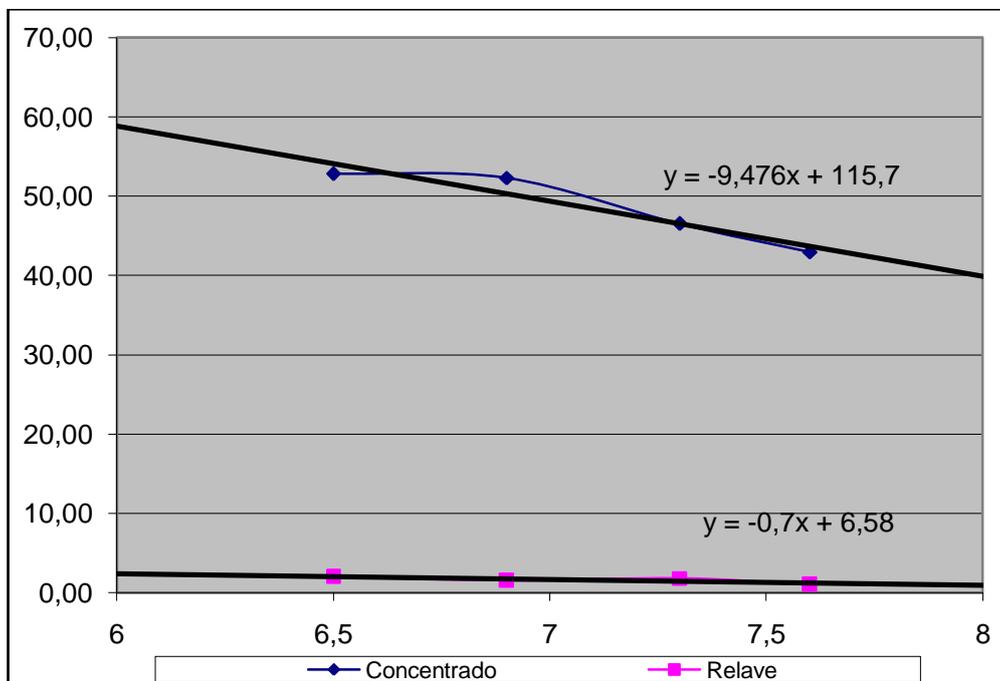
**Figura N° 2.2:** Leyes de Concentrado y Relave vs Posición del Spliter en Pre-concentrado T+D

Tabla N° 2.2: Posición del splitter y Leyes calculadas (proyectadas) para pruebas continuas con Pre-concentrado T + D.

N°	Proyección Ley Concentrado		Proyección Ley Relave	
	Y= -9.4764 X + 115.71		Y = -0.7 X + 6.58	
	Splitter	% WO ₃	Splitter	% WO ₃
1	6.5	54.11	6.5	2.03
2	7.0	49.38	7.0	1.68
3	7.5	44.64	7.5	1.33
4	8.0	39.90	8.0	0.98
5	7.8	41.79	7.8	1.12
6	7.9	40.85	7.9	1.05

Tabla N° 2.3: Resultado de pruebas preliminares con Pre-concentrado Molienda

RPM = 42,52

Prueba N°	Peso Kg	Posiciones Relativas del Magneto Tambor			RESULTADOS			
		Velocidad Tambor	Alimentad. Bandeja	Splitter Posición	Concentrado		Relave	
					Peso	% WO ₃	Peso	% WO ₃
1	8,05	60	25	6	1,31	52,23	6,74	1,83
2	8,09	60	25	6,4	1,42	48,19	6,67	1,62
3	8,17	60	25	6,6	1,46	47,84	6,71	1,29
4	8,04	60	25	6,8	1,53	45,41	6,51	1,03

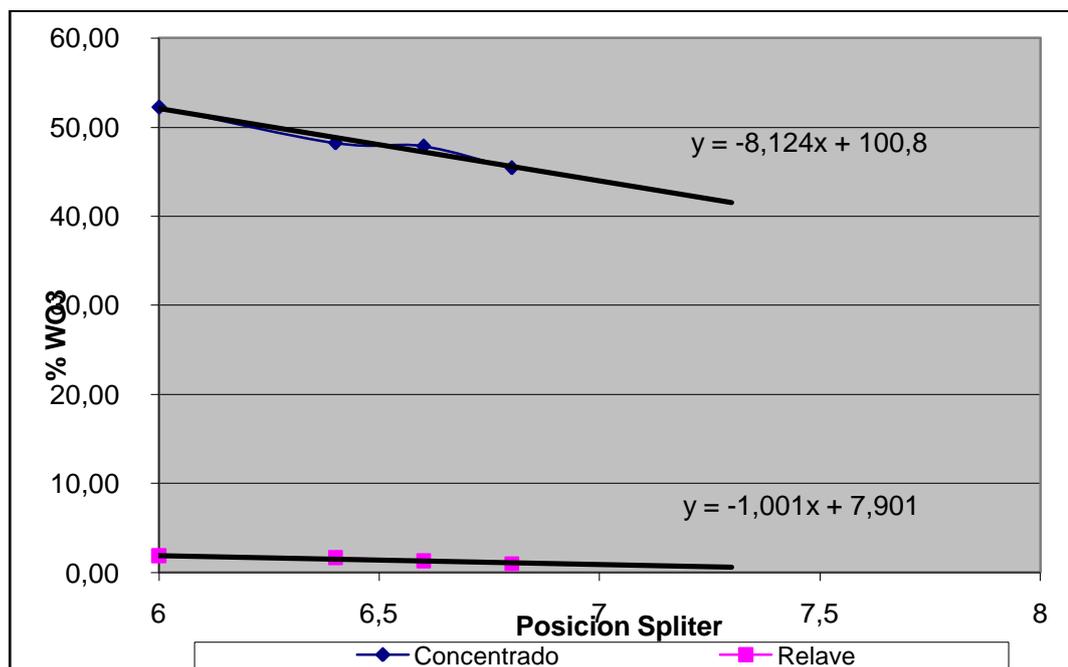


Figura N° 2.3: Leyes de Concentrado y Relave vs Posición del Splitter en Pre-concentrado Molienda

Tabla N° 2.4: Posición del splitter y Leyes calculadas (proyectadas) para pruebas continuas con Pre-concentrado Molienda.

Prueba N°	Proyección Ley Concentrado		Proyección Ley Relave	
	Y= -8.124 X + 100.8		Y = -1.001 X + 7.901	
	Splitter	% WO_3	Splitter	% WO_3
1	6.0	52.07	6.0	1.89
2	6.4	48.82	6.4	1.49
3	6.6	47.20	6.6	1.29
4	6.8	45.57	6.8	1.09
5	7.0	43.95	7.0	0.89

Tabla N° 2.5: Resultado de pruebas preliminares con Pre-concentrado Mesas

RPM = 42,52 Tiemp. Alimen.

Prueba N°	Peso Kg	Posiciones Relativas del Magneto Tambor			RESULTADOS			
		Velocidad Tambor	Alimentad. Bandeja	Spliter Posición	Concentrado		Relave	
					Peso	% WO ₃	Peso	% WO ₃
1	7,05	60	25	3,0	0,40	48,19	6,62	2,49
2	7,02	60	25	3,4	0,68	26,06	6,40	1,65
3	7,07	60	25	4,0	0,89	25,92	6,19	1,29
4	7,08	60	25	4,5	1,39	19,24	5,71	0,86

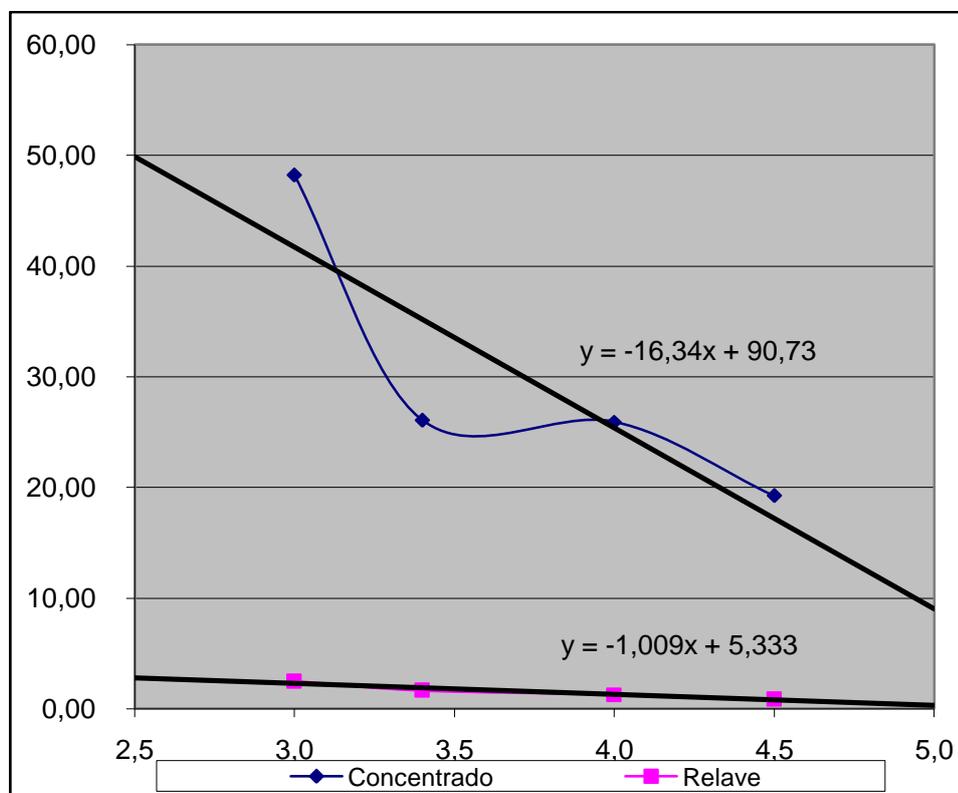
**Figura N° 2.4:** Leyes de Concentrado y Relave vs Posición del Spliter en Pre-concentrado Mesas

Tabla N° 2.6: Posición del splitter y Leyes calculadas (proyectadas) para pruebas continuas con Pre-concentrado Mesas.

Prueba N°	Proyección Ley Concentrado		Proyección Ley Relave	
	Y= -16.34 X + 90.73		Y = -1.009 X + 5.333	
	Spliter	% WO ₃	Spliter	% WO ₃
1	3.0	41.70	3.0	2.30
2	3.4	35.16	3.4	1.90
3	4.0	25.36	4.0	1.29
4	4.1	23.72	4.1	1.19
5	4.2	22.09	4.2	1.09

1. Se ha observado en las pruebas de aproximación, de ajuste preliminar de velocidad de tambor como de alimentación de bandeja (observación cualitativa) así como confirmada en las 12 pruebas preliminares que la uniformidad del tamaño de grano de los pre-concentrados juega un rol importante y determinante para la obtención de concentrados refinados de mayor ley a mayor uniformidad de tamaño de grano, mayor ley y limpieza del refinado.
2. Los concentrados “refinados” en los cuadros obtenidos son el resultado de la gran heterogeneidad (amplio rango) de tamaños de grano de los pre-concentrados, ya que solo se tamizo para extraer los más gruesos.

3. En el rango de tamaños de granos más finos es más estricto este fenómeno. Aquí no es posible evitar la presencia del fenómeno físico de la isodromía en la caída o sedimentación de las partículas. Partículas con menor densidad pero con el mismo peso (mayor tamaño) tenderán a caer iguales, formándose más capas o zonas de caída iguales mientras mayor variedad de tamaños presente el pre-concentrado, dispersándose de esta manera el mineral de tungsteno en las diferentes fracciones de tamaño.

CAPITULO III

DESCRIPCIÓN DEL PROCESO PLANTA DE REFINADO

3.1. Tratamiento en Planta de Refinado

3.1.1. Recepción de Carga

Los pre refinados obtenidos de los separadores magnéticos de Tambor y Rodillos recepcionado proveniente de Planta de Pre refinado, son sometidos a procesos de limpieza en Planta de Refinado mediante separadores electro-magnéticos de Bandas Cruzadas en el Magneto Eriez, Magneto N°18 y Magneto N°16, en esta última se realizan las limpieza final.

3.1.2. Clasificación de Pre-Refinado.

El pre-refinado es tamizado en la zaranda 3'x6' de mallas: 1/8, 1/16 y 1/32, las descargas de las mallas +1/8 y +1/16 son reducidas de tamaño en la chancadora de rodillos, para retornar a la zaranda hasta carga cero, vale decir que se trabaja con 100% -m 1/32, la descarga de la malla -1/32 es tamizada en el separador Sweco, la malla +1/32 de la zaranda era llevada al Magneto 18, pero es en esta malla que se tuvo problemas en el refinado final (71 a 72 %WO₃), así como en la ley de relave que subió por encima de 1% WO₃. Motivo por el cual se están realizando pruebas

eliminando esta malla, reduciendo de tamaño a esta malla en la chancadora de rodillos a fin de eliminar los mixtos que se concentran en esta malla. Trabajando actualmente con solo tres mallas en los magnetos.

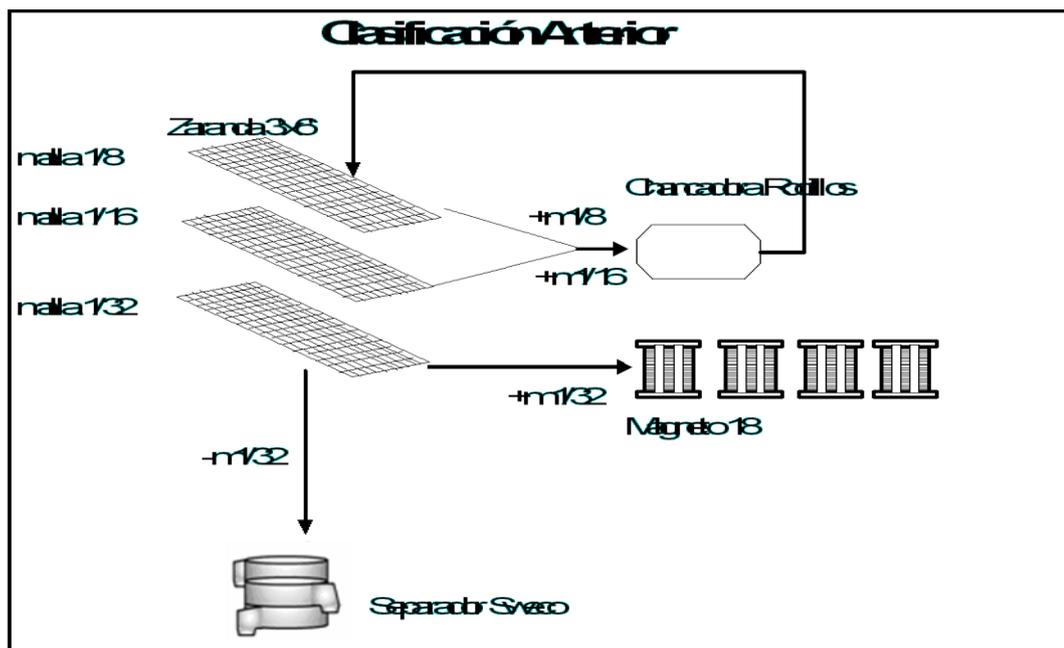


Figura N° 3.1: Diagrama de clasificación antigua

La carga de la malla -1/32 es transportada al separador Sweco que consta de dos mallas (m28 y m65), el producto de la malla +28 es transportada al Magneto 18, mientras que los finos generados del Sweco mallas +65 y -65 se transportan al Magneto Eriez para su concentración.

Tabla N° 3.1: Campos magnéticos de electro magnetos de la planta de refinación

Bobina N°	Rango Máx./Min.	Magneto. N° 16		Magneto. N° 18		Magneto. ERIEZ	
		Amp.	Gauss	Amp.	Gauss	Amp.	Gauss
1	Mínimo	2A	6900	4A	4400	2A	1000
	Máximo	3A	9000	5A	6000	7A	9000
2	Mínimo	2A	6900	3.5A	7500	4A	5500
	Máximo	4A	9900	5A	8950	7A	8000
3	Mínimo	3A	8900	4A	6550	4A	5000
	Máximo	5A	12000	5A	9700	7A	7300
4	Mínimo	4A	6200	5A	7350	4A	5000
	Máximo	8A	14400	8A	10700	8.5A	10000
Imán Permanente	-	-	-	-	-		500

En la tabla N° 3.1 se observa los rangos máximos y mínimos de amperaje y fuerza de cada magneto y su respectiva bobina.

**Figura N° 3.3:** Magneto de refinación

Los rangos de amperajes empleados en los 03 magnetos de bandas cruzadas varían de acuerdo al tipo de carga de alimento (tipo de malla) estas se regulan dependiendo de la granulometría y a su concentración, las partículas de óxidos y sulfuros por su baja susceptibilidad magnética son separados en estos magnetos cuyas velocidades de faja varían de 30 a 45 Hz. En ellas se obtiene un concentrados y mixtos, los mixtos son reducidos de tamaño para mayor liberación del WO_3 para volver a repararlos.



Figura N° 3.4: Se aprecia la descarga de concentrados y mixtos

Luz de separación entre partícula de mineral a la superficie del magneto de 0.5cm a 1.5 cm (más estrecho para los finos y amplio para los más gruesos) y asimismo un "splitter" o placa giratoria que separa al final, en la caída libre de las partículas, los concentrados de los mixtos. Por otro lado cada Magneto posee una tolva de

recepción de mineral con un sistema de descarga de compuerta graduada para regular la altura de cama de las partículas sobre la faja transportadora de mineral.

Parámetros a seguir

1. Variando la abertura de alimentación en la tolva que conlleva a regular el espesor del alimento que se conduce en la faja transportadora de carga.
2. Variando la velocidad de la faja, para el mineral más fino, le compete una mayor velocidad relativa.
3. Variando la altura entre la bobina magnética y la faja transportadora de carga, dándole una menor altura relativa para el mineral más fino a procesar.
4. También debido a la mineralogía diversa y variada, se hace necesario tratar de disgregar (moler el mineral mixto) a fin de liberar el mineral valioso (WO_3), y ser expuesto ante las bobinas magnéticas para ser captados (recuperados).

3.2.1. Magneto Eriez

En este magneto se realiza la primera limpieza de concentrados de las mallas +65 y -65 clasificadas en el separador Sweco. Este magneto cuenta con 04 electroimanes que trabajan a diferente amperaje.

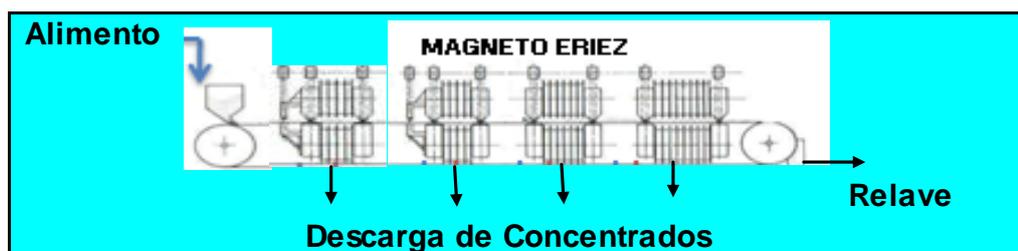


Figura N° 3.5: Magneto Eriez

Tabla N° 3.2: Parámetros

Mallas	Bobinas	Bobina N°1	Bobina N°2	Bobina N°3	Bobina N°4
+65 y -65	Velocidad de faja	45 Hz	45 Hz	45 Hz	45 Hz
	Amperaje	5	10	10	10

La función de este magneto es el de pre concentrar el tungsteno, en la primera bobina se trabaja con bajo amperaje debido a que los óxidos son susceptibles a un bajo amperaje separando los óxidos que son perjudiciales en la refinación final, pasando la carga a las siguientes bobinas donde se trabaja con alto amperaje para recuperar el tungsteno, en estas tres últimas bobinas se jala agresivamente para luego pasar la carga a limpieza final, se obtienen concentrados de 60 a 65% WO_3 de arrojando un relave de 03 a 05 % WO_3 .

3.2.2. Magneto 18

En esta magneto se realiza la primera limpieza de concentrados de malla +28 clasificada en el separador Sweco. Este magneto también cuenta con 04 electroimanes que trabajan a diferente amperaje.

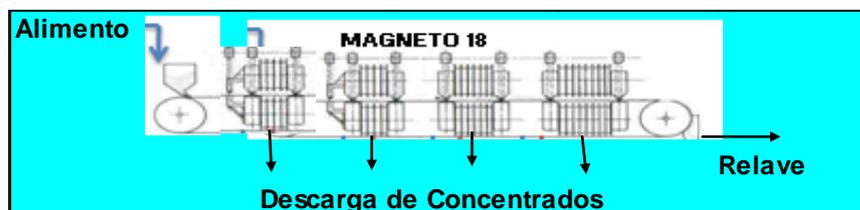


Figura N° 3.6: Magneto 18

Tabla N° 3.3: Parámetros

Mallas	Bobinas	Bobina N°1	Bobina N°2	Bobina N°3	Bobina N°4
28	Velocidad de faja	45 Hz	45 Hz	45 Hz	45 Hz
	Amperaje	5	10	10	10

Al igual que el Magneto Eriez en la primera bobina se separan los óxidos susceptibles a al bajo amperaje, de la misma manera se realiza una recuperación agresiva de refinados de tungsteno en la últimas, obteniendo de esta manera un concentrado de 60 a 65 % WO_3 con un relave de 03 a 05 % WO_3 .

3.2.3. Magneto 16

En este magneto se obtienes los productos finales de refinación, con una concentración de 74% de WO_3 , el proceso se trata independientemente por tipo de malla.

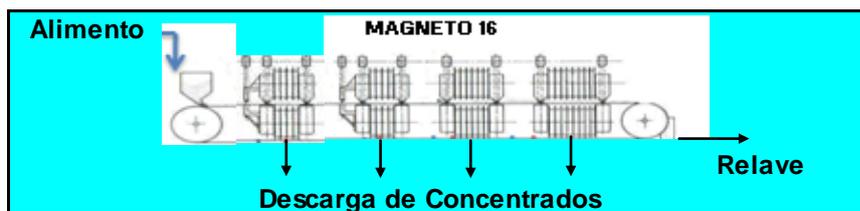


Figura N° 3.7: Magneto 16 para refinado final

Tabla N° 3.4: Parámetros

Mallas	Bobinas	Bobina N°1	Bobina N°2	Bobina N°3	Bobina N°4
Malla +28	Velocidad de faja	37 - 38 Hz			
	Amperaje	2,5	2 - 2.5	4 - 4.5	6 - 6.5
Malla +65	Velocidad de faja	35 - 37 Hz			
	Amperaje	2,5	2 - 2.5	4.5 - 5	6 - 6.5
Malla -65	Velocidad de faja	33 - 35 Hz			
	Amperaje	2,5	2 - 2.5	5.5 - 6	6 - 6.5

3.2.4. Resultados de Pruebas**Tabla N° 3.5: Pre-Refinado**

	%WO₃	%WO₃	%WO₃
Fecha de Prod.	Cabeza	Ref. Final	Relave
05/05/2011	39.00	73.6	0.80
06/05/2011	36.08	73.7	0.75
07/05/2011	30.88	73.2	0.89

Tabla N° 3.6: Prueba a + Malla 65

	Magneto Eriez	Magneto Eriez	Magneto 16	%WO₃
Fecha de Prod.	%WO₃ Cabeza	%WO₃ Conc.	%WO₃ Ref. Final	Relave
05/05/2011	33.37	64.96	73.5	0.50
06/05/2011	36.71	63.15	73.6	0.59
07/05/2011	38.59	67.26	74.1	0.64

Tabla N° 3.7: Prueba a - Malla 65

	Magneto Eriez	Magneto Eriez	Magneto 16	%WO₃
Fecha de Prod.	%WO₃ Cabeza	%WO₃ Conc.	%WO₃ Ref. Final	Relave
05/05/2011	16.13	68.3	73.8	0.55
06/05/2011	22.6	66.35	73.4	1.07
07/05/2011	19.61	64.06	73.62	0.78

Tabla N° 3.8: Prueba a + Malla 28

	Magneto 18	Magneto 18	Magneto 16	%WO₃
Fecha de Prod.	%WO₃ Cabeza	%WO₃ Conc.	%WO₃ Ref. Final	Relave
05/05/2011	42.9	62.04	73.6	0.57
06/05/2011	51.39	62.18	73.42	0.6
07/05/2011	52.51	64.82	74.18	1.03



Figura N° 3.8: Se aprecian los refinados finales para mallas 1/32, +28, +65 y -65



Figura N° 3.9: Se aprecian los sacos listos para despacho

3.3. Efectos del Arsénico en la Refinación de Wolframita.

3.3.1. Presencia de arsénico en concentrado de Wolframita.

En los últimos lotes de concentrado de WO_3 , específicamente a partir del lote 12-2010 (con fecha 11/05/10) en adelante se observa un incremento de arsénico (%As), dando como consecuencia una disminución en la ley de WO_3 (mínimo 68.20% y máximo 73.6%), cabe mencionar que a mayor %As menor será la ley en % WO_3 . Ver Tabla N° 3.1.

La presencia de arsénico presente en el concentrado puede estar presente en forma de sulfuro en una gran variedad de minerales que contiene cobre, plomo, hierro (Arsenopirita $FeAsS$), níquel, cobalto y otros metales, o como sulfosales (Enargita $AsCu_3S_4$, tenantita $Cu_{12}As_4S_{13}$), para ello es necesario una análisis mineralógico del concentrado y así poder tener específicamente que minerales están asociados al arsénico.

El incremento en %As, se debe a que mina esta extrayendo mineral de zonas donde el arsénico está presente en un alto porcentaje (zona de sulfuros), por ello es necesario que geología analice e identifica las zonas de alto contenido de arsénico y puedan realizar un buen blending. Por la asociación que presenta el arsénico a minerales pesados la gran mayoría es atrapado junto con el concentrado, por ello en Planta de Pre-refinado es casi imposible su separación (por método gravimétrico).

Para que el arsénico esté presente en el concentrado ello implica que el arsénico está asociado a minerales susceptibles al campo magnético generado por los magnetos

(Planta de Refinado) y es donde se junta con el concentrado. No tenemos información si estos minerales que contienen arsénico son susceptibles a la misma intensidad de campo magnético que la wolframita-ferberita-hubnerita o susceptibles a una menor o mayor intensidad de campo magnético que la wolframita-ferberita-hubnerita.

En el caso de estar asociado a minerales que son susceptibles a la misma intensidad de campo magnético que la wolframita-ferberita-hubnerita, ahí el problema es más grave que no va ser posible variando la intensidad de campo magnético.

En el caso de estar asociado a minerales susceptibles a una menor o mayor intensidad de campo magnético que la wolframita-ferberita-hubnerita, es posible separar variando la intensidad de campo magnético, para ello si va ser importante dar mantenimiento general a los magnetos para así mejorar su eficiencia.

3.3.2. Solución a corto plazo

Identificación de todas las zonas de explotación respecto al arsénico, una vez tenido la data realizar un buen blending. Al calentar a los minerales que tienen propiedades magnéticas y enfriarlo, estos pierden un poco sus propiedades magnéticas, por ello en Planta de Refinado se va a realizar una prueba con un saco de refinado, calentándolo en las planchas de secado y retornando al magneto.

Tabla N° 3.1: Registro histórico de presencia de arsénico en refinados

Date	Malaga Lot #	Ca	As	Mo	P	WO3	As (GRDORE)
11-may	12-2010	0.2	0.19	<.01	0.01	73.6	0.14
09-may	13-2010	0.28	0.18	<.01	0.01	72.4	0.12
15-may	14-2010	0.01	0.18	<.01	0.01	72.8	0.10
10-jun	15-2010	0.01	0.19	<.01	0.02	72.3	0.12
22-may	16-2010	0.22	0.23	<.01	0.01	71.9	0.11
12-jun	17-2010	0.38	0.18	<.01	0.01	70.9	0.13
14-jun	18-2010	0.27	0.22	<.01	0.01	71.8	0.15
15-jun	19-2010	0.53	0.15	<.01	0.01	73.0	0.07
17-jun	20-2010	0.23	0.29	<.01	0.01	72.7	0.21
25-jun	21-2010	0.17	0.15	<.01	0.01	73.6	0.09
27-jun	22-2010	0.31	0.2	<.01	0.01	72.8	0.14
28-jun	23-2010	0.33	0.24	<.01	0.01	73.4	0.14
12-jul	24-2010	0.27	0.18	<.01	0.01	72.9	0.12
11-jul	25-2010	0.38	0.11	<.01	0.01	73.2	
14-jul	26-2010	0.42	0.12	<.01	0.01	73.4	
01-ago	27-2010	0.26	0.17	<.01	0.01	72.4	0.09
08-ago	28-2010	0.01	0.25	0.01	0.01	72.0	0.14
13-ago	29-2010	0.36	0.15	<.01	0.01	72.4	0.09
28-ago	30-2010	0.21	0.18	<.01	0.01	71.8	0.11
24-ago	31-2010	0.25	0.15	>.01	0.01	73.0	0.09
30-ago	32-2010	0.18	0.2	<.01	0.01	73.0	0.12
	33-2010	0.25	3.27	<.01	0.01	72.4	0.18
	34-2010	0.01	0.29	<.01	0.01	71.5	0.18
	35-2010	0.24	0.39	<.01	0.01	70.1	0.21
	36-2010	0.16	0.58	<.01	0.01	68.2	0.34
	37-2010	0.27	0.58	<.01	0.01	69.0	0.35
	38-2010	0.14	0.3	<.01	0.01	71.8	0.18
	39-2010	0.29	0.3	<.01	0.01	71.4	0.19
	40-2010	0.21	0.15	<.01	0.01	73.3	0.09

Con el objetivo de buscar soluciones se realizaron 02 pruebas tanto para concentrados Triplex-Duplex y concentrados finales de WO₃.

3.4. Presencia de arsénico en concentrado de Wolframita Triples-Dúplex

Se realizó un balance metalúrgico, con el objetivo de disminuir al máximo el contenido de As en el concentrado. En la recuperación de finos de WO₃, producto del tratamiento de concentrado Triples-Dúplex, con la finalidad de determinar cuánto es la recuperación del concentrado en la planta de refinación.

Para poder obtener el balance se tomó concentrado procedente de la Planta de pre refinado (recuperación en Jigs Triplex-Duplex), las tomas de muestras fueron realizados en cuatro puntos diferentes (pesos y leyes), punto uno cabeza concentrado, punto dos producto refinado de WO_3 para su comercialización, punto tres producto mixto y cuarto punto relave final.

El proceso de prueba se realizó en las mismas condiciones de operación diaria, para esta prueba se utilizó 530 kg de concentrado seco a tratar con ley promedio calculada de 11.98%, obteniendo una recuperación total del 93.62%.

La recuperación en cada magneto fue de lo siguiente manera:

Magneto ERIEZ	recuperación al 92.67%
Magneto 18	recuperación al 92.63%
Magneto 16	recuperación al 95.22%

Resultados:

1. La recuperación total de finos de WO_3 es de 93.62%.
2. En el magneto 16, a granulometría +1/16" la recuperación de finos de WO_3 es de 95.22%, a una ley de refinado 71.43% y un relave relativamente alto de 1.07%.
3. En el magneto 18, a granulometría de +1/32" -1/16" la recuperación de finos de WO_3 es de 89.2%, a una ley de refinado 69.21%, con un relave relativamente alto de 1.3%.

4. En el magneto 18, a granulometría de +m28 -1/32” la recuperación de finos de WO_3 es de 96.5%, a una ley de refinado 70.46%, con un relave de 0.34%.
5. Recuperación total promedio en el magneto 18 es de 92.63%.
6. En el magneto ERIEZ, a granulometría de +m65 la recuperación de finos de WO_3 es de 94.82%, a una ley de refinado 73.94%, con un relave de 0.58%.
7. En el magneto ERIEZ, a granulometría de -m65 la recuperación de finos de WO_3 es de 90.78%, a una ley de refinado 68.86%, con un relave relativamente alto de 1.3%
8. Recuperación total promedio en el magneto ERIEZ es de 92.67%

3.5. Presencia de arsénico en concentrado final de WO_3 .

Se tomó un saco al azar de concentrado (70 kg), con leyes de % WO_3 y % As de 73.91 y 0.03 respectivamente. En un inicio se calentó el concentrado en una Plancha de secado por aproximadamente 45 minutos con la condición que la mayor cantidad de sulfuros presentes se oxiden de esa forma eliminar un poco de estos.

El concentrado una vez calentado y enfriado se paso una sola vez por el magneto 16 para su limpieza obteniendo resultados favorables respecto al WO_3 y sin cambios significativos respecto al As.

En el proceso de limpieza por el separador magnético 16 se obtienen 6 productos, primer producto oxido 1, segundo producto oxido 2, tercer producto refinado WO_3 , cuarto producto mixto 1, quinto producto mixto 2 y sexto producto relave.

Las tomas de muestras fueron tomadas en 7 puntos diferentes del proceso tanto para leyes en % WO_3 y % As, así como en peso (kg), por cada producto obtenido, así como se señala en el esquema.

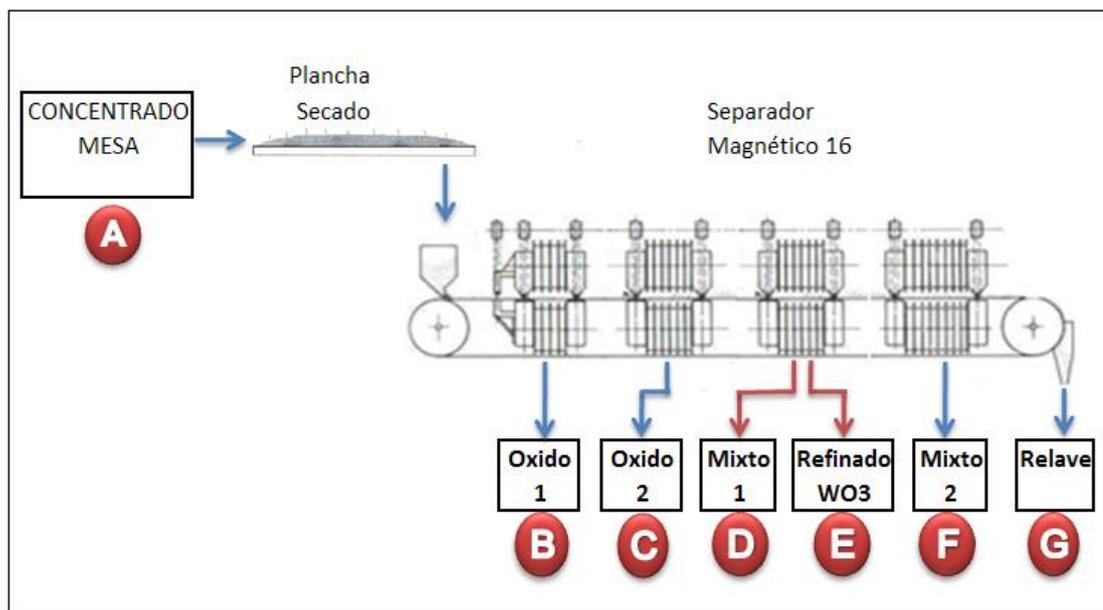


Figura N° 3.10: Esquema descriptivo del proceso y toma de muestras

La toma de muestras se detalla en la Tabla N° 3.2.

Tabla N° 3.2: Descripción de la muestra

PUNTO	CODIGO LAB. QUI.	DESCRIPCION
A	2442-PC	Cabeza
B	2443-PC	Oxido 1
C	2444-PC	Oxido 2
D	2445-PC	Mixto 1
E	2446-PC	Refinado WO_3
F	2447-PC	Mixto 2
G	2448-PC	Relave

La prueba se realizó en las mismas condiciones de operación diaria, para esta prueba se utilizó un saco de concentrado al azar con un peso de 70 kg seco, las leyes fueron analizadas por Alfred H Knight.

Tabla N° 3.3: Leyes y pesos de las muestras

PUNTO	LEY %WO₃	LEY %As	PESO Kg
A	73.91	0.03	70.00
B	13.08	2.22	0.10
C	21.87	1.96	0.15
D	73.70	0.03	20.75
E	75.08	0.02	47.60
F	57.17	0.44	0.95
G	9.67	1.19	0.30

Tabla N° 3.4: Contenido metálico Magneto 16

PUNTO	LEY % WO₃	LEY% As	PESO Kg	CONTENIDO Kg WO₃ As	
A	73.91	0.03	70.00	51.74	0.021
B	13.08	2.22	0.10	0.01	0.002
C	21.87	1.96	0.15	0.03	0.003
D	73.70	0.03	20.75	15.29	0.006
E	75.08	0.02	47.60	35.74	0.010
F	57.17	0.44	0.95	0.54	0.004
G	9.67	1.19	0.30	0.03	0.004

CAPITULO IV

BALANCES DE CONCENTRADOS TRIPLES-DUPLEX Y MESAS

4.1. Balance metalúrgico concentrado Triples-Duplex.

El objetivo de la prueba fue determinar cuánto es el porcentaje de recuperación de los concentrados triples y dúplex en la planta de refinación.

Se realizó un segundo balance metalúrgico, en la recuperación de finos de WO_3 , producto del tratamiento de concentrado Triples-Dúplex, con la finalidad de determinar cuánto es la recuperación del concentrado Triples-Duplex en la planta de Pre refinación.

Para poder obtener el balance se tomó concentrado procedente de la Planta de pre refinado (recuperación en Jigs Triples-Duplex), las tomas de muestras fueron realizados en cuatro puntos diferentes (pesos y leyes), punto uno cabeza concentrado, punto dos producto refinado de WO_3 para su comercialización, punto tres producto mixto y cuarto punto relave final.

El proceso de prueba se realizó en las mismas condiciones de operación diaria, para esta prueba se utilizó 478 kg de concentrado seco a tratar con ley promedio calculada de 12.65%, obteniendo una recuperación total del 95.50%.

La recuperación en cada magneto fue de la siguiente manera:

Magneto ERIEZ recuperación al 91.32%

Magneto 18 recuperación al 95.04%

Magneto 16 recuperación al 98.41%

4.1.1. Procedimiento:

La carga recepcionada de concentrado Triples y Duplex procedente de Planta de pre refinado, es alimentada a una zaranda vibratoria de 3 pisos (1/8" 1/16" y 1/32"), para su separación granulométricamente, la malla +1/8" son triturados en la chancadora de rodillo para luego retornar nuevamente a la zaranda (circuito cerrado), los +1/16" son tratados en el magneto 16, los +1/32" son tratadas en el magneto 18, los -1/32" son alimentadas a la zaranda SUECO de 2 pisos (malla 28 y malla 65), los +malla28 son tratadas en el magneto 18, los +malla 65 y -malla 65 son tratadas en el magneto ERIEZ de esta forma obtenemos 5 productos distribuido granulométricamente para su tratamiento en los separadores magnéticos.

Para esta prueba solamente se tomaron 3 granulometrías que son [+1/16"] [+m28 - 1/32"] y [+m65 -m65]

En el proceso de separación magnética se obtiene 3 productos, primer producto concentrado refinado de WO_3 , segundo producto mixtos (es cargada en el siguiente carguío a la tolva para su limpieza) y tercer producto cola o relave.

Las tomas de muestras fueron tomadas en 4 puntos del proceso tanto para leyes en % de WO_3 , así como en peso (kg), para cada producto distribuido granulométricamente, como se señala en el esquema.

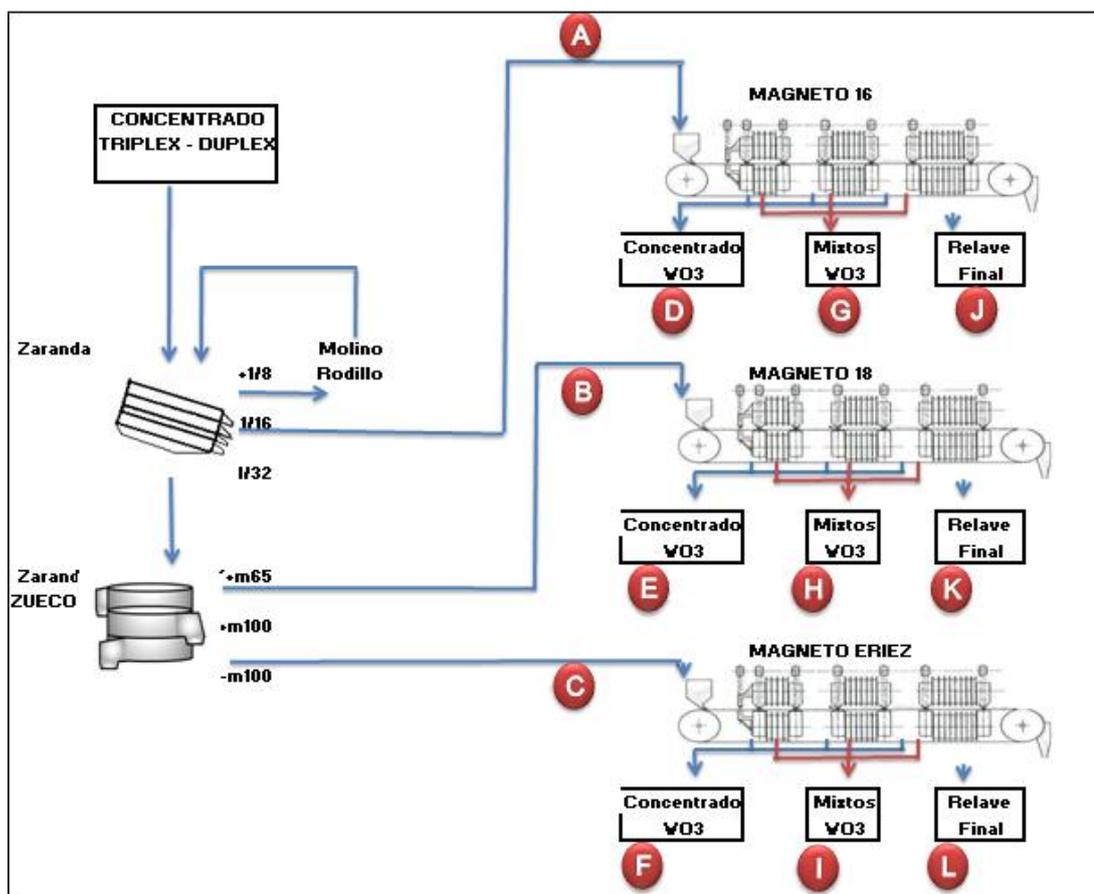


Figura N° 4.1: Esquema descriptivo del proceso y toma de muestras

La toma muestras se detalla en la Tabla N° 4.1.

Tabla N° 4.1: Descripción de la muestra

PUNTO	CODIGO LAB. QUI	DESCRIPCION
A	1604-PC	Concentrado TD +1/16"
B	1605-PC	Concentrado TD +m28
C	1606-PC	Concentrado TD -m65
D	1607-PC	Refinado TD +1/16"
E	1608-PC	Refinado TD +m28
F	1609-PC	Refinado TD -m65
G	1610-PC	Mixto TD +1/16"
H	1611-PC	Mixto TD +m28
I	1612-PC	Mixto TD -m65
J	1613-PC	Relave TD +1/16"
K	1614-PC	Relave TD +m28
L	1615-PC	Relave TD -m65

La prueba se realizó en las mismas condiciones de operación diaria, para esta prueba se utilizó un peso total de 478 kg seco aproximado de concentrado Triplex-Duplex, las leyes fueron analizadas por laboratorio químico.

Tabla N° 4.2: Leyes y pesos de las muestras

PUNTO	LEY % WO₃	PESO Kg
A	15.78	168.00
B	8.72	143.20
C	10.32	166.80
D	69.90	26.40
E	68.79	16.00
F	68.23	20.60
G	56.89	17.60
H	50.00	2.40
I	60.72	5.00
J	0.37	124.00
K	0.51	124.80
L	1.15	141.20

4.1.2. Resultados:**4.1.2.1. Balance metalúrgico (Magneto 16)****Tabla N° 4.3:** Balance metalúrgico (Magneto 16), granulometría [+1/16"]

Componentes	Peso (Kg)	Ley % WO₃	Contenido Fino WO₃ (kg)	Recuperación (%)
Cabeza	168.00	15.78	26.5104	
Refinado WO ₃	26.40	69.90	18.4536	98.41
Mixto	17.60	56.89	10.0126	
Relave	124.00	0.37	0.4588	
Cabeza calculada		17.22	28.9250	

4.1.2.2. Balance metalúrgico (Magneto 18)

Tabla N° 4.4: Balance metalúrgico (Magneto 18), granulometría [+m28 -1/32"]

Componentes	Peso (Kg)	Ley % WO₃	Contenido Fino WO₃ (kg)	Recuperación (%)
Cabeza	143.20	8.72	12.4870	
Refinado WO ₃	16.00	68.79	11.0064	95.04
Mixto	2.40	50.00	1.2000	
Relave	124.80	0.51	0.6365	
Cabeza calculada		8.97	12.8429	

4.1.2.3. Balance metalúrgico (Magneto ERIEZ)

Tabla N° 4.5: Balance metalúrgico (Magneto ERIEZ), granulometría [+m65 -m65]

Componentes	Peso (Kg)	Ley % WO₃	Contenido Fino WO₃ (kg)	Recuperación (%)
Cabeza	166.80	10.32	17.2138	
Refinado WO ₃	20.60	68.23	14.0554	91.32
Mixto	5.00	60.72	3.0360	
Relave	141.20	1.15	1.6238	
Cabeza calculada		11.22	18.7152	

De la tabla 4.5 se puede apreciar una ley de refinado de 68.23% WO₃ en el magneto Eriez, obteniendo 14.05kg de WO₃, esta ley se podría incrementar con una repasada o limpieza para la obtención de una mayor pureza, teniendo presente que el concentrado mixto se podría reducir de tamaño para una mayor liberación de WO₃ y pasar nuevamente por el magneto para incrementar la recuperación.

4.1.2.4. Balance metalúrgico total

Tabla N°4.6: % Recuperación total del concentrado Triplex-Duplex

Componentes	Contenido Fino WO₃ (kg)	Recuperación (%)
Cabeza	6048.31	
Recuperado	5776.40	95.50

4.1.2.4. Análisis de la prueba

1. La recuperación total de finos de WO₃ es de 95.50%.
2. En el magneto 16, a granulometría +1/16” la recuperación de finos de WO₃ es de 98.41%, a una ley de refinado 69.90% y un relave de 0.37%.
3. En el magneto 18, a granulometría de +m28 -1/32” la recuperación de finos de WO₃ es de 95.04%, a una ley de refinado 68.79%, con un relave de 0.51%.
4. En el magneto ERIEZ, a granulometría de +m65 y -m100 la recuperación de finos de WO₃ es de 91.31%, a una ley de refinado 68.23%, con un relave relativamente alto de 1.15%
5. El balance metalúrgico se realizó en función a la cabeza calculada.

4.2. Balance metalúrgico del pre concentrado de mesa.

El objetivo de esta prueba es el de realizar un balance metalúrgico completo de pre concentrado en mesas gravimétricas, para lo cual se realizó un balance metalúrgico, en la recuperación de finos de WO₃, producto del tratamiento en mesa gravimétrica, con la finalidad de determinar la recuperación de dicho pre concentrado en la planta de pre refinación.

Para poder obtener el balance se tomó pre-concentrado procedente de la Planta de pre refinado (recuperación por mesas gravimétricas), las tomas de muestras fueron realizados en cinco puntos diferentes (pesos y leyes), punto uno cabeza de mesa, punto dos concentrado de mesa, punto tres producto refinado de WO_3 para su comercialización, punto cuatro producto mixto y quinto punto relave final.

El proceso de prueba se realizó en las mismas condiciones de operación diaria, para esta prueba se utilizó 400 kg de muestra a tratar con ley de 3.17%, obteniendo un concentrado en mesa de 81 kg con ley de 10.06% de WO_3 , producto refinado de 15 kg con ley de 49.51% de WO_3 , un relave final con peso de 62.5 kg con ley de 0.73% de WO_3 .

Obteniendo una recuperación en mesa gravimétrica y en separador magnético ERIEZ de 64.26% y 95.31% respectivamente, obteniendo en total una recuperación al 61.25% y un ratio de concentración en peso de 26.67.

4.2.1. Procedimiento:

La carga recepcionada de pre concentrado en mesas gravimétricas en Planta de Pre refinado, es nuevamente tratada en una sola mesa gravimétrica, de esta forma obtenemos 2 productos (concentrado de mesa y cola o llamado también relave), el concentrado es secado en las planchas, una vez secado y enfriado pasa a la tolva alimentador del magneto ERIEZ, obteniendo 3 productos, primer producto concentrado refinado de WO_3 , segundo producto mixtos (es cargada en el siguiente carguío a la tolva para su limpieza) y tercer producto cola o relave. Las tomas de

muestras fueron tomadas en 5 puntos del proceso tanto para leyes en % de WO_3 , así como en peso, como se señala en el esquema.

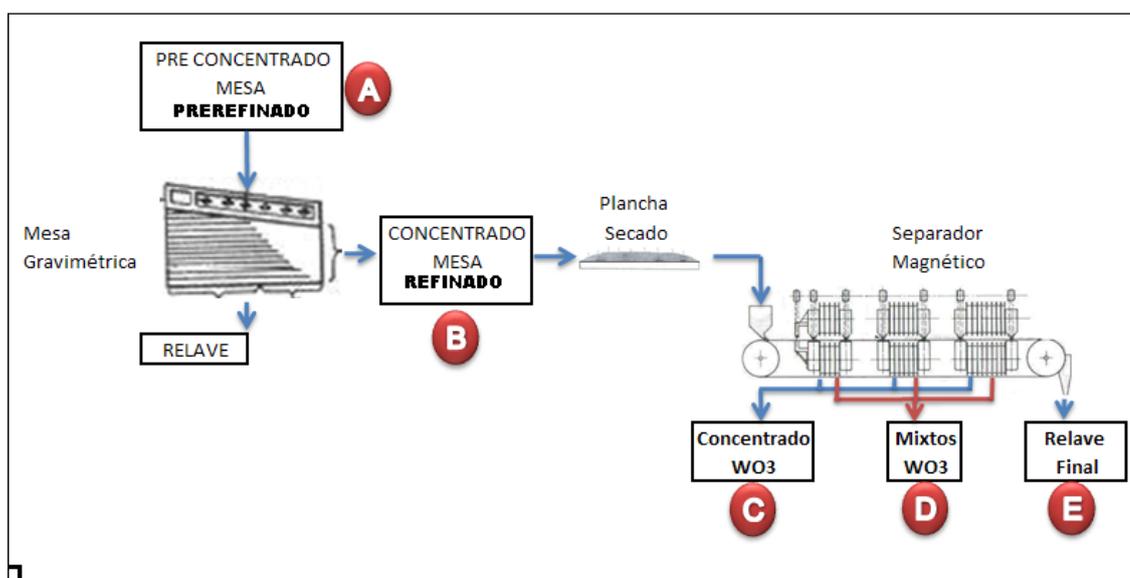


Figura N° 4.2: Esquema descriptivo del proceso y toma de muestras

Las muestras tomadas se detallan en la Tabla N° 4.7.

Tabla N° 4.7: Descripción de la muestra

PUNTO	CODIGO LABORATORIO	DESCRIPCION
A	1530-PC	Cabeza mesa
B	1531-PC	Concentrado mesa
C	1532-PC	Refinado WO_3
D	1533-PC	Mixto
E	1534-PC	Relave final

La prueba se realizó en las mismas condiciones de operación diaria, para esta prueba se utilizó un peso total de 400 kg seco aproximado, las leyes fueron analizadas por laboratorio químico.

Tabla N° 4.8: Leyes y pesos de las muestras

PUNTO	LEY (% WO₃)	PESO (Kg)
A	3.17	400.00
B	10.06	81.00
C	49.51	15.00
D	9.71	3.50
E	0.73	62.50

4.2.2. Resultados.

La recuperación en finos de WO₃ en la mesa gravimétrica es de 64.26% de WO₃, en función a la cabeza analizada, con una ratio de concentración de 4.94 esto como resultado de una pasada en el separador magnético.

Tabla N° 4.9: Balance metalúrgico (mesa gravimétrica)

Componentes	Peso (Kg)	Ley (% WO₃)	Contenido Fino WO₃ (kg)	Recuperación (%)
Cabeza	400.00	3.17	12.68	
Concentrado	81.00	10.06	8.1486	64.26
Relave	319.00	1.42	4.5314	
Cabeza calculada		3.17		

Tabla N° 4.10: Balance metalúrgico (Separador Magnético ERIEZ)

Componentes	Peso (Kg)	Ley (% WO₃)	Contenido Fino WO₃ (kg)	Recuperación (%)	Rc
Cabeza	81.00	10.06	8.1486		
Refinado WO ₃	15.00	49.51	7.4265	95.31	
Mixto	3.50	9.71	0.3399	94.46	
Relave	62.50	0.73	0.4563		
Cabeza calculada		10.15	8.2215		4.38

Tabla N° 4.11: Balance metalúrgico total de pre concentrado en mesas

Componentes	Peso (Kg)	Ley (% WO₃)	Contenido Fino WO₃ (kg)	Recuperación (%)
Cabeza	400.00	3.17	12.6800	
Refinado WO ₃	15.00	49.51	7.4265	61.25
Mixto	3.50	9.71	0.3399	
Relave	62.50	0.73	0.4563	

1. La recuperación total en mesa y magneto del pre concentrado en mesa es de 61.25%.
2. La recuperación en finos de WO₃ en la mesa gravimétrica es de 64.26% de WO₃, en función a la cabeza analizada, con una ratio de concentración de 4.94.
3. La recuperación en finos de WO₃ en el separador magnético es de 95.31% de WO₃, en función a la cabeza analizada, y 94.46% en función a la cabeza calculada, con una ratio de concentración de 4.38

4. De las leyes reportadas por laboratorio químico, se puede concluir que la ley de refinado es demasiado bajo 49.51% de WO_3 , y que la ley de relave final incrementado en 0.73% de WO_3 .

CONCLUSIONES

1. Se pudo observar que el pre concentrado de mesa procedente de Planta de Pre refinado, tiene una granulometría variable, y por ello se observa perdida en un inicio de mixtos de granulometría mayor. El movimiento de una partícula dentro de un fluido depende no solamente de su densidad relativa, sino también de su tamaño, así las partículas grandes serán más afectadas que las pequeñas.
2. Es muy importante la clasificación por malla antes de pasar los concentrados por el magneto ERIEZ, y el magneto 18, esto se hace con la intención de que las partículas gruesas no pasen por el magneto, de ser así las partículas gruesas no pasarían por las fajas de los magnetos produciendo atascamiento en las fajas y perdida de material al piso por arrastre de estas partículas.
3. Para obtener un producto de mayor ley necesariamente se requiere que el concentrado sea repasado por el magneto 16 para una mejor limpieza, llegando hasta leyes de refinado de 74% de WO_3 .

4. El débil magnetismo del mineral de tungsteno hace que el fenómeno de isodromía sea perturbado por una fuerza magnética adicional, haciendo que estos puedan caer en una zona diferenciada del resto lográndose separarlo por una placa separadora (splitter). Esto se da solo en el rango fuerza magnética que afecte al mineral de tungsteno (mayor a 5,000 gauss).
5. En el balance metalúrgico de mesa gravimétrica, no se tomó muestra de relave (leyes y pesos), se asumió por diferencia, para una próxima prueba se debe tomar muestra de relave, para así asegurar un cabeza calculada semejante a una analizada.
6. Por su elevado peso específico, los minerales de tungsteno se concentran con facilidad. Para eso se usan instalaciones especiales construidas por trituradoras, molinos, zarandas, clasificadores, mesas de concentración, etc. y según las características del mineral, plantas de concentración por flotación.
7. Gracias a nuevas tecnologías se han dado pasos bastantes extensos en el ámbito, procesamiento del tungsteno, utilizando molinos de barras, ciclones, mesas gravimétricas, Flotación de scheelita, tostadores y separadores magnéticos.
8. Se hace necesario buscar y aplicar técnicas adecuadas para que dicho mineral, especialmente los de baja ley, puedan entrar al mercado actual maximizando, a la vez la recuperación y extrayendo los subproductos valiosos. En este contexto y a estudios anteriores, surge la necesidad de seguir investigando sobre el tungsteno, y principalmente en nuestro caso, el mineral de scheelita.

BIBLIOGRAFIA

1. FERMIN MALAGA SANTOLALLA, Concentración Magnética del tungsteno.
2. FERNANDO CONCHA “Manual de Filtración y Separación”, Editora Margarita Mendez-Chile.
3. PIERRE BLAZY “El Beneficio de los Minerales” los Métodos Basados en el Magnetismo, Ed. Rocas y Minerales. España.
4. Proyecto de Reactivación de la Mina Planta de la CIA Minera Pasto Bueno Informe de Suficiencia profesional.
5. RASTON O. C. Electrostatic Separation of Mixed Granular Solids, Elsevier.
6. Arthur F. Taggart “Handbook of Mineral Dressing”. New York, 1960.
7. Servicio Nacional de Geología y técnico de Minas-SERGEOTECMIN, proyecto “Capacitación de Mineros en Escuela Minera de Chiripujio”
8. VIDALÓN G. J. “Separación Magnética” Métodos de Concentración de Minerales.

ANEXOS

Anexo 1: Flow Sheet actual del circuito

Anexo 2: Diagrama de Refinación

Anexo 3: Análisis de malla Valoradas de los Productos de Pre-refinado Triplex-Duplex

FLOW SHEET ACTUAL DEL CIRCUITO

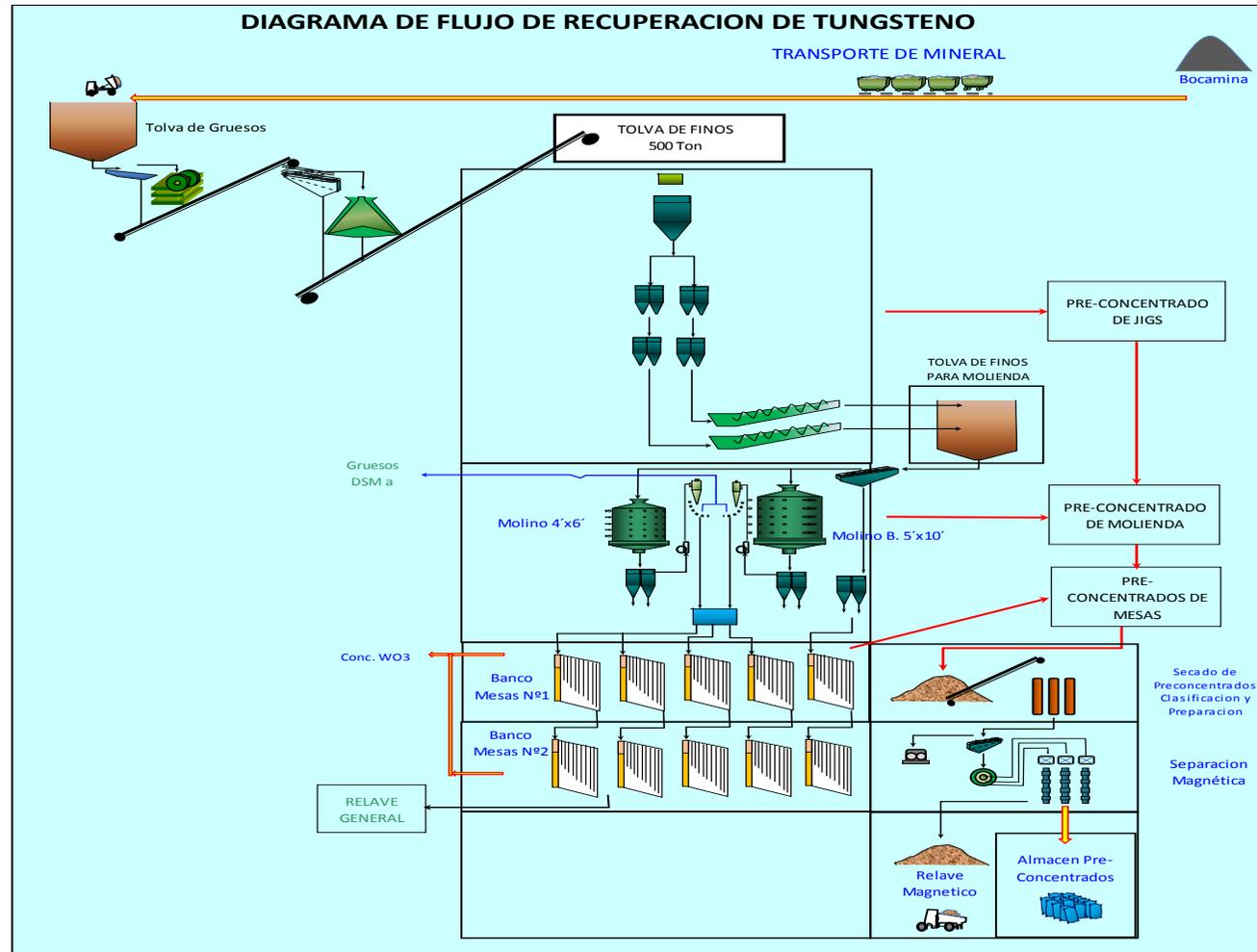
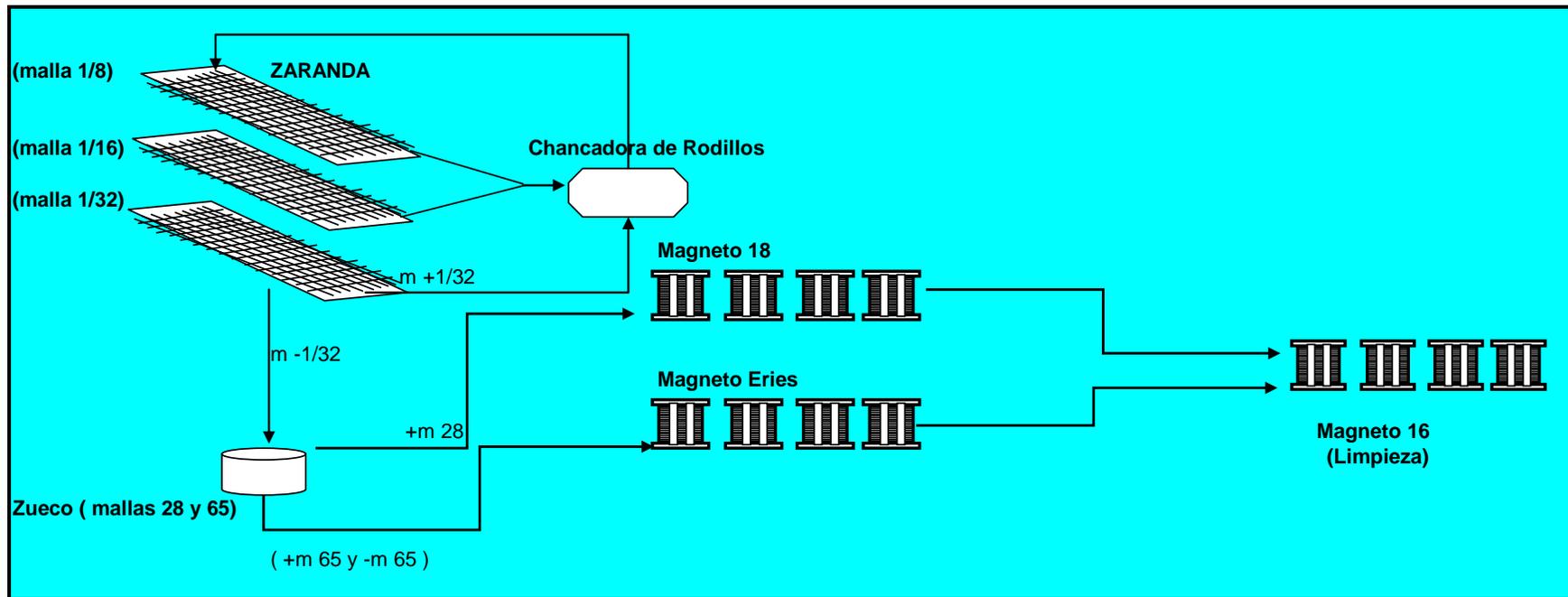


DIAGRAMA DE REFINACIÓN



ANÁLISIS DE MALLA VALORADAS DE LOS PRODUCTOS DE PRE REFINADO TRIPLEX-DUPLEX

CABEZA

Codigo Lab. Quimic.	Malla	Abertura mm	Peso Parcial		% Peso Acumul.		% WO3	% Distribución WO3		
			g	%	Retenido	Pasante		Parcial	Ac.Retén	Ac.Pasa
M1 T+D	m12	1.700	155	16.51	16.51	83.49	22.56	22.67	22.67	77.33
M1 T+D	m30	0.600	453	48.24	64.75	35.25	15.61	45.84	68.51	31.49
M1 T+D	m70	0.212	272	28.97	93.72	6.28	12.48	22.01	90.52	9.48
M1 T+D	m100	0.150	37	3.94	97.66	2.34	23.12	5.55	96.06	3.94
M1 T+D	m200	0.075	20	2.13	99.79	0.21	28.84	3.74	99.80	0.20
M1 T+D	- m200		2	0.21	100.00	-	15.15	0.20	100.00	-
Muestra Total			939	100.00			16.43	100.00		

CONCENTRADO DEL TAMBOR

Codigo Lab. Quimic.	Malla	Abertura mm	Peso Parcial		% Peso Acumul.		% WO3	% Distribución WO3		
			g	%	Retenido	Pasante		Parcial	Ac.Retén	Ac.Pasa
M2 T+D	m12	1.700	249	29.43	29.43	70.57	69.76	30.23	30.23	69.77
M2 T+D	m30	0.600	342	40.43	69.86	30.14	68.72	40.90	71.12	28.88
M2 T+D	m70	0.212	186	21.99	91.84	8.16	68.30	22.11	93.23	6.77
M2 T+D	m100	0.150	35	4.14	95.98	4.02	65.73	4.00	97.23	2.77
M2 T+D	m200	0.075	28	3.31	99.29	0.71	50.63	2.47	99.70	0.30
M2 T+D	- m200		6	0.71	100.00	-	28.79	0.30	100.00	-
Muestra Total			846	100.00			67.93	100.00		

RELAVE DEL TAMBOR

Codigo Lab. Quimic.	Malla	Abertura mm	Peso Parcial		% Peso Acumul.		% WO3	% Distribución WO3		
			g	%	Retenido	Pasante		Parcial	Ac.Retén	Ac.Pasa
M3 T+D	m12	1.700	237	25.11	25.11	74.89	7.81	48.73	48.73	51.27
M3 T+D	m30	0.600	483	51.17	76.27	23.73	2.99	38.02	86.75	13.25
M3 T+D	m70	0.212	198	20.97	97.25	2.75	2.21	11.52	98.27	1.73
M3 T+D	m100	0.150	18	1.91	99.15	0.85	2.59	1.23	99.49	0.51
M3 T+D	m200	0.075	7	0.74	99.89	0.11	2.28	0.42	99.91	0.09
M3 T+D	- m200		1	0.11	100.00	-	3.32	0.09	100.00	-
Muestra Total			944	100.00			4.02	100.00		

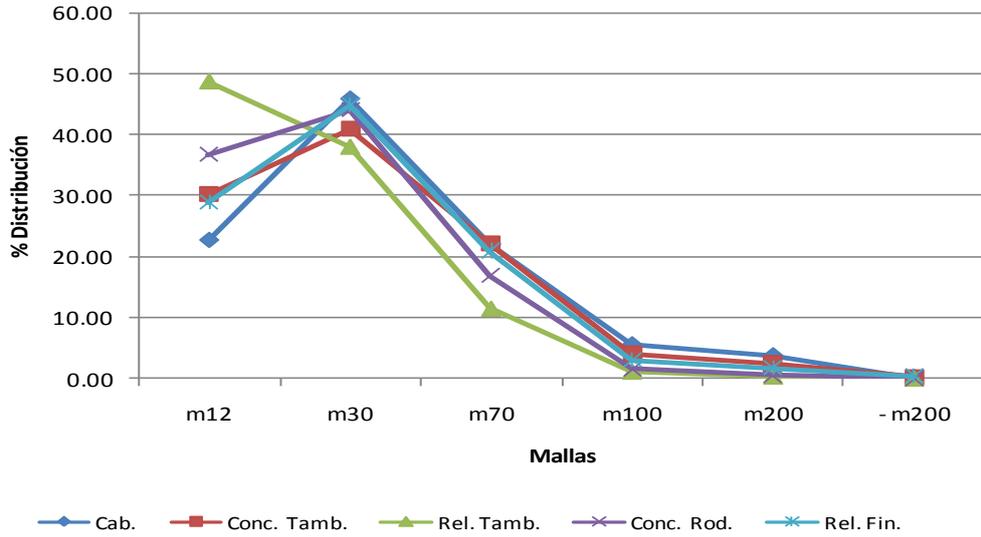
CONCENTRADO DEL RODILLO

Codigo Lab. Quimic.	Malla	Abertura mm	Peso Parcial		% Peso Acumul.		% WO3	% Distribución WO3		
			g	%	Retenido	Pasante		Parcial	Ac.Retén	Ac.Pasa
M4 T+D	m12	1.700	278	32.55	32.55	67.45	60.16	36.76	36.76	63.24
M4 T+D	m30	0.600	352	41.22	73.77	26.23	56.89	44.02	80.78	19.22
M4 T+D	m70	0.212	196	22.95	96.72	3.28	39.35	16.95	97.74	2.26
M4 T+D	m100	0.150	19	2.22	98.95	1.05	37.4	1.56	99.30	0.70
M4 T+D	m200	0.075	7	0.82	99.77	0.23	38.17	0.59	99.89	0.11
M4 T+D	- m200		2	0.23	100.00	-	25.9	0.11	100.00	-
Muestra Total			854	100.00			53.27	100.00		

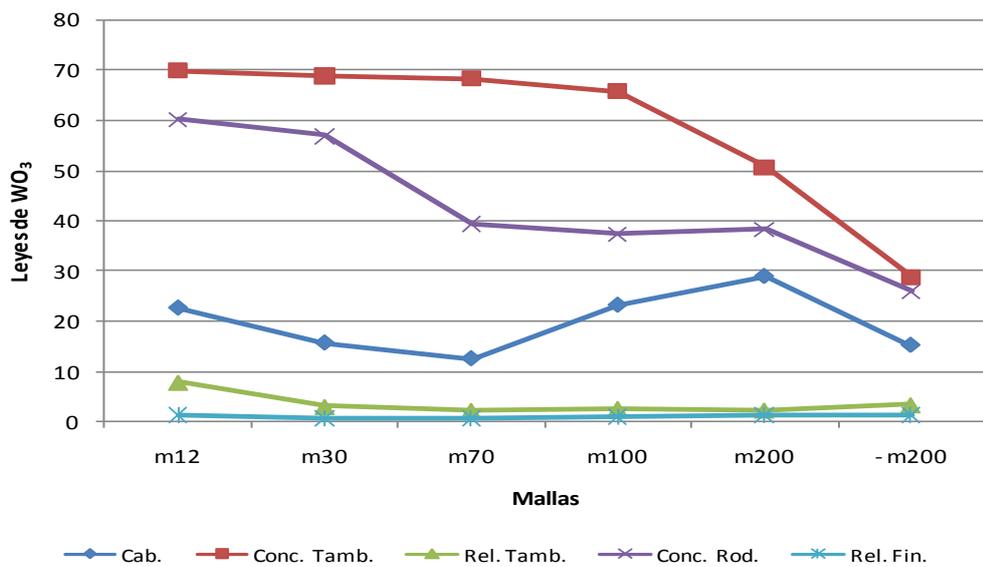
RELAVE FINAL

Codigo Lab. Quimic.	Malla	Abertura mm	Peso Parcial		% Peso Acumul.		% WO3	% Distribución WO3		
			g	%	Retenido	Pasante		Parcial	Ac.Retén	Ac.Pasa
M5 T+D	m12	1.700	210	18.92	18.92	81.08	1.25	29.03	29.03	70.97
M5 T+D	m30	0.600	564	50.81	69.73	30.27	0.72	44.91	73.94	26.06
M5 T+D	m70	0.212	291	26.22	95.95	4.05	0.65	20.92	94.86	5.14
M5 T+D	m100	0.150	29	2.61	98.56	1.44	0.94	3.01	97.88	2.12
M5 T+D	m200	0.075	13	1.17	99.73	0.27	1.19	1.71	99.59	0.41
M5 T+D	- m200		3	0.27	100.00	-	1.24	0.41	100.00	-
Muestra Total			1110	100.00			0.81	100.00		

Distribución de Valores de Wolframita por Mallas



LEYES de Wolframita por Mallas



MOLIENDA

CABEZA

Codigo Lab. Quimic.	Malla	Abertura mm	Peso Parcial		% Peso Acumul.		% WO3	% Distribución WO3		
			g	%	Retenido	Pasante		Parcial	Ac.Retén	Ac.Pasa
M1 MOL	m12	1.700	90	11.11	11.11	88.89	7.05	7.24	7.24	92.76
M1 MOL	m30	0.600	532	65.68	76.79	23.21	8.91	54.06	61.30	38.70
M1 MOL	m70	0.212	139	17.16	93.95	6.05	18.15	28.77	90.07	9.93
M1 MOL	m100	0.150	16	1.98	95.93	4.07	20.51	3.74	93.81	6.19
M1 MOL	m200	0.075	23	2.84	98.77	1.23	16.41	4.30	98.12	1.88
M1 MOL	- m200		10	1.23	100.00	-	16.51	1.88	100.00	-
Muestra Total			810	100.00			10.82	100.00		

CONCENTRADO DEL TAMBOR

Codigo Lab. Quimic.	Malla	Abertura mm	Peso Parcial		% Peso Acumul.		% WO3	% Distribución WO3		
			g	%	Retenido	Pasante		Parcial	Ac.Retén	Ac.Pasa
M2 MOL	m12	1.700	69	5.72	5.72	94.28	47.43	5.18	5.18	94.82
M2 MOL	m30	0.600	426	35.32	41.04	58.96	63.64	42.92	48.10	51.90
M2 MOL	m70	0.212	365	30.27	71.31	28.69	66.35	38.34	86.44	13.56
M2 MOL	m100	0.150	82	6.80	78.11	21.89	44.43	5.77	92.21	7.79
M2 MOL	m200	0.075	183	15.17	93.28	6.72	19.47	5.64	97.85	2.15
M2 MOL	- m200		81	6.72	100.00	-	16.75	2.15	100.00	-
Muestra Total			1206	100.00			52.37	100.00		

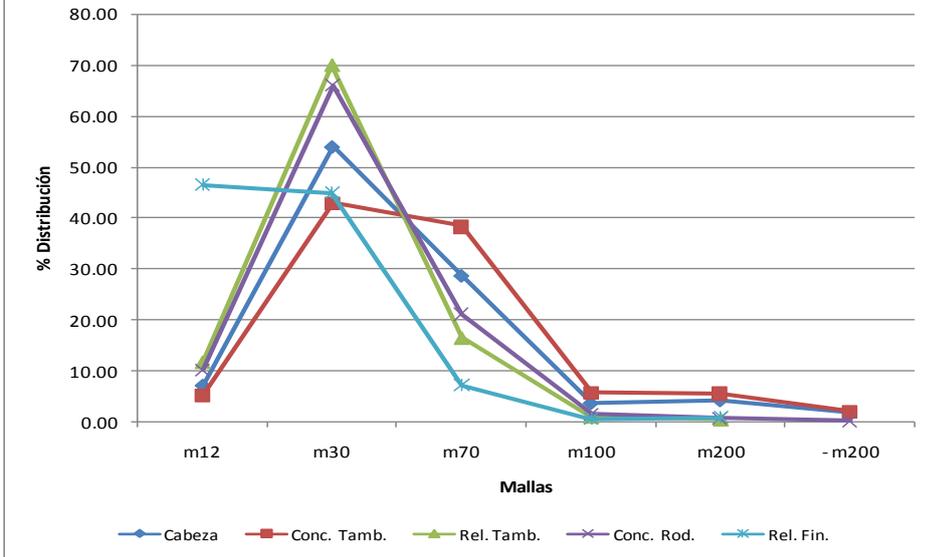
CONCENTRADO DEL RODILLO

Codigo Lab. Quimic.	Malla	Abertura mm	Peso Parcial		% Peso Acumul.		% WO3	% Distribución WO3		
			g	%	Retenido	Pasante		Parcial	Ac.Retén	Ac.Pasa
M4 MOL	m12	1.700	40	12.31	12.31	87.69	32.53	10.21	10.21	89.79
M4 MOL	m30	0.600	198	60.92	73.23	26.77	42.50	66.02	76.23	23.77
M4 MOL	m70	0.212	70	21.54	94.77	5.23	38.57	21.18	97.42	2.58
M4 MOL	m100	0.150	9	2.77	97.54	2.46	22.43	1.58	99.00	1.00
M4 MOL	m200	0.075	6	1.85	99.38	0.62	15.68	0.74	99.74	0.26
M4 MOL	- m200		2	0.62	100.00	-	16.65	0.26	100.00	-
Muestra Total			325	100.00			39.22	100.00		

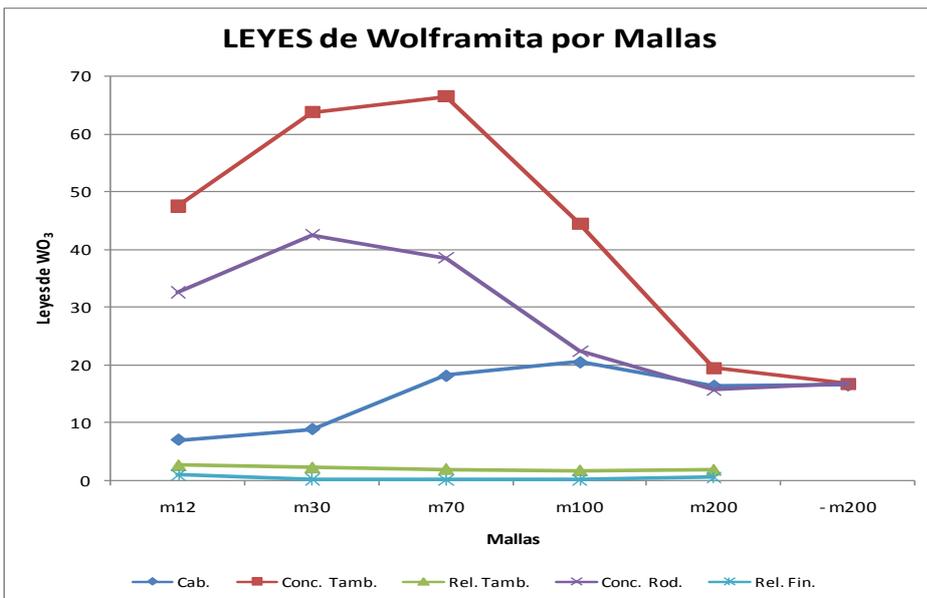
RELAVE FINAL

Codigo Lab. Quimic.	Malla	Abertura mm	Peso Parcial		% Peso Acumul.		% WO3	% Distribución WO3		
			g	%	Retenido	Pasante		Parcial	Ac.Retén	Ac.Pasa
M5 MOL	m12	1.700	176	18.07	18.07	81.93	1.00	46.46	46.46	53.54
M5 MOL	m30	0.600	630	64.68	82.75	17.25	0.27	44.90	91.36	8.64
M5 MOL	m70	0.212	152	15.61	98.36	1.64	0.18	7.22	98.59	1.41
M5 MOL	m100	0.150	10	1.03	99.38	0.62	0.23	0.61	99.19	0.81
M5 MOL	- m100		6	0.62	100.00	-	0.51	0.81	100.00	-
Muestra Total			974	100.00			0.39	100.00		

Distribución de Valores de Wolframita por Mallas



LEYES de Wolframita por Mallas



MESAS

CABEZA

Codigo Lab. Quimic.	Malla	Abertura mm	Peso Parcial		% Peso Acumul.		% WO3	% Distribución WO3		
			g	%	Retenido	Pasante		Parcial	Ac.Reten	Ac.Pasa
M1 MES	m30	0.600	20	3.87	3.87	96.13	12.72	3.22	3.22	96.78
M1 MES	m70	0.212	61	11.80	15.67	84.33	15.29	11.80	15.02	84.98
M1 MES	m100	0.150	78	15.09	30.75	69.25	11.08	10.94	25.96	74.04
M1 MES	m200	0.075	261	50.48	81.24	18.76	15.22	50.27	76.23	23.77
M1 MES	- m200		97	18.76	100.00	-	19.36	23.77	100.00	-
Muestra Total			517	100.00			15.28	100.00		

CONCENTRADO DEL TAMBOR

Codigo Lab. Quimic.	Malla	Abertura mm	Peso Parcial		% Peso Acumul.		% WO3	% Distribución WO3		
			g	%	Retenido	Pasante		Parcial	Ac.Reten	Ac.Pasa
M2 MES	m30	0.600	-	-	-	-			-	-
M2 MES	m70	0.212	30	4.16	4.16	95.84	56.07	4.33	4.33	95.67
M2 MES	m100	0.150	48	6.66	10.82	89.18	61.90	7.65	11.98	88.02
M2 MES	m200	0.075	364	50.49	61.30	38.70	63.22	59.25	71.23	28.77
M2 MES	- m200		279	38.70	100.00	-	40.05	28.77	100.00	-
Muestra Total			721	100.00			53.87	100.00		

RELAVE DEL TAMBOR (CABEZA RODILLO)

Codigo Lab. Quimic.	Malla	Abertura mm	Peso Parcial		% Peso Acumul.		% WO3	% Distribución WO3		
			g	%	Retenido	Pasante		Parcial	Ac.Retén	Ac.Pasa
M2 MES	m30	0.600	-	-	-	-			-	-
M3 MES	m70	0.212	55	17.30	17.30	82.70	10.91	49.13	49.13	50.87
M3 MES	m100	0.150	62	19.50	36.79	63.21	3.36	17.06	66.19	33.81
M3 MES	m200	0.075	168	52.83	89.62	10.38	2.14	29.44	95.62	4.38
M3 MES	- m200		33	10.38	100.00	-	1.62	4.38	100.00	-
Muestra Total			318	100.00			3.84	100.00		

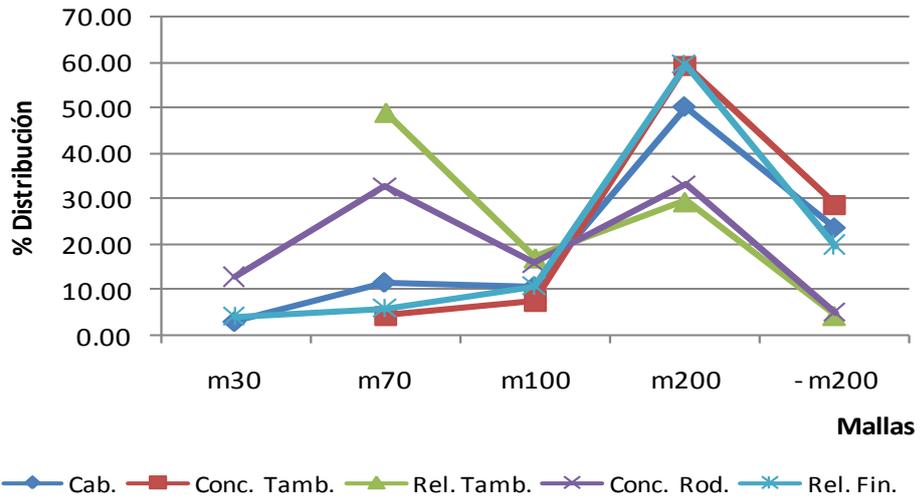
CONCENTRADO DEL RODILLO

Codigo Lab. Quimic.	Malla	Abertura mm	Peso Parcial		% Peso Acumul.		% WO3	% Distribución WO3		
			g	%	Retenido	Pasante		Parcial	Ac.Retén	Ac.Pasa
M4 MES	m30	0.600	33	6.99	6.99	93.01	59.45	12.95	12.95	87.05
M4 MES	m70	0.212	90	19.07	26.06	73.94	55.22	32.80	45.75	54.25
M4 MES	m100	0.150	81	17.16	43.22	56.78	29.77	15.91	61.66	38.34
M4 MES	m200	0.075	226	47.88	91.10	8.90	22.25	33.19	94.84	5.16
M4 MES	- m200		42	8.90	100.00	-	18.60	5.16	100.00	-
Muestra Total			472	100.00			32.10	100.00		

RELAVE FINAL

Codigo Lab. Quimic.	Malla	Abertura mm	Peso Parcial		% Peso Acumul.		% WO3	% Distribución WO3		
			g	%	Retenido	Pasante		Parcial	Ac.Reten	Ac.Pasa
M5 MES	m30	0.600	24	2.93	2.93	97.07	0.41	4.15	4.15	95.85
M5 MES	m70	0.212	88	10.76	13.69	86.31	0.16	5.94	10.08	89.92
M5 MES	m100	0.150	149	18.22	31.91	68.09	0.17	10.68	20.76	79.24
M5 MES	m200	0.075	455	55.62	87.53	12.4694	0.31	59.46	80.22	19.78
M5 MES	- m200		102	12.47	100.00	0	0.46	19.78	100.00	-
Muestra Total			818	100.00			0.29	100.00		

Distribución de Valores de Wolframita por Mallas



LeUES DE Wolframita por Mallas

