

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA MINERA Y METALURGICA



**LIMPIEZA FINAL Y RECUPERACION DE PARTICULAS FINAS DE
CASITERITA DE LOS CONCENTRADOS DE GRAVIMETRIA, CON EL JIG
KELSEY EN LA PLANTA CONCENTRADORA DE SAN RAFAEL -
MINSUR S.A.**

INFORME DE SUFICIENCIA

PARA OPTAR EL GRADO DE: INGENIERO METALURGICO

AUTOR: ALBERTO CARLOS UMASI LLAVE

LIMA – PERU

2005

SUMARIO

El presente informe está orientado a la aplicación del Jig Kelsey, la misma que tiene como principio fundamental el uso de la fuerza de gravedad y la fuerza centrífuga, para la recuperación de partículas finas de casiterita, en la Planta Concentradora de San Rafael. Básicamente se detalla como venía operando la Planta Concentradora mencionada, antes de operar el Jig Kelsey y los resultados que se tenía en los concentrados de gravimetría, así como, el problema que acarreaba tener un concentrado no muy limpio y la falta de un equipo capaz de elevar a niveles más altos las leyes de estaño. Posteriormente se detalla la alternativa del Jig Kelsey capaz de mejorar la calidad del concentrado de gravimetría y los resultados obtenidos en las pruebas experimentales, para luego presentar los cambios que se hicieron en dicha Planta Concentradora y los logros alcanzados a nivel industrial con la puesta en marcha del Jig Kelsey J1300. Adicionalmente se da a conocer una amplia descripción de este novedoso equipo, las variables metalúrgicas propiamente del equipo y los controles metalúrgicos del mineral de casiterita.

También, se muestra el análisis de recuperaciones por tamaño de partículas de casiterita en el Jig Kelsey, y su efectiva recuperación de partículas finas. Teniendo como resultado final, un notorio incremento de las leyes de estaño del concentrado de gravimetría, sin perjudicar la recuperación final de la casiterita en la Planta Concentradora citada.

SUMMARY

The present report is pointed to the Jig Kelsey application, itself has as fundamental principle the use of gravity and centrifugal force, for recovering cassiterite's fine particles in San Rafael Plant. Basically it is detailed how this Plant was working, before working with Jig Kelsey and the results that it has had in the concentrates of gravimetry, like, the problem that caused to have a concentrate not very clean and the lack of having a machine able to raise to higher levels the tin's assay. Subsequently it is detailed of Jig Kelsey able to improve the quality of concentrates of gravimetry, and the obtained results in the experimental tests, in reason to present the changes that were done in the Plant, and the achievements gotten in industrial level with Jig Kelsey J1300. Additionally it is showed a wide description of this original machine, the metallurgical variation of the machine, and metallurgical control of cassiterite.

The analysis shows the recovery per size of cassiterite particles in Jig Kelsey, and its effective recovery of fine particles. Having as a final result, an evident increase of tin assay in the concentrate of gravimetry, without damage the final recovery of cassiterite in the Plant.

CONTENIDO	Pág.
INTRODUCCION	11
CAPITULO I – ANTECEDENTES	
1.1 Aspectos generales de las operaciones en la compañía minera de San Rafael – MINSUR S.A.	14
1.2 Gráficos estadísticos de la evolución de producción en San Rafael	15
1.3 Resumen descriptivo de la Planta Concentradora de San Rafael	18
CAPITULO II - PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	
2.1 La situación negativa de los concentrados de gravimetría	24
2.2 Objetivos a alcanzar	26
2.3 Estado operacional con los jigs convencionales y mesas de gravimetría previa a la solución del problema.	27
2.4 Situación operacional de la etapa final para la obtención del concentrado de gravimetría.	33
CAPITULO III - PLANTEAMIENTO DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA	
3.1 Introducción.	35
3.2 Cuadro de recuperación de casiterita según fabricantes del Jig Kelsey	36
3.3 Curva nominal de recuperación de casiterita con el Jig Kelsey	36
CAPITULO IV - FUNDAMENTO TEORICO DE LA CONCENTRACIÓN DE MINERALES VALIOSOS A TRAVES DE LA FUERZA DE GRAVEDAD Y FUERZA CENTRIFUGA.	
4.1 Principio de gravimetría	38
4.2 Criterio de concentración gravimétrica de Taggart	40
4.3 Principios metalúrgicos de concentración en el Jig Kelsey	42

CAPITULO V - EL JIG KELSEY

5.1 Descripción del Jig Kelsey	48
5.2 Definiciones propias en el Jig Kelsey	50
5.3 Las variables operativas que afectan el rendimiento del Jig Kelsey	52
5.4 Ventajas del Jig Kelsey	72
5.5 Tamaños de los Jigs Kelsey	73

CAPITULO VI - PRUEBAS EXPERIMENTALES CON JIG KELSEY J200

6.1 Introducción	75
6.2 Caracterización de la muestra a ensayar con el Jig Kelsey J200.	76
6.3 Resultados obtenidos en las pruebas experimentales	77

CAPITULO VII - RESULTADOS OBTENIDOS EN OPERACIÓN

CON EL JIG KELSEY J1300

7.1 Situación operacional de la Planta Concentradora de San Rafael con el Jig Kelsey.	82
7.2 Resultados en operación del Jig Kelsey J1300	85
7.3 Limitaciones y desventajas del Jig Kelsey	89
7.4 Impacto sobre el medio ambiente del Jig Kelsey	89
7.5 Proyecto con el Jig Kelsey para el tratamiento de los relaves depositados, en la empresa minera de San Rafael.	91

CAPITULO VIII - EVALUACION ECONOMICA

8.1 Inversión	93
8.2 Costos de operación	95
8.3 Características de los concentrados antes del cambio.	95
8.4 Características de los concentrados después de los cambios.	96

8.5 Flujo de caja	96
CONCLUSIONES	97
BIBLIOGRAFIA	99
ANEXOS COMPLEMENTARIOS	
Flujogramas de la Planta Concentradora de San Rafael.	
Anexo 1. Sección de trituración primaria, secundaria y terciaria	101
Anexo 2. Sección de jigs y molienda	103
Anexo 3. Sección de mesas de gravimetría	105
Anexo 4. Sección de remolienda y deslame	107
Anexo 5. Sección de flotación casiterita	109
Anexo 6. Sección de flotación de sulfuros de gravimetría y filtros	111
Pruebas experimentales con el Jig Kelsey y Concentrador Falcon, con muestras de diferentes puntos de la Planta Concentradora de San Rafael	
Anexo 7. Resultados de otras pruebas experimentales con el Jig Kelsey.	114
Anexo 8. Descripción general del concentrador Falcon y resultados de las pruebas experimentales en la Planta Concentradora de San Rafael.	117
Anexo 9. Comparación de pruebas experimentales: Jig Kelsey y Falcon	121

NOMENCLATURA DE SIMBOLOS

TMSD	: Toneladas métricas secas por día.	δ_A	: Densidad de una partícula pesada
m.s.n.m.	: Metros sobre el nivel del mar.	δ_B	: Densidad de una partícula liviana
μm	: Micras	R	: Criterio de concentración gravimétrica de Taggart
m	: Masa de una partícula en movimiento	G.E.	: Gravedad específica
m'	: Masa desplazada de fluido por una partícula	rpm	: Revoluciones por minuto
v'	: Volumen desplazado de fluido por una partícula	ppm	: Pulsaciones por minuto
δ_L	: Densidad de un fluido	mm	: Milímetros
Fr	: Fuerza de resistencia	gr	: Gramos
E	: Fuerza de empuje	cm^3	: Centímetros cúbico
g	: Aceleración de la gravedad (9.8 m/s^2)	lts	: Litros
Re	: Número de Reynolds	min	: Minutos
μ	: Viscosidad de un fluido	kgs	: Kilogramos
δ'	: Densidad de un sólido	Kw	: Kilowatts
D	: Diámetro de una partícula	TMSH	: Toneladas métricas secas por hora
C_D	: Coeficiente de arrastre	Hz	: Hertz

LISTADO DE TABLAS		Pág.
Tabla 1	: Análisis típico del concentrado de gravimetría.	25
Tabla 2	: Análisis de recuperación por tamaños en los Jigs de Gruesos.	27
Tabla 3	: Análisis de recuperación por tamaños en los Jigs de Intermedios.	28
Tabla 4	: Análisis de recuperación por tamaños en los Jigs de Finos.	29
Tabla 5	: Análisis de recuperación por tamaños en mesas de gravimetría de gruesos.	30
Tabla 6	: Análisis de recuperación por tamaños en mesas de gravimetría de intermedios.	30
Tabla 7	: Análisis de recuperación por tamaños en mesas de gravimetría de finos.	31
Tabla 8	: Cuadro de recuperación por tamaños de casiterita según fabricantes del Jig Kelsey.	36
Tabla 9	: Valores de R (Taggart) y la factibilidad de concentración por gravimetría.	42
Tabla 10	: Caudales nominales de agua de pulsación en exceso	62
Tabla 11	: Ejemplo de relación de tamaños de partículas entre la alimentación, mineral valioso y cama de mineral del Jig Kelsey.	71
Tabla 12	: Tamaños de los Jigs Kelsey	73

Tabla 13	: Análisis granulométrico y de leyes (%Sn) de una muestra, antes de pasarlo por el Jig Kelsey J200.	77
Tabla 14	: Resultados obtenidos en las pruebas experimentales con el Jig Kelsey J200.	80
Tabla 15	: Análisis granulométrico de magnetita (cama del Jig Kelsey J1300).	84
Tabla 16	: Comparación de leyes, antes y después del Jig Kelsey	86
Tabla 17	: Análisis de recuperación por tamaños, del concentrado final de gravimetría "Sin el Jig Kelsey" en la Planta Concentradora de San Rafael.	87
Tabla 18	: Análisis de recuperación por tamaños, del concentrado final de gravimetría "Con el Jig Kelsey" en la Planta Concentradora de San Rafael.	87
Tabla 19	: Resultados de otras pruebas experimentales con el Jig Kelsey	114
Tabla 20	: Resultados de pruebas experimentales con el Concentrador Falcon C400	120
Tabla 21	: Comparación de pruebas experimentales: Jig Kelsey y Falcon	121

LISTADO DE FIGURAS		Pág.
Figura 1	: Variación de las TMS de mineral tratado en San Rafael.	16
Figura 2	: Variación de las leyes de cabeza (%Sn) en San Rafael.	16
Figura 3	: Variación de las TMS de concentrados producidos en San Rafael.	17
Figura 4	: Variación de las leyes de los concentrados (%Sn) producidos en San Rafael.	17
Figura 5	: Variación de las recuperaciones en San Rafael.	18
Figura 6	: Vista general de la Empresa Minera de San Rafael.	23
Figura 7	: Análisis de recuperación por tamaños en los jigs convencionales y mesas de gravimetría en San Rafael.	32
Figura 8	: Balance metalúrgico del circuito de flotación de sulfuros de gravimetría y filtros, antes de los cambios.	34
Figura 9	: Gráfico de recuperación por tamaño de partícula según fabricantes del Jig Kelsey.	37
Figura 10	: Esquema de las fuerzas que intervienen sobre una partícula cuando está sumergida en un líquido.	39
Figura 11	: El Jig Kelsey y sus partes principales.	43
Figura 12	: Parte interna del Jig Kelsey, donde se realiza la separación de concentrado y ganga.	43
Figura 13	: Parte externa del Jig Kelsey.	49
Figura 14	: Parte interna del Jig Kelsey	49
Figura 15	: Tamaños de Jigs Kelsey	74

Figura 16	: Esquema de procedimiento de las pruebas experimentales con el Jig Kelsey J200.	78
Figura 17	: Balance metalúrgico del circuito de flotación de sulfuros de gravimetría y filtros, después de los cambios con el Jig Kelsey.	83
Figura 18	: Comparación de recuperación por tamaños de casiterita, antes y después del Jig Kelsey.	88
Figura 19	: Comparación de %Sn del concentrado, por tamaños, antes y después del Jig Kelsey.	88
Figura 20	: Proyecto con el Jig Kelsey, para el tratamiento de los relaves.	92
Figura 21	: Vista general de la cancha de relave de la Planta Concentradora de San Rafael.	92
Figura 22	: El concentrador Falcon y sus secciones internas	117
Figura 23	: El Concentrador Falcon C400 en la Planta Concentradora de San Rafael	121

INTRODUCCION

La mayor parte de la recuperación de las partículas valiosas (oro, plata, casiterita, diamante, magnetita, zirconio, etc.), es generalmente a través del empleo de equipos convencionales (mesas de gravimetría, jigs convencionales, espirales, flotación, etc.) los mismos que utilizan como eje primordial la fuerza de gravedad, que por cierto estos equipos dan buenos resultados, pero, con el transcurrir del tiempo se ha visto necesario recurrir a nuevos principios fundamentales para mejorar los resultados en la recuperación de estas partículas valiosas. Es así que después de los respectivos estudios del uso de la fuerza centrífuga en combinación con la fuerza de gravedad, es posible que la recuperación y las respectivas leyes de los minerales a concentrar, se incrementen notoriamente, y por consiguiente la necesidad de nuevos equipos (Jig Kelsey, Concentrador Falcon, Concentrador Knelson, Jig Gekkos, etc.) bajo el principio de separación de partículas por las fuerzas combinadas mencionadas, ha sido necesario poner en operación en las diversas plantas concentradoras a nivel mundial.

En algunas Plantas Concentradoras ya constituidas con equipos convencionales de gravimetría, solo han sido añadidos estos novedosos equipos a la operación para mejorar la calidad de los concentrados, y en otros casos han reemplazado parcialmente a los equipos convencionales antes citados, para mejorar la calidad del concentrado e incrementar la recuperación. Sin embargo, los nuevos proyectos de las Plantas Concentradoras, tienen como meta usar solamente estos nuevos equipos, por las diversas ventajas que ofrece.

Para tener una idea general sobre estos equipos, podemos citar que el Jig Kelsey hace factible la separación de partículas finas de casiterita (6.5 μm) con recuperaciones (80%) altas, y en consecuencia la posibilidad de competir con los equipos de gravimetría ya existentes, es posible.

El presente informe está evocado básicamente en los resultados obtenidos en la Planta Concentradora de San Rafael – MINSUR S.A. con el Jig Kelsey. Así tenemos que antes de la puesta en operación de éste Jig en dicha Planta Concentradora, los concentrados de gravimetría reportaban leyes de 55% a 58% de estaño, los cuales eran obtenidos por métodos gravimétricos (con equipos convencionales), este concentrado normalmente contenía: clorita, cuarzo, pizarra y algunos sulfuros remanentes de: hierro, cobre, arsénico, antimonio, plomo y bismuto. Posteriormente con el

funcionamiento de éste Jig en dicha Planta Concentradora, la ley de los concentrados de gravimetría se incrementó entre 65% a 68% de estaño, lo cual permitió disminuir el costo de transporte de los concentrados. Cabe indicar que este novedoso equipo se utiliza como limpieza final de los concentrados de gravimetría, y no como reemplazo de algún equipo.

La Planta Concentradora de San Rafael, para llegar a la conclusión de la factibilidad del incremento de las leyes de estaño con el Jig Kelsey realizó y programó una serie de pruebas a nivel de laboratorio con material de distintos puntos de las diferentes secciones, entre los mejores resultados fue en el tratamiento final del concentrado de gravimetría. En este informe se demostrará la capacidad de recuperación y de limpieza que tiene el Jig Kelsey en concentrados que aún contengan impurezas remanentes, basados en pruebas y resultados logrados en operación.

La realización de las pruebas implica y demanda una inversión, que afortunadamente y gracias a la empresa MINSUR S.A. y en especial al Ing. Ian Gordon asesor metalúrgico de la Planta Concentradora mencionada, fue posible participar activamente de varias pruebas y con ello poner en practica todo lo aprendido en mi alma mater de la Universidad Nacional de Ingeniería.

CAPITULO I

ANTECEDENTES

1.1 Aspectos generales de las operaciones en la compañía minera de San Rafael – MINSUR S.A.

La historia de la hoy compañía minera de San Rafael – MINSUR S.A, comienza en 1962, cuando The Lampa Mining Co. Ltda. construye la Planta Concentradora en el nivel 4730 m.s.n.m. con la finalidad de concentrar minerales de cobre de 7% - 9%; la capacidad de tratamiento fue de 85 TMSD.

Posteriormente en 1965 se determina la presencia ínfima de casiterita y se inicia la concentración de ésta, para luego en 1969 MINSUR SOCIEDAD LIMITADA, instalar la Planta Concentradora en el nivel 4533 m.s.n.m. con una capacidad de tratamiento de 350 TMSD.

En 1977 bajo la razón social de MINSUR S. A., comienza a crecer rápidamente la Planta Concentradora; y en marzo de 1981 se incrementa el tratamiento a 600 TMSD. Posteriormente en junio de 1983 entra en operación la planta de flotación de casiterita, tratando relaves gravimétricos de mesas de gravimetría.

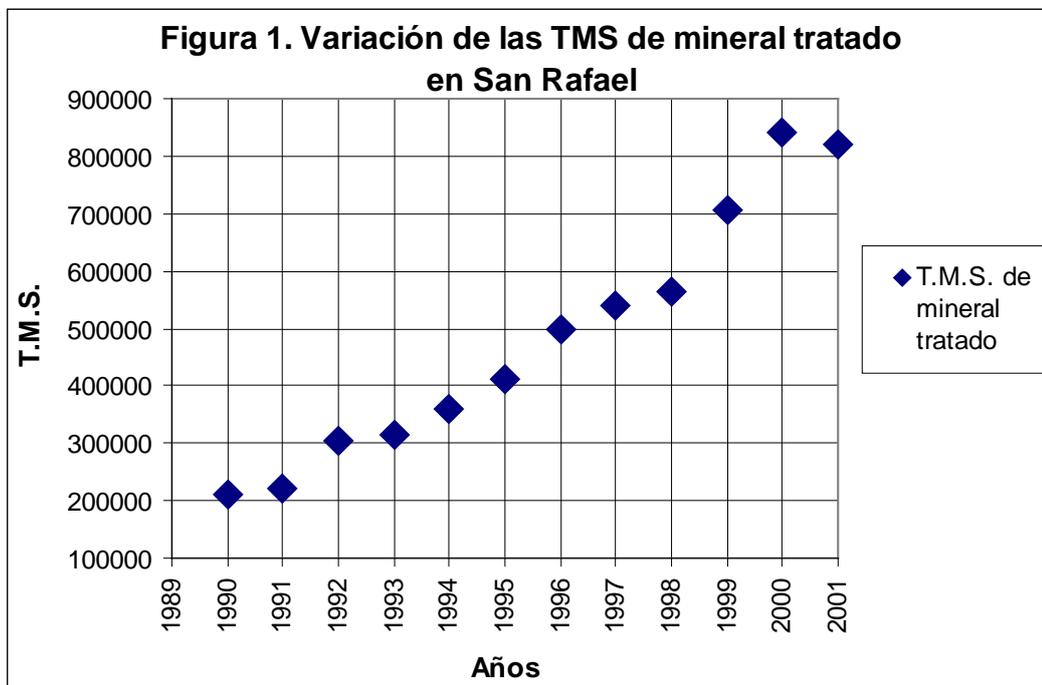
En octubre de 1986 se deja de concentrar cobre dedicándose íntegramente al tratamiento de los minerales de estaño. En enero de 1991 entra en operación la planta de gravimetría de jigs. En junio de 1994 se incrementa el tonelaje de tratamiento a 1100 TMSD, y en marzo de 1996 nuevamente se incrementa el tratamiento a 1500 TMSD.

En octubre de 1999 se realiza la última ampliación para un tratamiento de 2500 TMSD teniendo una ley promedio de cabeza de 5% Sn. Finalmente en junio del 2001 se instala el Jig Kelsey J1300 para incrementar la ley del concentrado final de gravimetría de 56% Sn a 66% Sn.

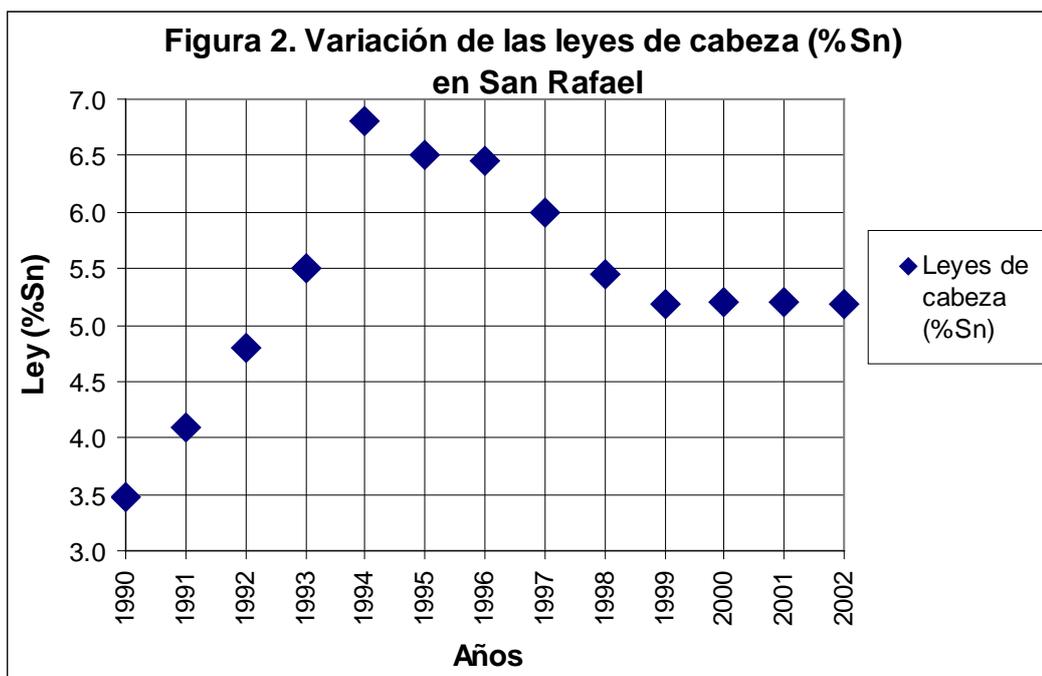
1.2 Gráficos estadísticos de la evolución de producción en San Rafael

Los gráficos estadísticos que a continuación se muestran, son un reflejo de la evolución de la producción de la Planta Concentradora de San Rafael – MINSUR S.A.

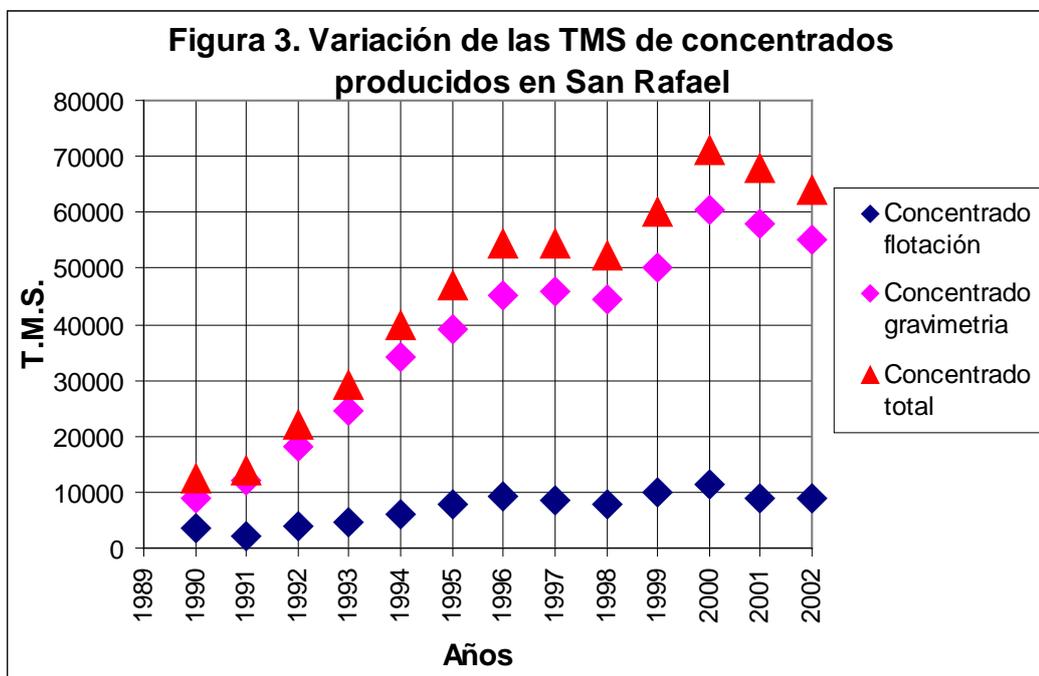
1.2.1 Gráfico de mineral tratado



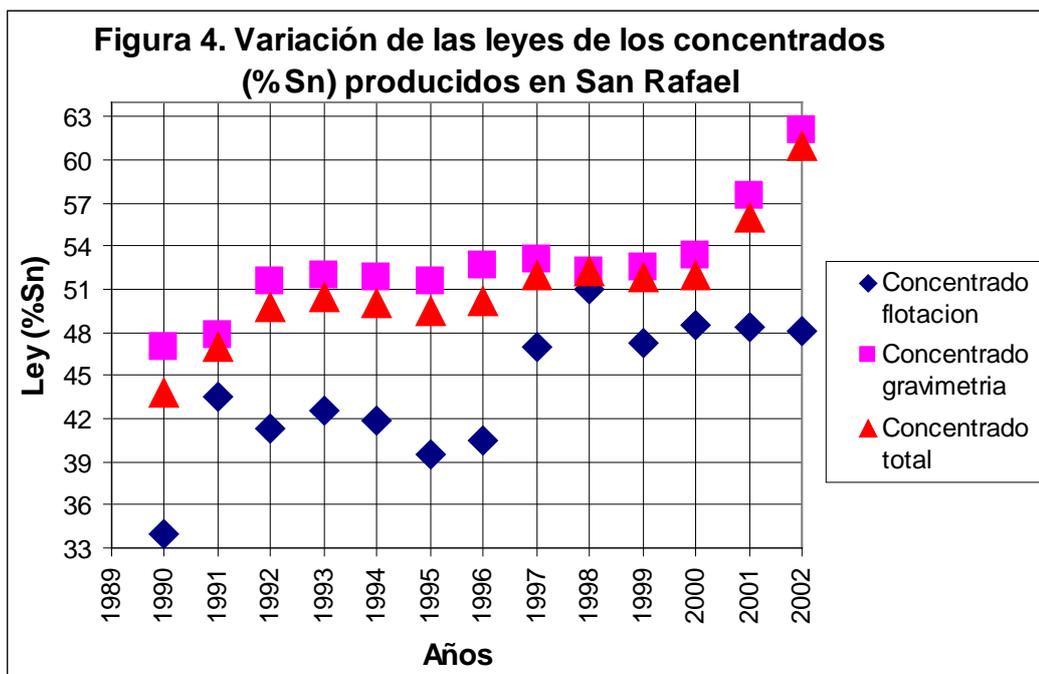
1.2.2 Gráfico de leyes de cabeza



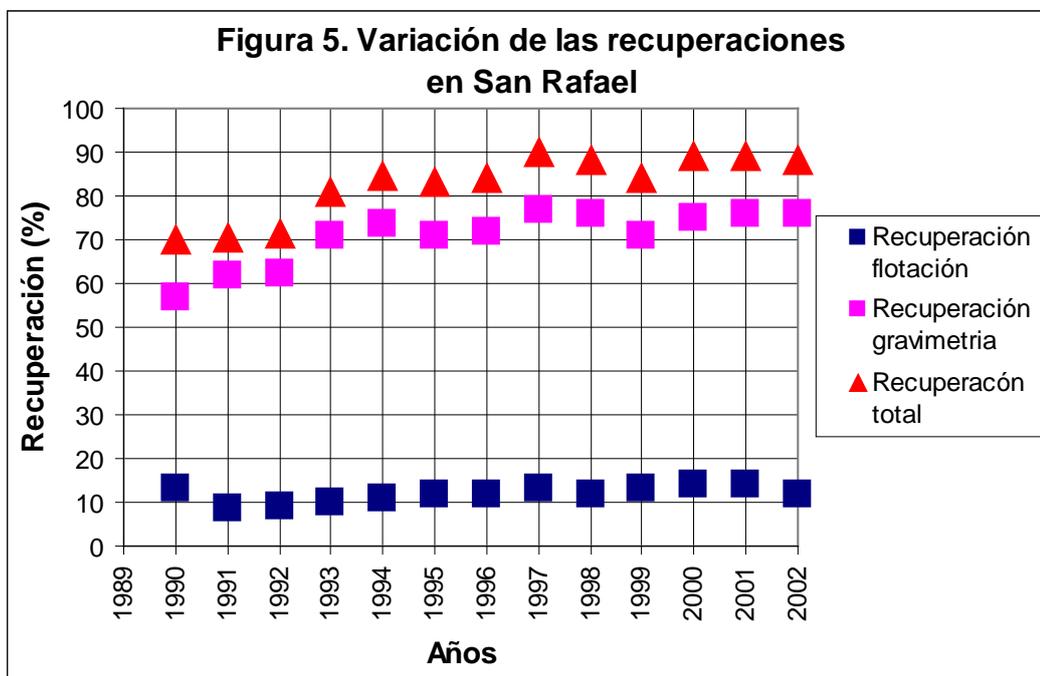
1.2.3 Gráfico de concentrados producidos



1.2.4 Gráfico de leyes de los concentrados producidos



1.2.5 Gráfico de recuperaciones



1.3 Resumen descriptivo de la Planta Concentradora de San Rafael.

La compañía minera de San Rafael está ubicada en el nevado de Quenamari de la cordillera oriental del sur del Perú, en el distrito de Antauta, provincia de Melgar - Puno, a una altura entre 4200 a 5200 m.s.n.m.

El procesamiento de mineral de casiterita en la Planta Concentradora de la Mina San Rafael comienza con un rompebancos, la misma que tiene una parrilla de abertura de 20'x20', el mineral menor a 20" pasa por la sección de trituración primaria, trituración secundaria y trituración terciaria, hasta obtener partículas de tamaño menor a 3/8" (anexo 1).

Después de la etapa de trituración, el mineral se clasifica a través de 3 zarandas vibratorias de abertura de malla de 4mm, donde las partículas +4mm pasan a la sección de jigs de gruesos, la misma que a su vez produce 2 productos: el concentrado, es almacenado en la tolva de concentrado de gravimetría y el relave es alimentado a un molino de barras 9 1/2'x13'. La descarga de este molino más las partículas -4mm de las zarandas vibratorias, son alimentados a la sección de jigs de intermedios, donde el concentrado producido es almacenado también en la tolva de concentrado de gravimetría mencionada; y el relave de estos jigs es alimentado a dos molinos de bolas 8'x8'.

El producto de estos dos molinos 8'x8', es alimentado a la sección de jigs de finos, donde el concentrado producido también es depositado en la tolva de concentrado de gravimetría mencionado, y el relave de los jigs de finos es alimentado a 4 zarandas Derrick vibratorias de abertura de malla de 0.5mm, donde las partículas +0.5mm retornan a los molinos 8'x8', creándose una carga circulante, y las partículas -0.5mm pasan a una batería de ciclones (15"Ø), siendo el under flow la alimentación para el Stokes, y el over flow es enviado a un espesador de 120'Ø (anexo 2).

El Stokes que clasifica las partículas de las más gruesas a las finas, lo hace en 6 compartimientos, en la que cada compartimiento descarga a una

serie de mesas de gravimetría, el concentrado obtenido en todas las mesas de gravimetría son también almacenadas en la tolva de concentrado de gravimetría y el relave pasa a la sección de remolienda y deslame. El producto muy fino de la salida del Stokes es enviado al espesador de 120'Ø mencionado (anexo 3).

El concentrado almacenado en la tolva de concentrado de gravimetría, pasa a ser clasificado en una zaranda estacionaria Dorr-Oliver, el producto fino obtenido es alimentado a una zaranda vibratorias Derrick de abertura de malla de 0.5mm, donde las partículas +0.5mm más las partículas gruesas de la zaranda estacionaria mencionada, son alimentadas a un molino 5'x6', mientras que las partículas -0.5mm son alimentadas a un banco de flotación, donde se flota los sulfuros en general, donde éstos sulfuros son enviadas a la sección de flotación casiterita, y las partículas que no flotan son bombeadas a un Jig Kelsey.

Este Jig Kelsey, produce dos productos: el relave es enviado a un molino 4'x4' cuya descarga es alimentado a mesas de gravimetría, que a su vez los productos de estas mesas, siguen la misma secuencia enunciada en la sección de mesas de gravimetría. Mientras que el concentrado del Jig Kelsey que viene hacer el concentrado final de gravimetría, es enviado a un

filtro de faja, para luego ser depositadas en las tolvas tipo cono, y finalmente ser enviados a la Fundición de Pisco – Perú (anexo 4).

Tal como se mencionó, el relave de las mesas de gravimetría son enviados a la sección de remolienda y deslame, donde las partículas son enviadas a una batería de ciclones de 15"Ø, el over flow es enviado al espesador de 120'Ø, y el under flow es enviado a dos molinos de bolas 7'x8' y 7'x12'. La descarga del molino 7'x12', es enviado a las mesas de gravimetría, cuyos productos a su vez, siguen la misma secuencia enunciada en la sección de mesas de gravimetría.

Mientras que la descarga del molino 7'x8', es enviado a una serie de espirales, cuyo relave es bombeado a otra batería de ciclones de 15"Ø, donde el over flow es enviado también al espesador de 120'Ø, y el under flow es enviado a un molino vertical, cuya descarga es también enviada a los espirales mencionados. El concentrado de los espirales (en realidad es un pre-concentrado) son enviados a las mesas de gravimetría, que también siguen la misma secuencia enunciada en la sección de mesas de gravimetría.

La descarga del espesador de 120'Ø es deslamado por una serie de baterías de ciclones (4"Ø, 2"Ø y 13/4"Ø), el over flow de la batería de ciclones de 13/4"Ø son partículas menores 6.5 micras (lamas), las cuales conforman el relave final. Mientras que el under flow de las baterías de ciclones de 4"Ø y 2"Ø son el alimento para la sección de flotación casiterita (anexo 5).

La sección de flotación casiterita, se inicia con la flotación de sulfuros en dos bancos de celdas, estos sulfuros conforman también el relave final, mientras que las partículas que no flotan, son enviados a dos bancos de celdas en paralelo (rougher), donde el relave es enviado a otro banco de celdas (scavenger) y de este último el relave obtenido también conforma el relave final. Los concentrados rougher y scavenger son enviados a los bancos de celdas de limpieza, donde el concentrado obtenido de la limpieza es enviado a 3 baterías de ciclones de 13/4"Ø, donde el under flow es enviado a los MGS (Separadores Multigravimétricos), donde el concentrado obtenido de estos MGS son enviados a la sección de filtros de placas, para finalmente ser almacenados en una tolva, y su posterior exportación. Cabe indicar que, el relave de los bancos de limpieza, el over flow de los ciclones de 13/4"Ø y el relave de los MGS, son recirculados dentro de la misma sección de flotación casiterita (anexo 6).



Figura 6. Vista general de la Empresa Minera de San Rafael.

CAPITULO II

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1 La situación negativa de los concentrados de gravimetría

Tal como se mostró anteriormente, el concentrado final de casiterita de la Planta Concentradora de San Rafael, proviene de dos secciones bien diferenciadas, el “concentrado de gravimetría” recuperados por jigs convencionales, espirales y mesas de gravimetría; y el “concentrado de flotación” recuperados por todo un circuito de celdas de flotación. Estos concentrado de gravimetría con leyes de 55% a 58% de estaño, contenían cantidades apreciables de impurezas, tales como: cuarzo, clorita, pizarra en mayor proporción, y otras impurezas en menor proporción (sulfuros de: cobre, plomo, hierro, arsénico, etc.), las cuales ya no eran posible separarlos con los equipos de gravimetría convencionales que tenían en operación.

En la tabla 1, se muestra el análisis típico de los concentrados de gravimetría.

Tabla 1. Análisis típico del concentrado de gravimetría	
Elemento	Leyes promedio
Estaño (Sn)	56.5
Cobre (Cu)	0.011
Hierro (Fe)	3.63
Azufre (S)	0.5
Cuarzo (SiO ₂)	13.43
Plomo (Pb)	0.035
Bismuto (Bi)	0.04

Después de los cálculos respectivos de la cantidad anual del concentrado de casiterita, que se transportaba desde la Planta Concentradora de San Rafael (Melgar-Puno) hasta la Fundición ubicada en Pisco – Ica, se estimó que anualmente se transportaba 60,587 toneladas de concentrado de gravimetría, de los cuales 43,386 toneladas eran de casiterita pura y el resto (17,201 toneladas) eran impurezas. Esta cantidad de impurezas transportadas, multiplicado por el costo de transporte (47.2 US\$/tonelada), representaba para MINSUR S.A. un desembolso de US\$ 811,871 por año. Por lo tanto, el aspecto negativo de transportar concentrados de casiterita con impureza representativas, era pagar un costo de transporte por impurezas que no representaba ningún beneficio, más solo acarrea costos altos en el transporte de los concentrados. Entre estas impurezas que mas se transportaba tenemos el SiO₂ que era el más representativo, tal como se puede muestra en la tabla superior.

2.2 Objetivos a alcanzar

Debido a la gran cantidad de impurezas en el concentrado final de gravimetría, el objetivo era reducir sustancialmente estas impurezas y en consecuencia reducir el costo de transporte y por ende un ahorro notorio para la empresa, sin descuidar la recuperación final de casiterita en la Planta Concentradora de San Rafael.

Así mismo, el reducir esta cantidad de impurezas, implicaba directamente un incremento de las leyes del concentrado de gravimetría, y por consiguiente enviar un concentrado más limpio a la fundición de Pisco, lo cual beneficiaría a la fundición en muchos aspectos tales como: ampliación de tratamiento, facilitar el tratamiento de estos concentrados con un mínimo de impurezas, entre otros.

Por lo tanto, el objetivo era lograr un concentrado más limpio, mediante nuevas alternativas en base a equipos existentes en el mercado internacional, capaces de separar las impurezas del concentrado.

2.3 Estado operacional con los jigs convencionales y mesas de gravimetría previa a la solución del problema.

Los jigs convencionales que vienen operando en la Planta Concentradora de San Rafael, si duda alguna tienen un rango máximo de recuperación de partículas finas de casiterita, los cuales debajo de este rango ya no es posible recuperar, tal como se puede ver a continuación:

2.3.1 Los jigs de gruesos

Abertura (μm)			Alimento		Concentrado		Relave		Recup. %
Malla		Promedio	%Peso	%Sn	%Peso	%Sn	%Peso	%Sn	
Superior	Inferior								
12700	9500	10984.08	15.05	4.12	15.01	45.21	26.30	3.42	18.40
9500	6300	7736.28	48.68	5.11	46.30	47.52	40.40	4.09	21.80
6300	4750	5470.37	18.46	5.35	27.20	49.21	20.00	4.19	23.70
4750	2000	3082.21	16.46	5.89	10.06	51.65	12.20	4.92	18.20
2000	0	44.72	1.35	6.54	1.43	49.15	1.10	6.11	7.50
TOTAL			100.00	5.15	100.00	48.07	100.00	4.10	23.20

Según ésta tabla, una mejor recuperación (23.70%) se tiene para partículas de casiterita comprendidas entre 6300 μm y 4750 μm , debajo y por encima de este rango la recuperación comienza a bajar. Por lo tanto, los jigs de gruesos no son muy buenos, para la recuperación de partículas finas de casiterita.

2.3.2 Los jigs de intermedios

Abertura (μm)			Alimento		Concentrado		Relave		Recup. %
Malla		Promedio	%Peso	%Sn	%Peso	%Sn	%Peso	%Sn	
Superior	Inferior								
4750	2000	3082.21	15.0	4.7	16.4	52.8	19.0	2.5	50.4
2000	1400	1673.32	14.8	4.4	12.2	53.2	17.6	2.2	52.7
1400	850	1090.87	14.3	4.2	10.7	55.2	15.7	1.9	56.6
850	600	714.14	11.1	3.8	10.3	55.3	11.0	1.7	57.6
600	425	504.98	10.2	3.8	9.3	54.3	9.6	1.6	58.5
425	300	357.07	9.3	3.7	8.8	53.9	8.9	1.5	61.2
300	212	252.19	8.7	4.0	8.5	53.5	8.0	1.6	62.1
212	150	178.33	7.5	4.1	7.7	47.2	4.3	1.6	62.4
150	106	126.10	5.6	4.5	7.1	43.3	3.8	1.7	64.1
106	75	89.16	1.6	5.7	4.7	42.5	1.1	2.7	55.2
75	53	63.05	0.9	7.1	3.2	41.7	0.6	4.1	47.0
53	0	7.28	1.1	7.9	1.1	35.5	0.6	5.9	30.1
TOTAL			100.0	4.2	100.0	51.5	100.0	2.2	55.8

De acuerdo a ésta tabla, la mejor recuperación es de 64.1%, para el rango de partículas de casiterita comprendidas entre 150 μm y 106 μm, debajo y por encima de este rango, la recuperación comienza a bajar. Por lo tanto, los jigs de intermedios son buenos recuperadores de partículas de casiterita hasta 53 μm, debajo de éste tamaño la recuperación es baja.

2.3.3 Los jigs de finos

Tabla 4. Análisis de recuperación por tamaños en los Jigs de Finos									
Abertura (μm)			Alimento		Concentrado		Relave		Recup. %
Malla		Promedio	%Peso	%Sn	%Peso	%Sn	%Peso	%Sn	
Superior	Inferior								
2000	1400	1673.32	4.59	1.74	5.62	46.78	3.25	1.62	7.14
1400	850	1090.87	7.25	2.04	20.78	46.14	5.37	1.87	8.69
850	600	714.14	10.53	2.14	22.18	47.89	10.62	1.95	9.26
600	425	504.98	14.41	2.19	20.39	46.62	15.30	1.97	10.49
425	300	357.07	14.35	2.17	13.04	47.69	16.95	1.92	12.00
300	212	252.19	11.96	2.07	10.15	48.14	13.81	1.84	11.55
212	150	178.33	7.69	2.15	3.88	47.25	10.17	1.87	13.56
150	106	126.10	5.23	2.22	1.03	49.32	7.12	1.92	14.06
106	75	89.16	3.56	2.25	0.85	51.03	4.11	1.94	14.32
75	53	63.05	2.18	2.28	0.56	51.23	2.03	1.97	14.14
53	0	7.28	18.25	2.30	1.52	46.09	11.27	2.01	13.18
TOTAL			100.00	2.16	100.00	47.21	100.00	1.91	11.80

De acuerdo a ésta tabla, la mejor recuperación es de 14.32%, para el rango de partículas de casiterita comprendidas entre 106 μm y 75 μm, pero como se puede ver el valor de la recuperación es muy bajar. Por lo tanto, los jigs de finos no son buenos recuperadores de partículas de casiterita finas.

En consecuencia, los jig de gruesos, intermedios y finos no son buenos recuperadores de partículas finas de casiterita.

2.3.4 Las mesas de gravimetría

Para apreciar el rango de partículas de casiterita, que son capaces de recuperar las mesas de gravimetría, se presenta las siguientes tablas:

Tabla 5. Análisis de recuperación por tamaños en mesas de gravimetría de gruesos (spigot 1)									
Abertura (µm)			Alimento		Concentrado		Relave + Mixtos		Recup. %
Malla		Promedio	%Peso	%Sn	%Peso	%Sn	%Peso	%Sn	
Superior	Inferior								
833	417	589.37	15.20	1.5	0.58	39.39	15.45	1.48	1.47
417	295	350.73	18.02	1.7	4.93	37.52	18.24	1.54	9.94
295	208	247.71	19.68	1.97	15.42	38.88	19.75	1.48	26.08
208	147	174.86	10.99	2.35	15.09	44.57	10.92	1.35	44.05
147	104	123.64	11.28	2.76	22.12	47.94	11.10	1.21	57.50
104	74	87.73	7.49	3.39	18.25	52.27	7.30	1.29	63.42
74	53	62.63	6.16	3.91	13.46	55.53	6.04	1.93	52.49
53	43	47.74	2.39	4.48	3.61	57.66	2.37	3.08	32.93
43	38	40.42	2.32	4.87	3.32	57.94	2.31	3.56	28.64
38	0	6.16	6.46	4.35	3.22	59.64	6.52	3.88	11.59
Total			100.00	2.49	100.00	48.34	100.00	1.70	32.78

Tabla 6. Análisis de recuperación por tamaños en mesas de gravimetría de intermedios (spigot 3)									
Abertura (µm)			Alimento		Concentrado		Relave + Mixtos		Recup. %
Malla		Promedio	%Peso	%Sn	%Peso	%Sn	%Peso	%Sn	
Superior	Inferior								
417	295	350.73	9.68	0.65	2.44	7.79	9.97	0.59	9.37
295	208	247.71	18.80	0.76	3.35	11.65	19.38	0.69	9.99
208	147	174.86	22.48	1.02	8.42	13.57	23.01	0.84	18.35
147	104	123.64	18.67	1.66	18.86	18.48	18.66	1.01	41.29
104	74	87.73	11.16	3.40	21.34	32.62	10.77	1.19	67.40
74	53	62.63	9.27	4.97	22.90	42.12	8.75	1.27	76.83
53	43	47.74	2.69	5.33	6.59	46.74	2.54	1.24	78.91
43	38	40.42	3.03	5.52	7.01	46.92	2.88	1.68	72.19
38	0	6.16	4.21	7.28	9.07	48.71	4.03	3.72	52.92
Total			100.00	2.20	100.00	32.61	100.00	1.04	54.36

Tabla 7. Análisis de recuperación por tamaños en mesas de gravimetría de finos (spigot 5)									
Abertura (μm)			Alimento		Concentrado		Relave + Mixtos		Recup. %
Malla		Promedio	%Peso	%Sn	%Peso	%Sn	%Peso	%Sn	
Superior	Inferior								
147	104	123.64	10.41	0.22	0.41	0.85	10.83	0.21	4.29
104	74	87.73	27.44	0.35	1.62	8.20	28.51	0.33	6.42
74	53	62.63	23.50	1.04	11.36	31.15	24.01	0.45	57.95
53	43	47.74	9.26	2.76	10.75	48.22	9.20	0.55	80.87
43	38	40.42	8.95	5.42	19.88	53.61	8.50	0.75	87.45
38	0	6.16	20.43	8.62	55.98	57.28	18.96	2.66	72.46
Total			100.00	2.87	100.00	51.58	100.00	0.84	71.71

Cabe indicar que, el alimentos a las mesas de gravimetría, proviene del Stokes, el cual posee 6 compartimentos, donde cada uno de éstos compartimentos descargan sobre un distribuidor denominado “spigot”, para luego ser alimentados a las mesas de gravimetría. El spigot 1, es de partículas mas gruesas y el spigot 6 es de más finas.

2.3.5 Resumen de la factibilidad de recuperar partículas finas de casiterita en los jigs convencionales y las mesas de gravimetría.

Tal como se puede apreciar en el figura 7, los jigs convencionales y las mesas de gravimetría no son capaces de recuperar partículas muy finas, sin embargo, con las mesas de gravimetría de finos, es posible lograr recuperaciones altas, de partículas finas, pero las leyes de estaño no son muy elevadas.

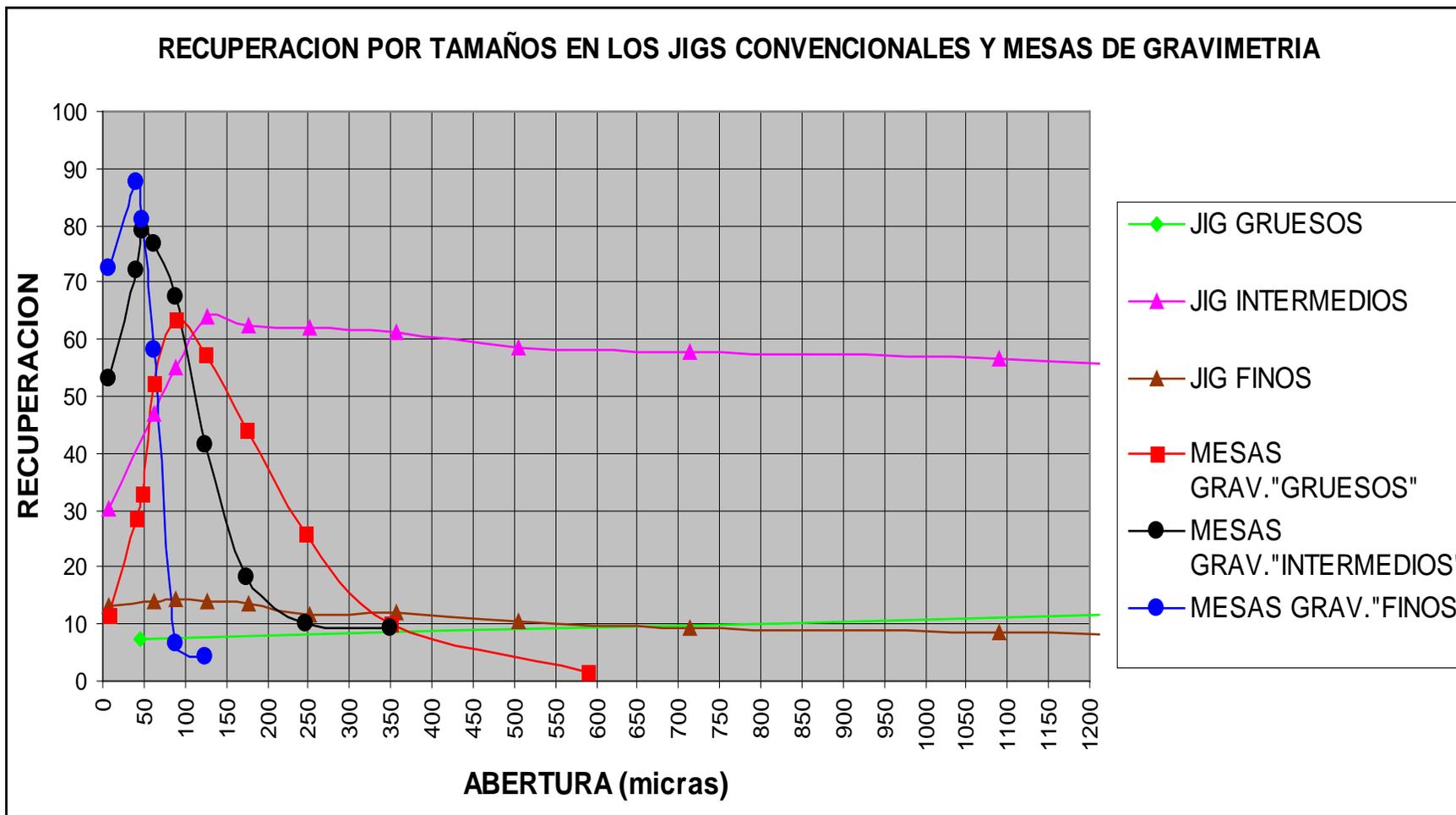


Figura 7. Análisis de recuperación por tamaños en los jigs convencionales y mesas de gravimetría en San Rafael.

La figura 7, muestra el rango de tamaño máximo de partículas a recuperar en los jigs convencionales de: gruesos, intermedio y finos, y en las mesas de gravimetría, y en consecuencia las partículas que se encuentran por debajo de estos rangos de tamaños serán difíciles de recuperar con los jigs convencionales. La etapa final para la obtención de los concentrados de gravimetría, era básicamente que los concentrados provenientes de los jigs de gruesos, intermedios y finos, después de una molienda eran alimentados a un banco de celda de flotación, para luego hacer una flotación bulk de los sulfuros, y el producto que no flotaba (concentrado de casiterita) pasaba a la etapa del filtrado respectivo y finalmente obtener el concentrado final de gravimetría.

2.4 Situación operacional de la etapa final para la obtención del concentrado de gravimetría.

La situación operacional de la etapa final para la obtención del concentrado final de gravimetría en la Planta Concentradora de San Rafael se puede ver en la figura 8, donde el concentrado a la salida del filtro de faja que tenía leyes de estaño por el orden de 56%, prácticamente era el producto final a la salida del banco de celdas de flotación, en consecuencia la interrogante era que hacer para reemplazar a este banco de celdas quien no era capaz de retirar la mayor cantidad de impurezas que contenía el concentrado proveniente de gravimetría. Por lo tanto, se optó por la búsqueda de nuevos equipos novedosos para lograr el objetivo planteado.

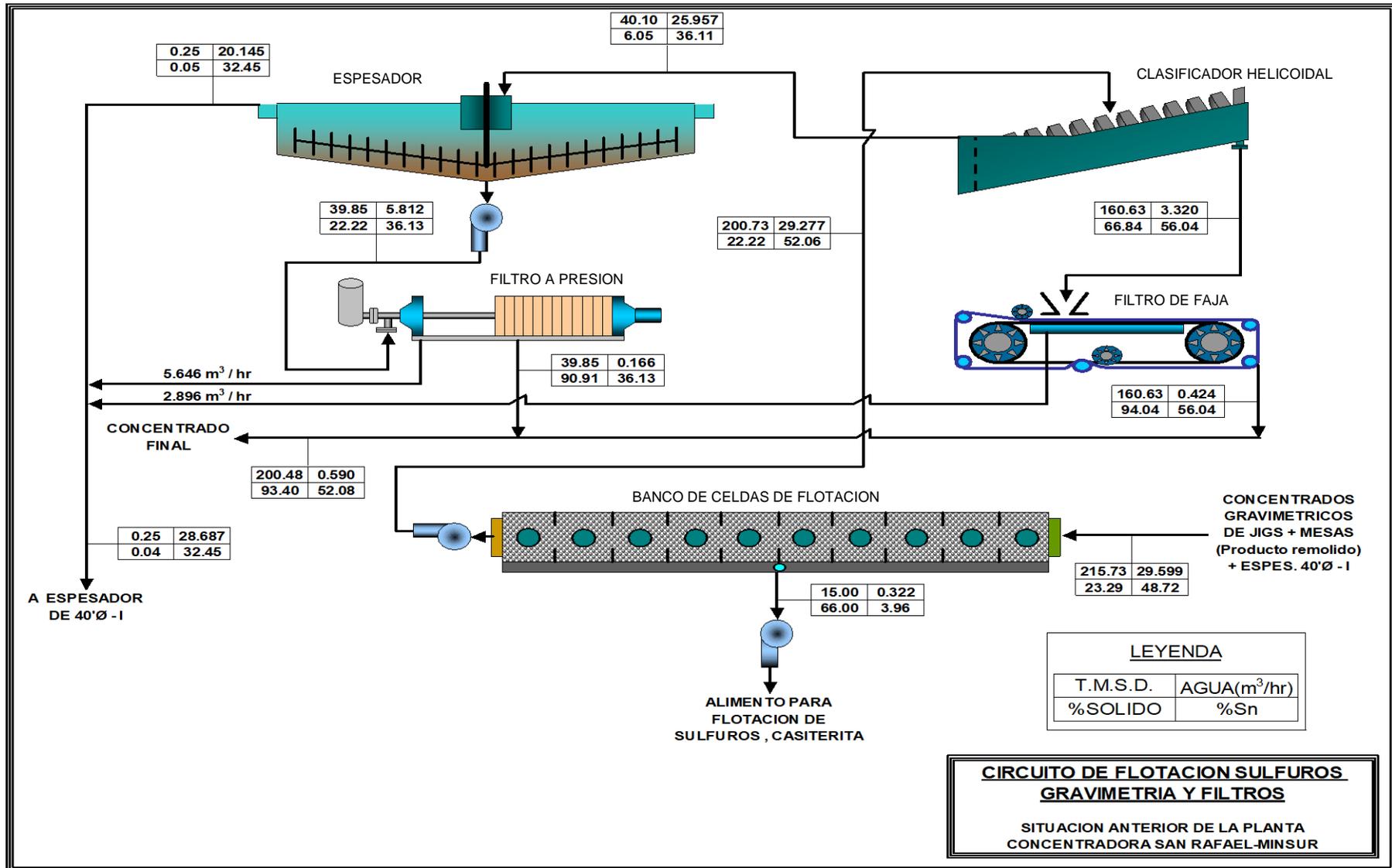


Figura 8. Balance metalúrgico del circuito de flotación de sulfuros de gravimetría y filtros, antes de los cambios.

CAPITULO III

PLANTEAMIENTO DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA

3.1 Introducción.

En virtud, a lo ya planteado y a los objetivos que se requerían alcanzar, se optó por la búsqueda de novedosos equipos, con la capacidad de recuperar partículas finas de casiterita con altas recuperaciones, y entre éstos equipos de última tecnología de entonces, se tenía:

- Jig Kelsey,
- Concentrador Falcon
- Jig Gekkos

De estos tres equipos el que más se ajustaba a los requerimientos planteados era como primera opción, el Jig Kelsey, el cual era usado en la recuperación de minerales de: titanio, zirconio, estaño, oro, níquel, hierro, etc., teniendo como primera ventaja la alta recuperación de partículas fina de hasta 10 micras, tal como los mismos fabricantes lo indican en la curva nominal de recuperación de casiterita.

3.2 Cuadro de recuperación de casiterita según fabricantes del Jig Kelsey.

La tabla que se presenta es según resultados obtenidos en la recuperación de casiterita por los fabricantes del Jig Kelsey.

Tabla 8. Cuadro de recuperación por tamaños de casiterita según fabricantes del Jig Kelsey						
Abertura (μm)			Leyes de estaño (%)			Recup. (%)
Malla		Promedio	Alimento	Concentrado	Relave	
Superior	Inferior					
150	106	126.10	0.32	0.54	0.28	26.0
106	75	89.16	0.48	0.65	0.40	43.3
75	53	63.05	0.66	1.03	0.47	52.9
53	38	44.88	1.40	2.47	0.68	71.0
38	26	31.43	19.90	25.40	4.73	93.7
26	20	22.80	19.90	25.40	4.73	93.7
20	14	16.73	11.60	17.20	1.60	95.0
14	9	11.22	7.05	12.10	1.74	88.0
9	6	7.35	3.23	5.90	2.50	39.2
6	0	2.45	3.45	8.76	2.61	34.7
TOTAL			1.96	5.03	0.57	80.9

3.3 Curva nominal de recuperación de casiterita con el Jig Kelsey.

El Jig Kelsey en función a los resultados obtenidos en la recuperación de casiterita, tal como se muestra en la tabla 8 y la figura 9, es capaz de recuperar partículas finas de casiterita con alta recuperación, incluso en rangos muy finos tiene una alta recuperación.

Por lo tanto, la solución propuesta era hacer las pruebas respectivas a nivel de laboratorio con el Jig Kelsey, y según los resultados obtenidos tomar las decisiones pertinentes.

Se debe aclarar que el comentario sobre la figura 9, es según los mismos fabricantes, que en su oportunidad lo difundían a través de su página web: www.geologic.com.au.

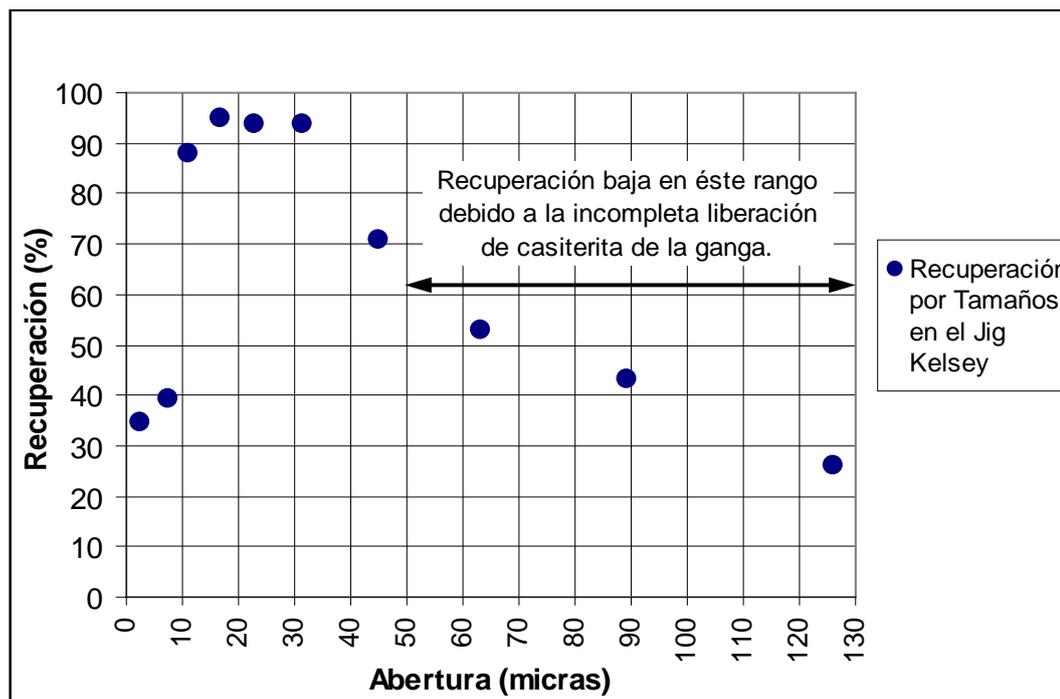


Figura 9. Gráfico de recuperación por tamaño de partícula según fabricantes del Jig Kelsey.

Una vez obtenido la solución propuesta, era necesario entonces conocer todo lo referente al Jig Kelsey, para así tener una idea más detallada sobre éste equipo.

CAPITULO IV

FUNDAMENTO TEORICO DE LA CONCENTRACIÓN DE MINERALES VALIOSOS A TRAVES DE LA FUERZA DE GRAVEDAD Y FUERZA CENTRIFUGA.

4.1 Principio de gravimetría

La gravimetría consiste en la separación de sólidos de diferentes formas, tamaños y densidades utilizando la fuerza de la gravedad o fuerzas centrífugas. La separación de partículas sólidas por gravimetría se realiza en un medio fluido que puede ser el agua, el aire o suspensiones.

Algunas formulas han sido desarrolladas para definir el movimiento de una partícula en un fluido. Todas estas expresiones se basan en el concepto general que establece que la diferencia entre la fuerza efectiva que causa el movimiento de la partícula y la fuerza de resistencia del fluido será la que determine la velocidad de la partícula. Tomando el caso de una “partícula acelerada verticalmente” la ecuación de movimiento será:

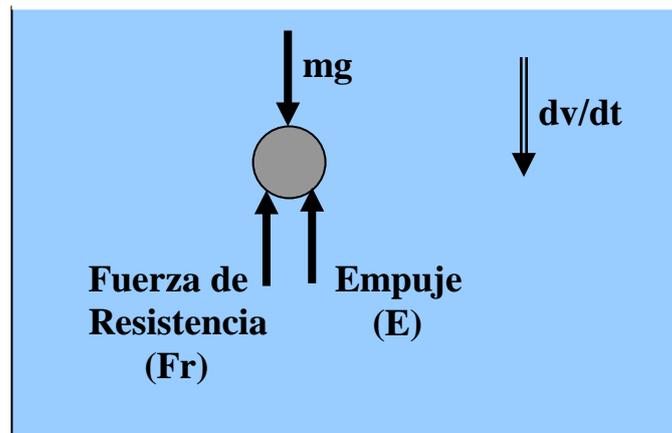


Figura 10:
Esquema de las fuerzas que intervienen sobre una partícula cuando está sumergida en un líquido.

De este esquema y asumiendo que la partícula se mueve verticalmente hacia abajo, tenemos que, según la segunda Ley de Newton:

$$mg - E - Fr = m \, dv/dt$$

$$mg - \delta_L V'g - Fr = m \, dv/dt$$

$$mg - m'g - Fr = m \, dv/dt$$

$$dv/dt = \quad ((m - m')/m)g - (Fr / m) \quad \dots\dots\dots(1)$$

Donde:

m : Masa de la partícula en movimiento

m' : Masa de fluido desplazado por la partícula

v' : Volumen de fluido desplazado por la partícula

δ_L : Densidad del fluido

Fr : Fuerza de resistencia

dv/dt : Aceleración de la partícula

Considerando el tipo de régimen del flujo, la ecuación diferencial 1 toma las siguientes expresiones: (Re es el número de Reynolds)

Flujo Laminar (Re < 0.2)

$$dv/dt = ((m - m')/m)g - (18\mu/(\delta' D^2)) \dots\dots\dots(2)$$

Donde:

- μ : viscosidad del fluido
- δ' : densidad del sólido
- D : diámetro de la partícula

Flujo Transitorio (0.2 < Re < 1000)

$$dv/dt = ((m - m')/m)g - (cte C_D Re^2) \dots\dots\dots(3)$$

Donde:

- C_D : coeficiente de arrastre

Flujo Turbulento (Re > 1000)

$$dv/dt = ((m - m')/m)g - (0.33 \delta_L V^2/(\delta' D)) \dots\dots\dots(4)$$

Donde:

- δ_L : densidad del fluido

Las ecuaciones presentadas pueden ser de una gran utilidad para establecer algunos criterios conceptuales que se aplican a la separación sólido-sólido por gravimetría.

4.2 Criterio de concentración gravimétrica de Taggart

Con la ecuación general del movimiento de una partícula en un fluido que en la mayoría de los procesos de gravimetría es para los casos de flujo

turbulento, se determina la velocidad máxima de las partículas (llamada también velocidad terminal, que es constante):

$$V_m = \sqrt{((\delta - \delta_L)gD)/(0.33 \delta_L)} \quad \dots\dots\dots(5)$$

Partículas que a pesar de ser de diferentes minerales (y por lo tanto de diferentes densidades) poseen los tamaños precisos para caer en un fluido con la misma velocidad, denominas partículas isódromas. Para ellas se cumple que la velocidad máxima es la misma y por lo tanto se puede plantear la siguiente igualdad:

$$V_m = \sqrt{((\delta_A - \delta_L)gD_A)/(0.33 \delta_L)} = \sqrt{((\delta_B - \delta_L)gD_B)/(0.33 \delta_L)} \quad \dots\dots\dots(6)$$

Los subíndices A y B indican las especies mineralógicas (A mineral liviano y B mineral pesado). Desarrollando esta última expresión tendremos la conocida relación de sedimentación o criterio de concentración gravimétrica de Taggart, la cual es la siguiente:

$$R = D_A / D_B = (\delta_B - \delta_L) / (\delta_A - \delta_L) \quad \dots\dots\dots(7)$$

El valor de R puede ser utilizado de la siguiente manera para predecir cualitativamente la factibilidad de las separaciones por gravimetría con agua como fluido soporte:

Tabla 9. Valores de R (Taggart) y la factibilidad de concentración por gravimetría	
Criterio	Rango de aplicación
$R > 2.50$	Separación factible inclusive debajo de 74 micras
$1.75 < R < 2.50$	Separación posible hasta aproximadamente malla 100
$1.50 < R < 1.75$	Separación posible pero dificultosa hasta malla 10
$1.25 < R < 1.50$	Separación posible pero dificultosa hasta 1/4 “
$R < 1.25$	La separación no es factible. Deberá utilizarse un medio diferente al agua

4.3 Principios metalúrgicos de concentración en el Jig Kelsey

Previamente al detalle de los principios metalúrgicos en el Jig Kelsey, se debe mencionar que la clasificación volumétrica de las partículas sólidas en el seno de un fluido puede obtenerse teniendo en cuenta el movimiento relativo entre las partículas y el medio fluido, donde este mismo fluido se encuentra en movimiento. Este desplazamiento relativo es provocado por efecto de la fuerza centrífuga donde esta fuerza permite obtener aceleraciones iguales a varias veces la gravedad y en consecuencia se logra la concentración y la acción de clasificación en unos pequeños volúmenes, pero los principios de base son siempre los mismos. La velocidad de desplazamiento de la partícula sólida en el seno del fluido será en todos los casos la resultante de la fuerza inicial (debido a la aceleración centrífuga), la

cual es proporcional a la masa y por tanto a la vez a la densidad, volumen de la partícula y a la resistencia opuesta por el medio fluido.

Antes de detallar los principios metalúrgicos en el Jig Kelsey y para una mejor referencia visual, se muestra la figura 11 y figura 12 del Jig Kelsey.

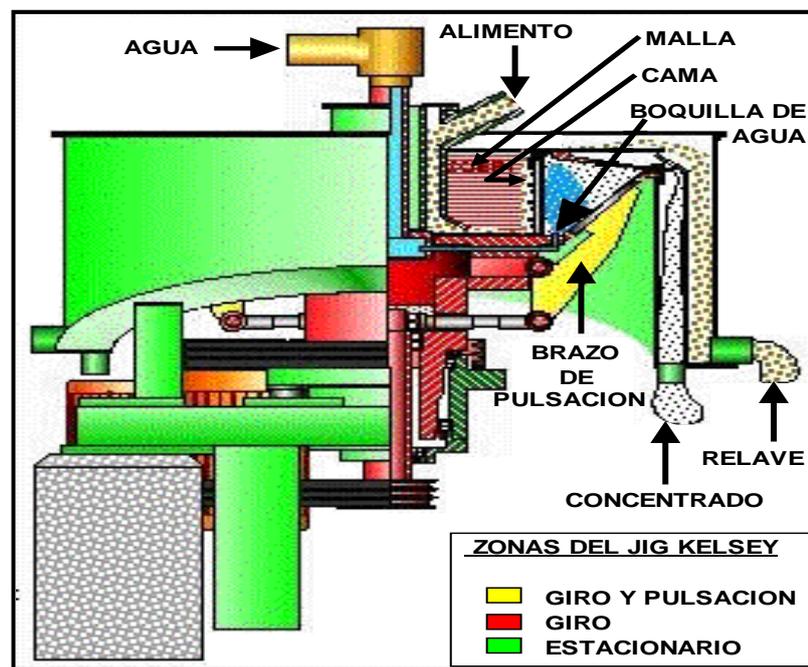


Figura 11:
El Jig Kelsey
y sus partes
principales

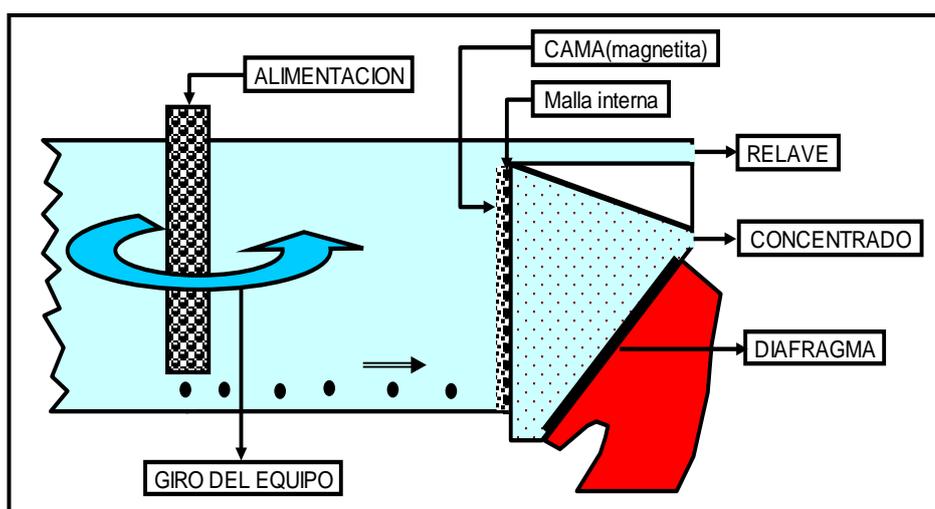


Figura 12:
Parte
interna del
Jig Kelsey,
donde se
realiza la
separación
de concentra-
do y ganga.

Básicamente el Jig Kelsey incorpora un concepto de ingeniería innovador que la hace significativamente diferente a la tecnología de un jig

convencional. El diseño radical del Jig Kelsey tomar un jig convencional y darle el efecto de una centrífuga, permitiendo la generación de varias veces la fuerza de la gravedad (más de 100 veces la gravedad). Esto da como resultado una mayor eficiencia en la separación de partículas, particularmente en dimensiones finas, reduciendo de manera significativa el efecto de fuerzas que impiden la separación de partículas finas.

La generación de la fuerza centrífuga se logra por medio del control de la velocidad variable del rotor giratorio del Jig Kelsey. Dentro del rotor gira coaxialmente una malla de forma cilíndrica junto con el rotor. La malla está alineada junto con la cama de mineral, el cual se esparce uniformemente con la fuerza centrífuga. La pulpa es alimentada al Jig Kelsey por una tubería central fija y es distribuida por encima de la base de la cama de mineral. Las partículas sólidas en la alimentación son aceleradas hacia la cama de mineral, debido a la aparente fuerza gravitacional, mientras que continuamente se eleva la cama debido al desplazamiento por la alimentación entrante. Aquellas partículas cuya gravedad específica excede a la del material de la cama se les permitirán atravesar dicha cama de mineral. Habiendo penetrado la cama de mineral, las partículas ahora pasan por los procesos de sedimentación obstaculizada y percolación consolidada, siendo que los minerales más pesados pasan por la cama, por la malla de retención de la cama, y a los cajones de concentrado donde finalmente pasan como una pulpa de mineral rico en casiterita a través de los spigots de

concentrado y a la artesa de concentrado. Los minerales más livianos que no pueden asentarse a una velocidad que exceda la velocidad de expulsión desde la cama, serán despedidos a la parte superior del anillo de retención de la cama y finalmente a la artesa de relaves.

El proceso de sedimentación obstaculizada dentro de la cama no sólo está acentuado por la fuerza centrífuga sino también por la pulsación de la cama de mineral. La pulsación de la cama se logra por medio de brazos de pulsación conectados a cojines que trabajan contra el diafragma flexible del Jig Kelsey. El diafragma es sellado a una sección externa de corte transversal de cada uno de los cajones de concentrado, los cuales son 16. La sección externa del cajón también incluye un spigot de concentrado, de un diámetro normalmente de 6-4 mm. La sección interna del cajón está recubierta con la malla de retención de la cama.

Durante su operación normal, a cada cajón de concentrado se le suministra agua de tal modo que la velocidad de suministro excede la velocidad a la que el agua pasa aparentemente. Debido a la fuerza centrífuga, el concentrado pasa a través de los spigots y a la artesa de concentrado. El exceso de agua pasa a través de la malla de retención de la cama, y por encima del anillo de retención de la cama y finalmente a la artesa de relaves. El agua contenida dentro del cajón hace presión contra el diafragma, debido a la fuerza centrífuga que actúa en ella, y en consecuencia, fuerza al diafragma contra los cojines de pulsación. Estos cojines empujan contra el

diafragma, a una frecuencia y amplitud establecidas por el operador, dilatando por lo tanto la cama de mineral.

Las ondas de choque producidas por la pulsación tienen un efecto doble. Primero, dilatan la cama de mineral, tal y como se mencionó, permitiendo que los minerales ingresen a la cama. En segundo lugar, acentúan las diferentes velocidades de aceleración entre las partículas de gravedades específicas que difieren entre sí. Este fenómeno puede explicarse de la siguiente manera:

Las partículas que están sujetas a una fuerza constante se acelerarán a una velocidad proporcional a su masa hasta que alcancen una velocidad crítica. Esta velocidad crítica está principalmente conectada al área de la superficie de la partícula. Por lo tanto, las partículas del mismo tamaño pero con gravedades específicas diferentes se separarán al ser colocadas en un campo de fuerza constante, pero disminuirán su velocidad de separación considerablemente una vez que hayan alcanzado su velocidad crítica. Las ondas de choque, producidas por la acción de pulsación del Jig Kelsey, continuamente detienen las partículas, consecuentemente, sin nunca permitirles alcanzar su velocidad crítica y como resultado, se separan totalmente a su velocidad inicial rápidamente.

Finalmente, si observamos la ecuación (1), notaremos que la velocidad de la partícula (en movimiento vertical) es directamente proporcional a la gravedad, lo que significa que si incrementamos esta gravedad en varias veces, entonces la velocidad de la partícula se incrementará; que de forma similar es lo que ocurre con el Jig Kelsey, solo que este caso la partícula se mueve casi horizontalmente y que la gravedad se incrementará en varias veces, aumentando las revoluciones por minuto. El cálculo de la cantidad de veces la gravedad dentro del Jig Kelsey está dado según la ecuación siguiente:

$$\text{Número de Veces la Gravedad} = \frac{\text{Diámetro del Rotor (pulgadas)} * \text{RPM}^2}{70472} \dots\dots\dots(8)$$

Esta última expresión es para expresar normalmente el valor de la aceleración centrípeta generada dentro del Jig Kelsey en función a la gravedad, para poder saber en cuantas veces se esta incrementando la gravedad dentro de éste Jig.

CAPITULO V

EL JIG KELSEY

5.1 Descripción del Jig Kelsey

El Jig Kelsey separa minerales de diferentes gravedades específicas (G.E), fluidizado con una pulsación, y una cama de mineral con una G.E. entre el mineral a ser concentrado y los relaves.

El Jig Kelsey produce pulsaciones y es rotado al mismo tiempo para que la fuerza centrífuga ayude en la separación del concentrado. El concentrado es descargado a través de grifos a una artesa circular y los relaves flotan sobre la cama de mineral hacia otra artesa circular.

Éste Jig tienen la capacidad de elevar la recuperación de minerales ultra-finos a cerca del grado máximo (de más del 90%) en un proceso de un solo paso.

Esta capacidad de elevar la recuperación de minerales ultra-finos es muy útil para controlar las pérdidas de mineral en sistemas deslamadores de rebalse centrífugo. El Jig Kelsey también se presta para la recuperación de pérdidas de minerales finos en los relaves, es decir de minerales pesados finos.



Figura 13:
Parte externa
del Jig Kelsey.

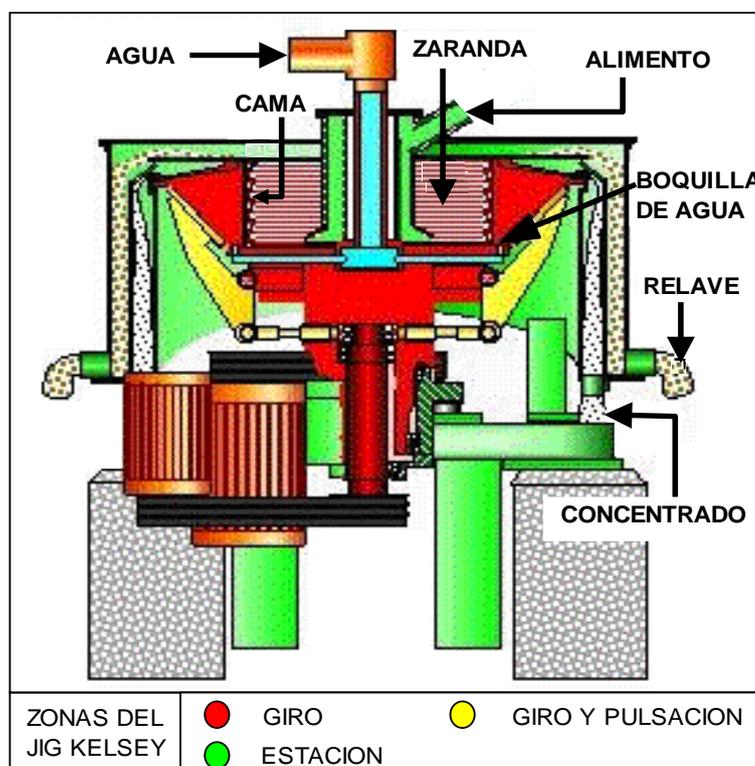


Figura 14:
Parte interna del
Jig Kelsey

5.2 Definiciones propias en el Jig Kelsey

Cama

Material granular sólido más grueso que los orificios de la malla del Jig Kelsey al menos en 60%, y con una gravedad específica entre la del concentrado y la de los minerales de relaves.

Velocidad de giro

Se refiere a la velocidad rotacional del Jig Kelsey, usualmente se expresa en revoluciones por minuto (rpm).

Frecuencia de pulsación

Se refiere al número de pulsaciones por minuto de cada uno de los brazos de pulsación debido al efecto combinado del motor de giro y el motor de pulsación y es la suma de la velocidad de giro y la frecuencia de pulsación. Este efecto se debe a la rotación de los propulsores de giro y de pulsación en direcciones opuestas.

Amplitud de pulsación (recorrido o golpe de pulsación)

Es el desplazamiento que se da en la superficie de cada cojín de pulsación por ciclo de pulsación.

Agua de pulsación

El agua de pulsación es suministrada al Jig Kelsey a través de la tubería central de agua desde donde ésta se distribuye equitativamente a cada uno de los cajones a través de un distribuidor de agua central. El agua ingresa a la parte inferior de cada cajón a través de una boquilla normalmente entre 6–8 mm de diámetro. El agua de pulsación actúa como el medio a través del cual el movimiento del brazo de pulsación se convierte en una dilatación de la cama de mineral.

Boquillas de agua

Las boquillas de agua de pulsación permiten la regulación del volumen y de la presión del agua de pulsación que ingresa a los cajones de concentrado. Están hechas de un material plástico con un diámetro de entrada normalmente entre 6-8 mm.

Grifos de concentrado

Los grifos de concentrado controlan el volumen del concentrado que puede fluir a través de cada cajón de concentrado a la artesa de concentrado. Normalmente están hechos de un compuesto resistente tal como el carburo de tungsteno o cerámica, y tienen un diámetro interno de 3.8-6.0 mm.

Sujetador de grifo de concentrado

Estos sujetadores de plástico tienen grifos de concentrado insertados en ellos y pueden ser enroscados a la abertura externa de cada uno de los cajones de concentrado. Esto sella cada cajón de tal modo que el material contenido en el cajón sólo puede pasar a la artesa de concentrado a través de la abertura del grifo de concentrado.

Malla del Jig Kelsey

La malla del Jig Kelsey es cilíndrica con muchas aberturas (similar a la malla de una zaranda), la misma que ajusta el agua a la pieza de fundición superior del Jig Kelsey, sellando en la base y en cada separador de cajón de concentrado. Su función fundamental es la de retener la cama de mineral mientras que permite que el concentrado pase a través de el y a los cajones de concentrado.

5.3 Las variables operativas que afectan el rendimiento del Jig Kelsey

5.3.1 Relacionadas con la alimentación

- Distribución de la alimentación.
- Ley de la alimentación.
- Densidad de pulpa de alimentación y del concentrado.
- Tonelaje de alimentación.
- Gravedad específica entre los minerales a ser separados.

5.3.1.1 Distribución de la alimentación

Al considerar los efectos de la distribución de alimentación es importante tener presente los siguientes cuatro factores:

- Distribución del tamaño de mineral valioso.
- Distribución del tamaño de mineral de ganga.
- Distribución del tamaño en general.
- Distribución del tamaño de la cama.

Al igual que todos los dispositivos de separación de gravedad y en el caso de la fuerza gravitacional inducida (fuerza centrífuga) del Jig Kelsey, los rangos de tamaño más fino son más difíciles de separar. Por lo tanto, generalmente se requieren de campos gravitacionales inducidos más grandes y de fuerzas de separación de frecuencia más alta que las partículas de mayor tamaño. Para mayor claridad, se utilizan las siguientes definiciones:

Tamaño

- Fino (-38 μm)
- Medianamente fino (+38 μm - 75 μm)
- Medianamente grueso (+75 μm - 425 μm)
- Grueso (+425 μm)

Giro (rpm: revoluciones por minuto)

- Bajo (160-180 rpm)
- Medio (180-220 rpm)
- Alto (220-250 rpm)

Pulsación (ppm: pulsaciones por minuto)

- Baja (1400-1600 ppm)
- Media (1600-1800 ppm)
- Alta (1800-2000 ppm)

Recorrido o golpe (mm: milímetros)

- Bajo (1.8-2.2 mm)
- Medio (2.2-2.6 mm)
- Alto (2.6-3.2 mm)

Dependiendo del tipo de distribución de la alimentación, los ajustes respectivos de los parámetros del Jig Kelsey, se recomienda utilizar, de acuerdo a los siguientes casos:

Caso 1.- Para alimento conteniendo mineral valioso de fino a medianamente fino, con ganga fina-media y fina-gruesa, utilizar:

- **Recorrido o golpe bajo.-** La cama de mineral debe permanecer ajustada para que las partículas finas-medias y finas-gruesas no puedan sencillamente fluir a través de la cama de mineral.
- **Giro alto.-** Como se menciona anteriormente, también los minerales finos necesitarán de fuerzas centrífugas altas es decir varias veces la fuerza de gravedad, evidentemente más elevadas para acentuar sus diferencias de gravedad específicas y asegurar que éstos se asienten rápidamente contra la cama de mineral.
- **Pulsación alta-media.-** Los minerales de tamaño fino generalmente toman más tiempo en separarse y por lo tanto, requieren de frecuencias de pulsación más altas para acentuar sus diferencias de gravedad específicas a una rápida velocidad.

Caso 2.- Para alimento conteniendo mineral valioso de medianamente fino a medianamente grueso con ganga fina-gruesa, utilizar:

- **Recorrido o golpe medio-alto.-** El recorrido o golpe necesita ser lo suficientemente largo como para permitir que los minerales valiosos de tamaño máximo penetren en la cama de mineral mientras que éste expulsa la ganga gruesa, la presencia del mineral valioso

medianamente fino-medianamente grueso dentro de la cama de mineral debe asegurar la expulsión de la ganga fina-media.

- **Giro alto.-** Cuando los minerales de ganga son mayormente finos - medianamente finos, el giro debe encontrarse en un nivel superior alto, y para ganga más gruesa, el giro puede encontrarse en un nivel superior o inferior alto, dependiendo de la separación de la G.E.
- **Pulsación alta-media.-** El ajuste de la pulsación dependerá del peso del material a volver a presentarse en el concentrado, es decir, porcentaje de peso elevado de concentrado entonces pulsación alta.

Caso 3.- Para alimento que principalmente contiene mineral valioso grueso, utilizar:

- **Recorrido o golpe alto.-** El recorrido o golpe alto permitirá que las partículas gruesas fluyan dentro y a través de la cama de mineral con mayor facilidad, también se requiere de un recorrido o golpe más alto para que las partículas más gruesas puedan efectuar su separación.
- **Giro bajo-medio.-** La cama de mineral debe estar relativamente suelta para evitar una elevada fricción entre el mineral valioso grueso y las partículas de la cama de mineral.

- **Pulsación baja-alta.-** La frecuencia de pulsación dependerá del comportamiento del peso requerido para el concentrado, es decir, porcentaje de peso elevado de concentrado entonces pulsación alta.

5.3.1.2 Ley de la alimentación

Una gota en la ley de alimentación generalmente dará como resultado una gota en la ley del concentrado, si los parámetros del Jig Kelsey no se alteran. Esto se debe a la misma masa de concentrado que se produce con mayor porcentaje de mineral de ganga presente. Otro factor es una concentración menor de mineral de alta G.E. residente dentro de la cama de mineral, debido a la disminución de la evidente G.E. de la cama de mineral. Para contrarrestar esto, simplemente reducir la frecuencia de pulsación para permitir que menos peso de concentrado pase a través de la cama de mineral. Si éste procedimiento no produce el grado elevado de concentrado deseado, puede que sea necesario incrementar la profundidad de la cama de mineral.

5.3.1.3 Densidad de pulpa de la alimentación y del concentrado

Las dos corrientes cuya densidad necesita ser controladas con regularidad son la alimentación y el concentrado.

Densidad de pulpa de la alimentación

Normalmente el rango debe ser de 35-40% de sólidos, es decir:

- 1300-1365 gr/cm³ para sólidos G.E 3.0 gr/cm³
- 1330-1400 gr/cm³ para sólidos G.E 3.5 gr/cm³
- 1355-1430 gr/cm³ para sólidos G.E 4.0 gr/cm³

El incremento de la densidad de pulpa de alimentación, a un tonelaje constante, permitirá un mayor tiempo de permanencia dentro del Jig Kelsey, esto puede ser de ayuda cuando los niveles de recuperación se encuentran ligeramente por debajo de los requerimientos. No existe densidad de alimentación máxima, sin embargo, el 50% de los sólidos son usados en algunos casos, más allá de este valor puede dar un ahogamiento de la cama junto con un desplazamiento excesivo de la cama de mineral. Es importante remarcar que cada aplicación y corriente de alimento es diferente y que la investigación de densidades de alimentación excesivamente altas no deben ser pasadas por alto sino examinadas a fondo antes de que se convierta en procedimiento operativo estándar.

Al tratar alimento relativamente grueso, mineral valioso de +75 μm en su totalidad, entonces la densidad de la pulpa no es tan fundamental como lo es con alimentos más finos. En el caso de minerales gruesos, éstos se acelerarán fácilmente y entrarán en contacto con la cama de mineral. Sin

embargo, cuando existe un gran porcentaje de mineral valioso fino, de menos 75 μm , los minerales más finos deberán ser acelerados con mayor fuerza. La mayor fuerza incrementa la probabilidad de que los minerales finos entren en contacto con la cama de mineral y tengan la fuerza necesaria para penetrarla, antes de ser desplazados fuera del Jig Kelsey por el exceso de agua en el alimento. Por lo tanto, las velocidades de giro deben ser incrementadas para alimentos finos diluidos.

El incremento de la velocidad de giro puede tener un efecto perjudicial sobre la extracción, debido al menor tiempo de permanencia del alimento dentro del Jig Kelsey. Esto puede ser contrarrestado disminuyendo el tonelaje de alimentación por medio de un menor caudal volumétrico a una densidad constante.

Densidad de pulpa del concentrado

Debe ser controlado con regularidad como un medio de asegurar que se está produciendo el tonelaje requerido de concentrado. La densidad de concentrado no debe exceder el 20% de los sólidos, caso contrario, causará el atascamiento de los grifos de concentrado y dará como resultado grifos bloqueados y finalmente, puede causar cajones atascados.

5.3.1.4 Tonelaje de alimentación

Por lo general, si se incrementa el tonelaje de alimentación, a una ley y densidad constantes, entonces la extracción disminuirá, si los parámetros del Jig Kelsey permanecen sin ser alterados. Para incrementar la extracción, se debe elevar la frecuencia de pulso. Si se logra la ley de concentrado requerido y el nivel de extracción todavía no es suficiente, puede que sea necesario incrementar el recorrido o golpe, o disminuir la profundidad de la cama de mineral. Un incremento en la velocidad de giro también puede ayudar a la extracción incrementando las pulsaciones efectivas por minuto. Sin embargo, este efecto puede ser contrarrestado por la disminución resultante en el tiempo de permanencia y el ajuste de la cama.

5.3.1.5 Gravedad específica entre los minerales a ser separados

La gravedad específica del concentrado debe ser mayor que el material usado en la cama y a la vez la gravedad específica de estos dos, deben ser mayores a los minerales ganga. Cuanto mayor sea la diferencia de las gravedades específicas del concentrado, el material de la cama y la ganga, tanto mayor y más eficiente será la separación, y en consecuencia se obtendrá un concentrado más limpio.

5.3.2 Parámetros del Jig Kelsey

Entre los factores mas importantes que se debe considerar del Jig Kelsey para un correcto funcionamiento y una buena eficiencia para la recuperación de partículas valiosas, tenemos:

- El efecto del agua de pulsación.
- El efecto de la frecuencia de giro (campo gravitacional inducido).
- El efecto de la frecuencia de pulsación.
- El efecto de la amplitud de pulsación (recorrido o golpe).
- El efecto de la malla obstruida.

5.3.2.1 El efecto del agua de pulsación

El nivel de exceso de agua de pulsación, es decir, la cantidad de agua de pulsación que no pasa hacia afuera a través de los grifos de concentrado sino hacia adentro a través de la malla de la clasificadora hidráulica, de la cama del triturador de mineral, y finalmente, sobre el anillo de retención del triturador a los relaves, puede tener un efecto negativo en la extracción de minerales a concentrar.

El efecto del agua de pulsación en minerales finos es marcado. Altos niveles de exceso de agua de pulsación darán como resultado el lavado de minerales finos a los relaves. De manera inversa, los niveles bajos de exceso de agua de pulsación resultan en una mayor extracción. La ley

depende del tamaño del material de la cama de mineral, la distribución del tamaño del alimento y de los parámetros del Jig Kelsey.

El efecto del agua de pulsación en minerales gruesos es menos marcado, por lo general, puede añadirse agua de pulsación para ayudar a efectuar una separación entre dos minerales de G.E. que difieren entre sí, esto se da de manera particular cuando el mineral valioso es grueso y la ganga es más fina. Así mismo, altos niveles de agua de lavado incrementan el comportamiento del peso del mineral grueso a concentrar, sin embargo, esto depende de la G.E. del mineral a ser concentrado. Se cree que este efecto se debe al alto nivel de exceso de agua de pulsación que incrementa la dilatación de la cama del triturador de mineral, disminuyendo su evidente densidad, y reduciendo la fricción entre el material de la cama y las partículas de mineral pesado.

La tabla 10 muestra una lista de caudales nominales, para el exceso de agua de pulsación, de acuerdo al tamaño del mineral a ser extraído:

Tabla 10. Caudales nominales de agua de pulsación en exceso	
Tamaño del mineral valioso (µm)	Exceso de agua de pulsación (agua a los relaves)
+425	80 a 200 lts/min
+150 - 425	80 a 120 lts/min
+38 -150	70 a 100 lts/min
-38	50 a 80 lts/min

Es importante mencionar que el Jig Kelsey, nunca debe ponerse en operación sin al menos 50 lts/min de exceso de agua de pulsación fluyendo a los relaves.

5.3.2.2 El efecto de la frecuencia de giro

El incremento en la velocidad de giro del Jig Kelsey tendrá los siguientes efectos físicos:

- Un mayor campo gravitacional evidente en la superficie de la cama de mineral.
- Contracción de la cama de mineral dando como resultado un espacio disminuido entre las partículas de la cama (una cama de mineral más ajustada).
- Un mayor alimento, en la superficie de la cama de mineral con poca cantidad de agua, es decir, en una centrífuga, las partículas sólidas en el alimento son separadas del agua, en este caso, en vez de ser limitadas por las paredes de un recipiente sólido, entran en contacto con una cama de mineral que se dilata.
- Menor tiempo de permanencia de las partículas dentro del Jig Kelsey.

- Menor efectividad de pulsación a velocidad de giro crítica, este efecto se da cuando la velocidad de giro es lo suficientemente alta, de manera que la fuerza con que las partículas de la cama están siendo empujadas contra la malla y unas contra otras, es tal que se mantienen relativamente inmóviles. El agua desplazada por el mecanismo de pulsación no tiene suficiente fuerza como para desplazar las partículas de la cama y simplemente viaja a modo de canales a través de la cama de mineral.
- Mayores pulsaciones efectivas por minuto. Los propulsores de giro y de pulsación rotan en direcciones opuestas y por lo tanto, un incremento en el giro incrementa las pulsaciones por minuto. Como consecuencia de mayores velocidades de giro, se obtiene como resultados metalúrgicos, lo siguiente:
 - Mayor extracción de finos para concentrado.
 - Menor extracción de material grueso para concentrado.
 - Disminución en general en la extracción para concentrado.
 - Incremento en general en la extracción para concentrado.
 - Disminución severa en la extracción para concentrado.

El efecto visto, dependerá del grado en que los otros parámetros del Jig Kelsey son influenciados y de la composición de la alimentación. Por lo tanto, lo mejor es ajustar todos los otros parámetros y dejarlos constantes

para luego variar la velocidad de giro de acuerdo a lo que se requiera, esto dará una indicación precisa de su efecto en el rendimiento metalúrgico.

5.3.2.3 El efecto de la frecuencia de pulsación

El mecanismo de pulsación crea ondas de choque que crean los siguientes efectos físicos:

- Dilatan la cama de mineral. Esto mantiene el fluido de la cama y permite que las partículas ingresen a la cama de mineral.
- Separación de minerales de gravedades específicas diferentes dentro de la cama. Las ondas de choque que dilatan la cama de mineral también actúan sobre las partículas dentro de la cama. Las partículas más livianas son más afectadas por las ondas de choque y por lo tanto, son continuamente reemplazadas en la cama por partículas más pesadas, las cuales son menos afectadas.

En la gran mayoría de los casos, el incremento de la pulsación incrementará la cantidad de material que vuelve a presentarse en el concentrado, sin embargo, el incremento de la pulsación no necesariamente incrementará la eficiencia de separación. Cuando la cantidad de mineral que ingresa a la cama es demasiado, la

concentración de mineral pesado no será lo suficientemente elevado, debido a que no podrá desplazar a los minerales ganga. Este efecto es particularmente evidente cuando los minerales ganga son gruesos en comparación con el mineral pesado.

5.3.2.4 El efecto de la amplitud de pulsación (recorrido o golpe)

Mientras que la frecuencia de pulsación da el número de oscilaciones para una partícula en la cama de mineral, la amplitud de pulsación (recorrido o golpe) da una indicación en cuanto al desplazamiento que dicha partícula experimentará por oscilación.

La longitud del recorrido o golpe y el desplazamiento de las partículas de la cama no son iguales debido a la dispersión de las ondas de choque de pulsación y a la fricción entre las partículas dentro de la cama. Este efecto se incrementa a mayores velocidades de giro.

La amplitud de pulsación puede ajustarse en el rango de 0-3.2 mm, pero, por lo general, cuanto más grueso sea el mineral a ser concentrado, tanto más largo será el recorrido o golpe.

Un recorrido o golpe demasiado pequeño puede causar lo siguiente:

- Cama de mineral compactada. Esto puede detectarse durante el chequeo rutinario de la cama de mineral. La cama será empaquetada de manera ajustada y no se desmoronará al ser tocada.
- Baja extracción, especialmente en rangos de tamaño más grueso. Las partículas más gruesas experimentan una mayor fricción en la cama de mineral debido a su tamaño. A fin de reducir esta fricción, la magnitud de la dilatación de la cama de mineral debe incrementarse.

Un recorrido o golpe demasiado elevado puede causar lo siguiente:

- Pérdida de la eficiencia de separación, especialmente en los rangos de tamaños más finos. Los espacios entre las partículas de la cama de mineral se vuelven lo suficientemente grandes como para permitir que las partículas más finas simplemente fluyan a través de la cama con un mínimo de resistencia. La falta de resistencia no favorece la sedimentación obstaculizada o la percolación consolidada, dos procesos cruciales para la separación de partículas finas.
- Comportamiento de la ganga gruesa como concentrado. La eficiencia de la expulsión del mineral de ganga grueso por parte de la cama de mineral se reduce debido a una gran dilatación de las partículas de la cama de mineral.

- Cajones de concentrado atascados que dan como resultado la vibración del Jig Kelsey. La cantidad de material que se vuelve a presentar en el concentrado es sencillamente demasiado elevada y los niveles de densidad del concentrado causan el atascamiento de los grifos de concentrado.
- Exceso de mineral de la cama que se vuelve a presentar en los relaves. El material de la cama es literalmente soplado de la cama por la fuerza del recorrido o golpe, éste efecto es poco común y generalmente sólo se ve cuando el mineral de la cama es fino y de una gravedad específica relativamente baja.

5.3.2.5 El efecto de la malla obstruida

La obstrucción de la malla del Jig Kelsey por causa del mineral de la cama gastado o partículas de alimento muy grandes darán como resultado:

- Pérdida de extracción debido a una disminución en el área abierta de la malla del Jig Kelsey. A medida que la malla del Jig Kelsey se obstruya, la cantidad de material que puede pasar a través de ella para ser concentrado, disminuirá.

- Exceso de esfuerzo en el mecanismo de pulsación y en el diafragma del Jig Kelsey. A medida que el área abierta de la malla del Jig Kelsey disminuya por causa de la obstrucción, la contrapresión sobre el mecanismo de pulsación y el diafragma del Jig Kelsey se incrementa, esto puede dar como resultado un mayor desgaste del diafragma.
- Pérdida de eficiencia y grado de separación. Las partículas incrustadas en la malla del Jig Kelsey conlleva a áreas de elevada fuerza de pulsación y de baja fuerza de pulsación. Esto da como resultado que algunas áreas de la cama se dilaten excesivamente, y otras mínimamente, disminuyendo la eficiencia de la separación.
 - Afecta directamente también en el tipo de cama de mineral, gravedad específica y distribución de tamaño.
 - Disminución del área total abierta de la malla, que debe tenerse presente para los resultados que se requiere obtener.

5.3.3 El efecto de la cama de mineral en el Jig Kelsey

La recuperación del concentrado a través del Jig Kelsey, esta también ligado a los efectos de la cama de mineral, entre los factores que se debe tener presente de la cama, son:

- Profundidad de la cama.
- Distribución de tamaño.
- Forma.
- Deterioro.
- Gravedad Específica.

5.3.3.1 Profundidad de la cama

El incremento de la profundidad de la cama de mineral dará como resultado una mayor separación. Esto se debe a un incremento en la zona de separación, es decir, una partícula en la cama entrará en contacto con más partículas en una cama más gruesa y por lo tanto, la separación es mayor.

La disminución de la profundidad de la cama tiene como resultado una mayor fricción entre las partícula a ser separadas, y por ende una disminución en el transporte en masa a través de la cama, usualmente se produce una menor masa de concentrado.

El incremento de la profundidad de la cama de mineral también tenderá a amortiguar la pulsación. Esto se puede contrarrestar incrementando la frecuencia o recorrido de pulsación.

5.3.3.2 Distribución de tamaño

Generalmente, la distribución del tamaño de mineral de la cama debe parecerse a la distribución del tamaño del mineral valioso en el alimento, con la condición que el tamaño de la cama de mineral sea mayor.

Tabla 11. Ejemplo de relación de tamaños de partículas entre la alimentación, mineral valioso y cama de mineral del Jig Kelsey.			
Tamaño (μm)		Abertura de la Malla del Jig Kelsey (μm)	Rango de tamaño del mineral de la cama (μm)
Alimento	Mineral valioso		
0 a 425	0 a 425	425	+600 -1200
0 a 425	0 a 150	425	+600 -850
0 a 425	0 a 90	425	+600 -710

5.3.3.3 Forma

De manera ideal, las partículas de la cama de mineral deben ser esféricas. Cuanto más cercana sea la forma de las partículas del mineral de la cama, a las esferas, tanto menos fricción habrá entre las partículas de la cama en sí y el material de concentrado, esto da como resultado un menor deterioro del triturador y una mayor producción unitaria de concentrado.

La partícula de la cama de mineral que sea astilloso o que tenga bordes filosos tiende a obstruir la malla interna del Jig Kelsey.

5.3.3.4 Deterioro

El deterioro de las partículas de la cama contribuye a la obstrucción de la malla del Jig Kelsey, debiendo ser minimizada por medio de la instalación de una malla de extracción de triturador del tamaño correcto. El material de la cama seleccionado debe ser de suficiente fuerza como para resistir la acción del material de concentrado cuando éste pasa a través de la cama. La esfericidad de las partículas de la cama también disminuirá el deterioro.

5.3.3.5 Gravedad específica

La gravedad específica (G.E.) del material de la cama debe encontrarse dentro del rango de la de los minerales a ser separados. Esto es, menor en G.E. que el concentrado buscado y mayor que los minerales ganga. Se da una excepción cuando se utiliza un material de cama natural que tiene la misma G.E. que el material a ser concentrado. Por lo general, cuanto mayor sea la diferencia entre la G.E. de la cama y el material ganga, tanto mayor será la separación.

5.4 Ventajas del Jig Kelsey

Las ventajas que ofrece el Jig Kelsey sobre los equipos convencionales de gravimetría, en el proceso de concentración de minerales de estaño, son los siguientes:

- Altas recuperaciones de casiterita (más de 90%, hasta en 10 micrones).
- Altas leyes en los concentrados (más de 65% Sn con altas recuperaciones).
- Altas capacidades de tratamiento, entre 5 a 50 TPH por unidad).
- No hay un producto intermedio, solo existe concentrado y relave
- Operación continua
- Mínimo espacio para su instalación y operación.

5.5 Tamaños de los Jigs Kelsey

Dependiendo de la capacidad de tratamiento ha ser usado en la concentración de un determinado mineral valioso, el Jig Kelsey se encuentra disponible, de acuerdo a las siguientes características:

Tabla 12. Tamaños de los Jigs Kelsey				
Modelo de Jig Kelsey	Dimensiones ancho-largo-altura (mm)	Peso bruto (kgs)	Motores giro - pulsación (Kw)	TMSH
J200	650x900x800	306	3.0-1.5	0.06
J650	1700x1700x1600	2500	10.0-7.5	10
J1300	2300x2300x1650	5000	22.0-11.0	25
J1300 (con limpiador de malla)	2455x2330x2435	9500	15.0-11.0	25
J1800 (con limpiador de malla)	3080x2990x3010	14000	22.0-15.0	50

Los tres modelos del Jig Kelsey J200, J1300 y J1800, se puede apreciar en la figura 15.



Figura 15. Tamaños de Jigs Kelsey

De estos tres modelos, el más pequeño (J200) es el que se usa para hacer las pruebas experimentales.

CAPITULO VI

PRUEBAS EXPERIMENTALES CON JIG KELSEY J200

6.1 Introducción

Las pruebas experimentales que se presentan en este trabajo, se realizaron en el Laboratorio Metalúrgico de la Planta Concentradora de San Rafael – MINSUR S.A. entre junio y julio del año 2000, y fueron durante mis prácticas pre-profesionales. Tales pruebas fueron dirigidas por el Ing. Ian Gordon (Asesor de la Planta Concentradora de San Rafael y el Ing. Dave Geraghty (Representante del Jig Kelsey).

Estas pruebas consistieron básicamente en hacer pasar a través del Jig Kelsey J200, (equipo para pruebas experimentales) una pulpa de mineral de casiterita; y según los resultados obtenidos en las muestras del relave y concentrado, como productos de éste Jig, se optaría la factibilidad o no, para la compra de un Jig Kelsey para la puesta en Operación en la Planta Concentradora, de tal forma cumplir con los objetivos planteados, es decir limpiar el concentrado actual de gravimetría (56% Sn) y obtener un

concentrado mucho más limpio (65% Sn), manteniendo la recuperación total en la Planta.

Cabe mencionar, que no solamente se hicieron pruebas con las muestras de los concentrados de gravimetría, sino, también se aprovechó para hacer una serie de pruebas, con distintas muestras de diferentes puntos de la Planta Concentradora, de manera que los resultados obtenidos sirvan para tomar otras decisiones y optar por algunos proyectos en el futuro. Un resumen de los mejores resultados con el Jig Kelsey J200, con muestras de diferentes puntos de la Planta Concentradora se puede ver en el anexo 7.

Se debe mencionar que, los cambios y regulaciones de las variables del Jig Kelsey J200, durante las pruebas experimentales, fueron tomadas íntegramente por el representante del Jig Kelsey, quien por su experiencia en el manejo de este equipo, maniobraba y hacía los cambios respectivos de las variables de éste Jig.

6.2 Caracterización de la muestra a ensayar con el Jig Kelsey J200.

Las muestras que se ensayaron con el Jig Kelsey J200, tal como se mencionó fueron de distintos puntos de la Planta Concentradora, pero nuestro

objetivo principal era saber los resultados que se obtendría con las muestras de los concentrados de gravimetría, para ello se hizo un muestreo sistemático en la Planta Concentradora, de tal forma que las muestras a ensayar con el Jig de prueba, sean las más representativas.

El análisis granulométrico y leyes por tamaños de una de las muestras tomadas antes de pasarlo por el Jig de prueba, se obtuvieron los resultados:

Tabla 13. Análisis granulométrico y de leyes (%Sn) de una muestra, antes de pasarlo por el Jig Kelsey J200.		
Abertura de malla (μm)	Muestra: Concentrado de Gravimetría	
	% Peso	% Sn
425	0.59	35.45
300	2.86	40.57
212	11.21	43.59
150	13.12	44.32
106	13.65	44.94
75	11.56	45.38
53	8.96	44.72
45	3.38	43.59
38	2.77	41.32
22	26.97	39.97
-6.5	4.92	35.45
TOTAL	100.00	42.60

6.3 Resultados obtenidos en las pruebas experimentales

Las pruebas experimentales se programaron con el fin de obtener un concentrado de alta ley de estaño y una alta recuperación, en consecuencia

los parámetros del Jig J200, se modificaban y se ajustaban para lograr este fin. Durante las pruebas se debía cuidar de no alimentar al Jig de prueba no más de 60 Kg/hr, debido a que este valor es la capacidad máxima de éste equipo.

Las muestras de mineral durante las pruebas experimentales fueron alimentadas al Jig como una pulpa, entre 35% y 40% de sólidos. El procedimiento de como se llevo a cabo las pruebas experimentales se puede resumir con el siguiente esquema:

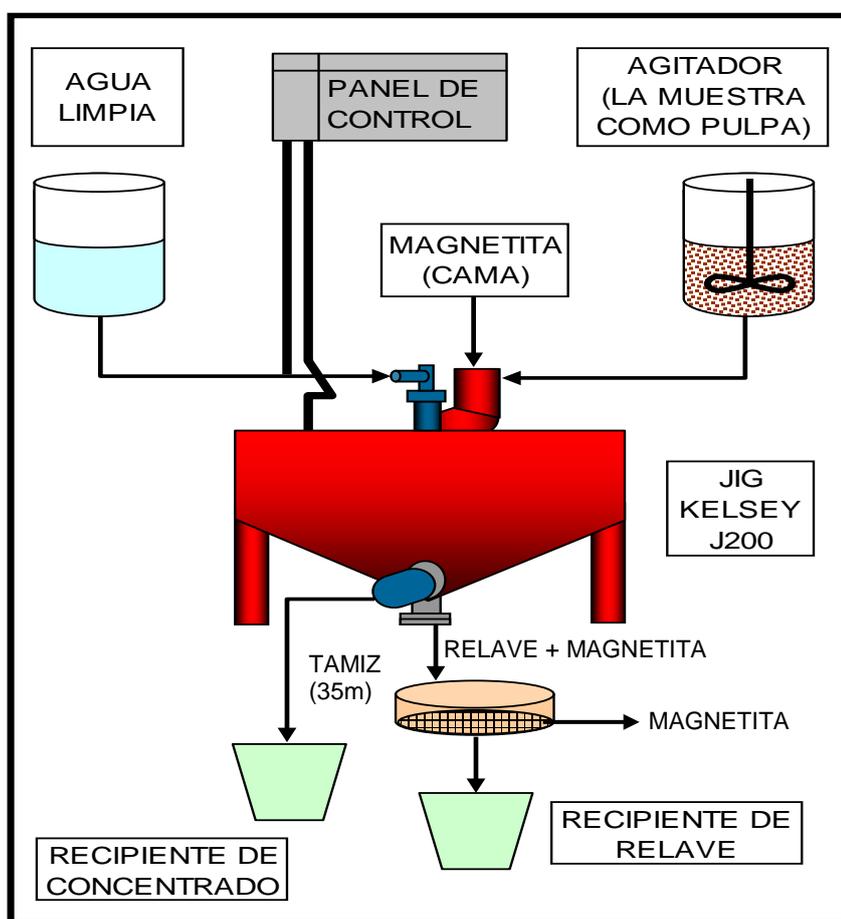


Figura 16:
Esquema de
procedimiento
de las pruebas
experimentales
con el Jig
Kelsey J200.

Cabe aclarar que, las muestras tomadas para las pruebas experimentales fueron de los concentrados de gravimetría, es decir fueron tomadas antes de entrar a las celdas de flotación de gravimetría (ver anexo 6) o que es lo mismo decir, a la salida de la tolva de los concentrados de gravimetría posterior a la remolienda.

Para realizar las pruebas experimentales primeramente, se hizo funcionar el Jig Kelsey J200 con los parámetros de: giro, pulsación, amplitud de pulsación y agua de pulsación, definidos, seguidamente se alimentaba con la magnetita (cama), y luego se agregaba la muestra de mineral en forma de pulpa.

El concentrado y relave como productos obtenidos a la salida del éste Jig, se depositaban en recipiente por separado. Pero conjuntamente con el relave salía la magnetita, y como éste último era de tamaño más grueso que el relave, entonces con un tamiz se clasifica estos dos materiales.

A cada prueba realizada, se hacían los respectivos análisis de leyes del %Sn. Los resultados de las pruebas se muestran en la tabla 14.

Tabla 14. Resultados obtenidos en las pruebas experimentales con el Jig Kelsey J200

Muestra: Concentrados de gravimetría previo a la flotación de sulfuros (Planta Concentradora de San Rafael – año 2000)

Nro.	GIRO (Hz)	PULSACION (Hz)	AMPLITUD DE PULSACION (mm)	AGUA DE PULSACION (lts/min)	ABERTURA DE MALLA DEL JIG	TIPO DE MATERIAL DE CAMA	TAMAÑO DE PARTÍCULAS DE CAMA(μm)	G.E. DE LA CAMA	CONCENTRADO		RELAVE		ALIMENTO CALCULADO		RECUP. (%)
									Kg/hr	LEY (%Sn)	Kg/hr	LEY (%Sn)	Kg/hr	LEY (%Sn)	
1	35	40	2.8	9.0	425	MAGNETITA	500-710	5	5.7	51.45	2.4	12.35	8.1	39.86	90.8
2	35	45	2.8	9.0	425	MAGNETITA	500-710	5	6.7	50.53	2.3	11.98	9.0	40.68	92.5
3	35	45	2.8	11.0	425	MAGNETITA	500-710	5	7.1	46.59	2.5	11.01	9.6	37.32	92.3
4	35	40	2.8	10.0	425	MAGNETITA	500-710	5	4.9	54.00	2.0	14.35	6.9	42.51	90.2
5	35	45	2.8	10.0	425	MAGNETITA	500-710	5	4.9	52.69	1.7	15.47	6.6	43.10	90.8
6	40	40	2.8	8.0	425	MAGNETITA	500-710	5	3.6	49.95	1.2	14.05	4.8	40.98	91.4
7	35	40	2.8	12.0	425	MAGNETITA	500-710	5	23.6	73.03	26.5	14.07	50.1	41.84	82.2
8	35	40	2.8	12.0	425	MAGNETITA	500-710	5	19.7	72.39	11.4	6.08	31.1	48.08	95.4
9	35	40	2.8	12.0	425	MAGNETITA	500-710	5	13.7	69.88	19.0	11.16	32.7	35.76	81.9
10	35	40	2.8	6.5	425	MAGNETITA	500-710	5	49.7	73.45	37.8	17.50	87.5	49.28	84.7
11	33	38	2.8	6.5	425	MAGNETITA	500-710	5	42.8	73.22	33.0	14.50	75.8	47.66	86.8
12	30	38	2.8	8.0	425	MAGNETITA	500-710	5	35.3	73.41	29.9	12.68	65.2	45.56	87.2

Todas las pruebas realizadas fueron en virtud a querer reemplazar el banco de celdas de la sección de gravimetría y a los objetivos trazados, ya que éste banco de celdas de flotación no eran capaces de lograr concentrados de casiterita mucho más limpios. Sin embargo, posterior a las pruebas experimentales y después de tener resultados muy positivos, se optó que no era necesario reemplazar la celda de flotación de gravimetría, sino que el Jig Kelsey, debería ser un equipo más para la operación y debería ser usado en la limpieza final de los concentrados de gravimetría.

Por lo tanto, el proyecto con el Jig Kelsey, en la Planta Concentradora de San Rafael, sería como un equipo más para la limpieza final de los concentrados de gravimetría, es decir que su función sería de limpiar mucho más los concentrados, a la salida del banco de celdas de flotación de gravimetría.

CAPITULO VII

RESULTADOS OBTENIDOS EN OPERACIÓN CON EL JIG KELSEY J1300

Posteriormente a las pruebas experimentales realizadas, y según los resultados obtenidos en las pruebas, finalmente se consiguió el objetivo planteado, incluso era factible alcanzar leyes de estaño de hasta 73% con recuperaciones de más del 90%. En consecuencia el siguiente paso, era de volcar todo esto a la Operación, para ello la empresa MINSUR S.A. compró el Jig Kelsey J1300 y todos los equipos y accesorios necesarios para su funcionamiento en la Planta Concentradora de San Rafael.

7.1 Situación operacional de la Planta Concentradora de San Rafael con el Jig Kelsey.

Los cambios realizados en operación para el funcionamiento del Jig Kelsey J1300, en el circuito para la recuperación y limpieza final de los concentrados de gravimetría, se muestra en la figura 17.

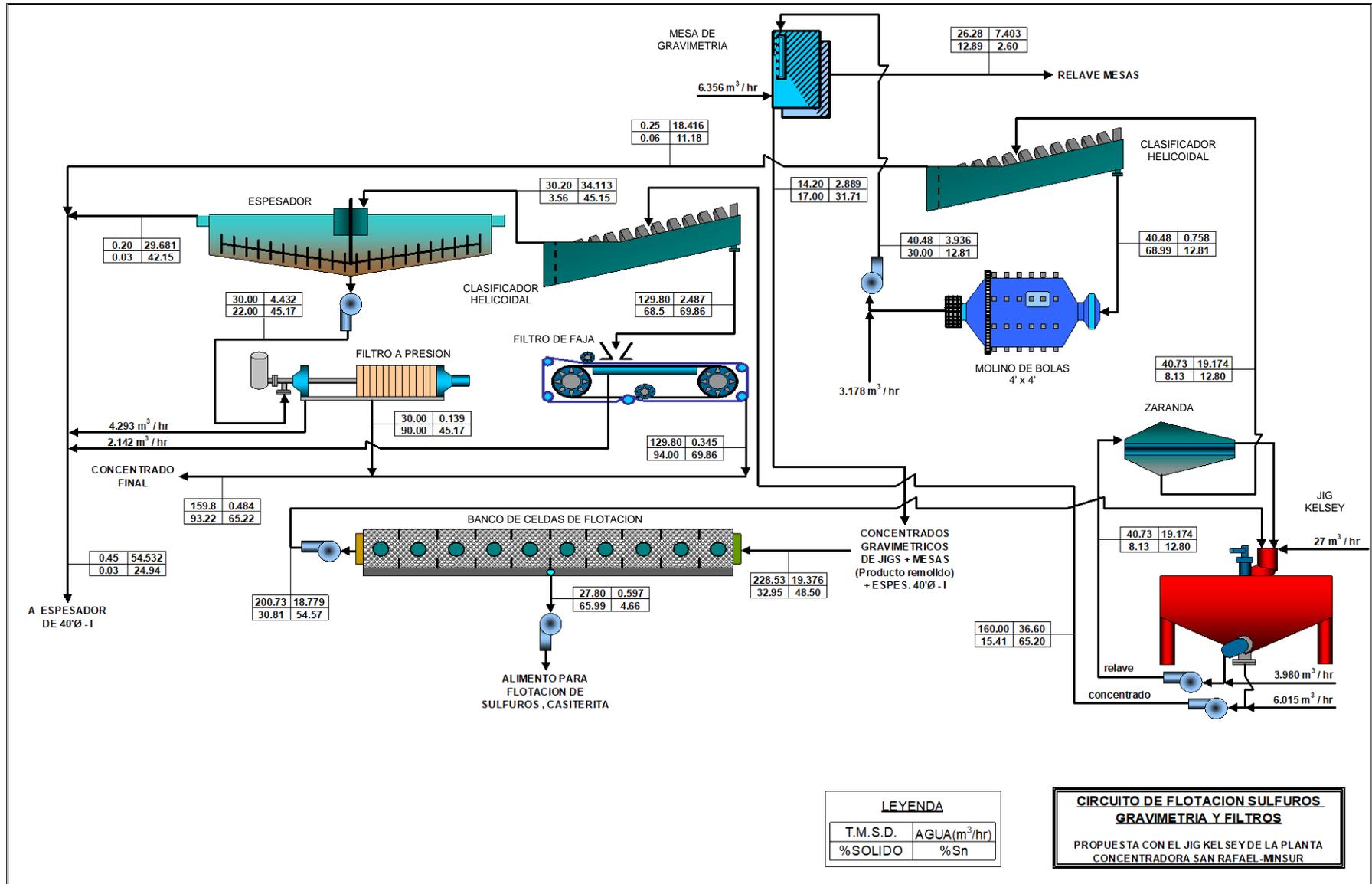


Figura 17. Balance metalúrgico del circuito de flotación de sulfuros de gravimetría y filtros, después de los cambios con el Jig Kelsey

La alimentación que recibe el Jig Kelsey J1300, tiene entre 30% y 35% de sólidos, cuyas leyes de estaño están entre 55% y 58% Sn, siendo el tonelaje promedio de alimentación de 200 TMSD, que luego de ser procesados en éste equipo, el concentrado obtenido alcanza valore de 65% a 68% Sn. Las partículas en la alimentación son de tamaño menor a 0.5mm.

El Jig Kelsey J1300 en la Planta Concentradora de San Rafael está ajustado a los siguientes parámetros:

- Giro 230 rpm
- Pulsaciones por minuto 1770 ppm
- Amplitud de pulsación 1.5 mm
- Tonelaje que trata el Jig Kelsey 10 Tn/hr
- Abertura de la malla del Jig Kelsey 600 μ m
- Análisis granulométrico de la cama (magnetita):

Tabla 15. Análisis granulométrico de magnetita (cama del Jig Kelsey J1300)			
Malla	Micras	%Peso	% Acum. Retenido
14	1400	37.5	37.5
20	850	47.2	84.7
30	600	3.7	88.4
40	445	6.5	94.9
50	300	3.3	98.2
70	212	1.1	99.3
100	150	0.3	99.6
140	106	0.2	99.8
200	75	0.1	99.9
<200	<75	0.09	100.0

Tal como se observa en la tabla 15, y siendo la malla del Jig Kelsey J1300 de abertura 600 μ m, el porcentaje en peso de magnetita (cama) es mayor a ésta abertura en 88.4%, por lo tanto al salir el relave conjuntamente con la magnetita, es fácil su separación por la diferencia de tamaños a través de una zaranda, tal como se muestra en la figura 17.

7.2 Resultados en operación del Jig Kelsey J1300

Una forma de apreciar los resultados, con el cambio hecho en la Planta de San Rafael, es a través de una comparación del antes y después de la puesta en operación del Jig Kelsey. Esta comparación se puede ver entre la figura 8 y figura 17, donde se observa que el concentrados final de la Planta Concentradora, sin el Jig Kelsey era de 52.08% Sn con un tonelaje de concentrado de 200.48 TMSD, haciendo un total de 104 TMSD de Estaño puro; que comparándolo con el después de entrar en operación el Jig Kelsey, el concentrado final reporta 65.22% Sn con un tonelaje de concentrado de 159.80 TMSD, haciendo un total de 104 TMSD de Estaño puro.

De esta comparación se desprende que al tener un mismo tonelaje de Estaño puro (104 TMSD), la recuperación total de la Planta no se altera,

pero la ley de estaño se incrementa de 52% a 65% Sn, con lo cual se obtiene un concentrado mucho más limpio.

Como en el funcionamiento del Jig Kelsey, las leyes de los diferentes metales acompañantes, en el concentrado final de gravimetría, disminuyeron notablemente, tal como se puede apreciar en el siguiente cuadro:

Elemento	Leyes Promedio		% Variación
	Antes del Jig Kelsey	Después del Jig Kelsey	
Estaño	56.5	65.0	-15.0
Cobre	0.011	0.005	54.5
Arsénico	0.08	0.05	37.5
Hierro	3.63	2.83	22.1
Azufre	0.5	0.3	40.0
SiO ₂	13.43	8.45	37.1
Plomo	0.035	0.019	45.7
Bismuto	0.04	0.03	25.0

Una manera de cuantificar la eficiente del Jig Kelsey en cuanto a recuperación de partículas finas de casiterita se refiere, es a través de un análisis por tamaño de partículas y sus respectivas leyes que reporta en los productos del antes y después de la puesta en operación del Jig . Estos resultados se muestran en la tabla 17, tabla 18 y figuras 18 y 19.

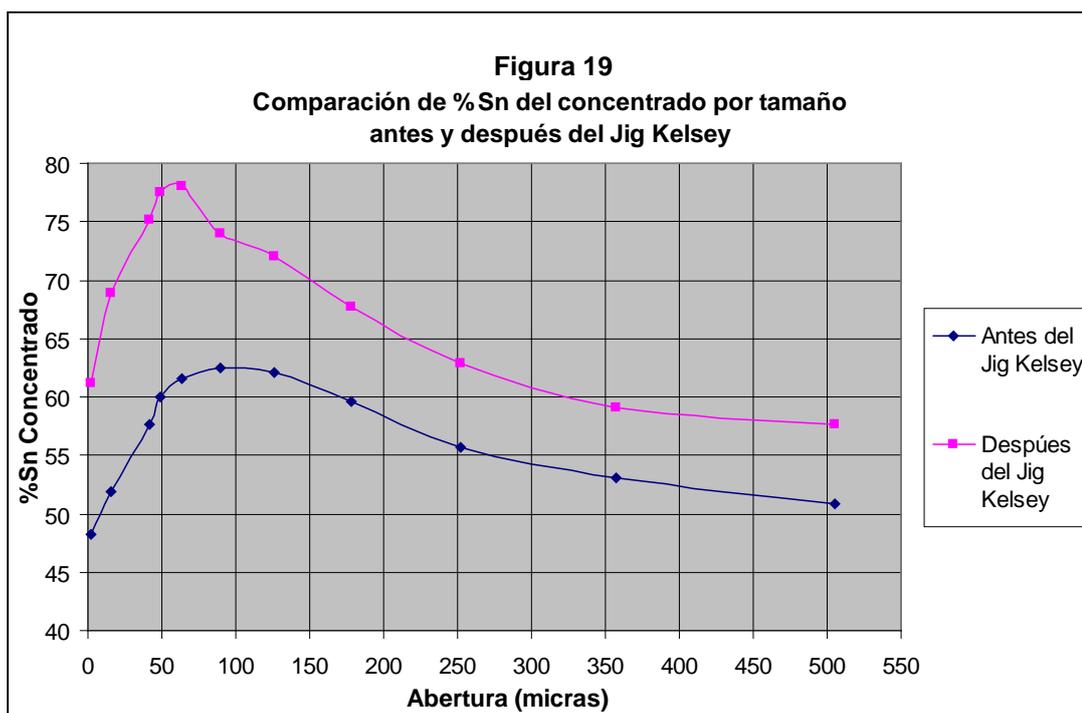
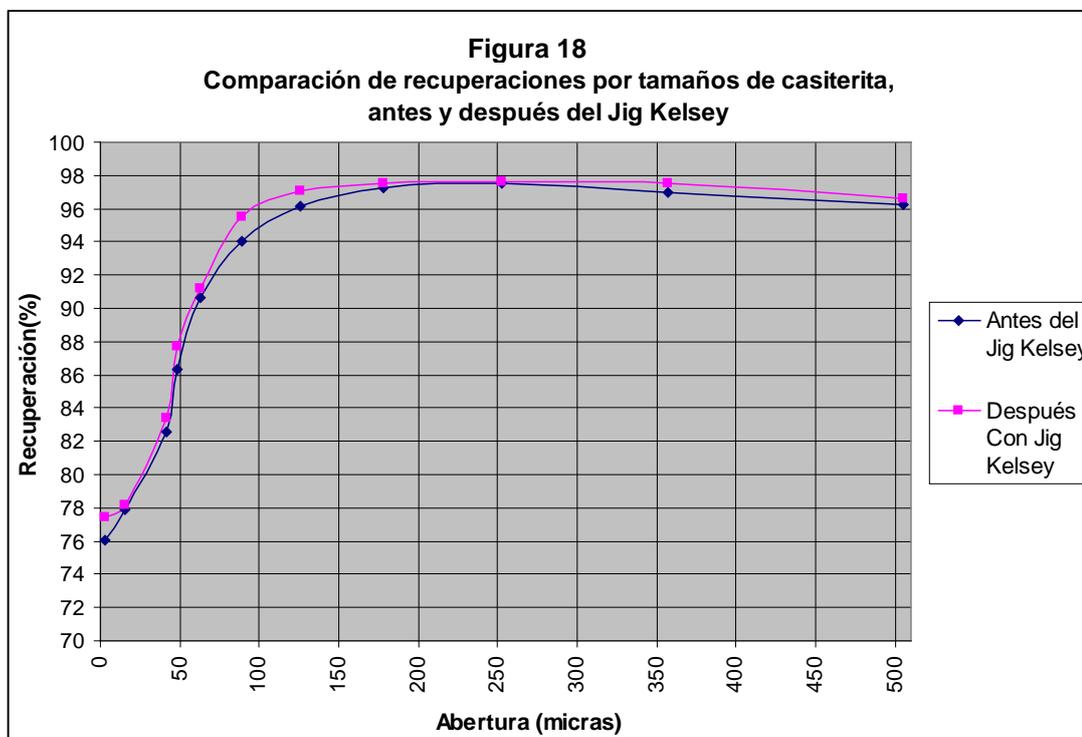
Análisis de recuperación por tamaños "Sin el Jig Kelsey".

Tabla 17						
Análisis de recuperación por tamaños, del concentrado final de gravimetría "Sin el Jig Kelsey" en la Planta Concentradora de San Rafael						
Abertura (μm)			Leyes de estaño (%)			Recup. (%)
Superior	Inferior	Promedio	Alimento	Concentrado	Relave	
600	425	505.0	35.40	50.91	4.01	96.25
425	300	357.1	39.01	53.12	4.11	96.97
300	212	252.2	42.59	55.70	4.18	97.50
212	150	178.3	43.91	59.61	4.27	97.24
150	106	126.1	44.35	62.03	5.49	96.13
106	75	89.2	44.71	62.54	8.11	94.06
75	53	63.0	44.09	61.51	11.75	90.67
53	45	48.8	43.13	60.04	15.52	86.33
45	38	41.4	39.77	57.68	16.11	82.55
38	6.5	15.7	34.73	51.94	16.01	77.92
6.5	0	2.5	30.17	48.26	13.78	76.04
TOTAL			42.11	58.90	4.81	96.45

Análisis de recuperación por tamaños "Con el Jig Kelsey".

Tabla 18						
Análisis de recuperación por tamaños, del concentrado final de gravimetría "Con el Jig Kelsey" en la Planta Concentradora de San Rafael						
Abertura (μm)			Leyes de estaño (%)			Recup. (%)
Superior	Inferior	Promedio	Alimento	Concentrado	Relave	
600	425	505.0	50.91	57.61	11.87	96.58
425	300	357.1	53.12	59.03	10.76	97.52
300	212	252.2	55.70	62.93	9.62	97.66
212	150	178.3	59.61	67.73	10.51	97.50
150	106	126.1	62.03	72.06	11.21	97.02
106	75	89.2	62.54	74.03	14.50	95.52
75	53	63.0	61.51	78.07	19.24	91.20
53	45	48.8	60.04	77.53	22.98	87.73
45	38	41.4	57.68	75.22	26.58	83.38
38	6.5	15.7	51.94	68.92	27.58	78.19
6.5	0	2.5	48.26	61.21	27.95	77.45
TOTAL			58.9	67.87	12.41	96.59

Comparación de recuperaciones y %Sn por tamaños, del concentrado final de gravimetría, “antes del Jig Kelsey” y “después del Jig Kelsey”.



Como se puede apreciar en las figuras 18 y 19, el Jig Kelsey tiene una alta eficiencia de recuperación en partículas finas de casiterita, es el caso que para malla 400 (38 μm) se logra tener una recuperación de 83% con 75% Sn en el concentrado.

7.3 Limitaciones y desventajas del Jig Kelsey

El Jig Kelsey no es ajeno a las desventajas y limitaciones, que presenta como todo equipo concentrador, que debe ser tomar en cuenta en las operaciones. Entre ellos tenemos:

- Alta demanda de agua limpia y de presión constante.
- Posibilidad mínima de recuperar sulfuros.
- Operación sin posibilidad de supervisión dentro del equipo.
- Difícil de fabricar localmente con una buena calidad.
- Costo alto debido a la importación necesaria, así como problemas con los repuestos.

7.4 Impacto sobre el medio ambiente del Jig Kelsey

Al trabajar con el Jig Kelsey, la protección del medio ambiente, la salud y la seguridad industrial, son temas que no deberían ser de gran preocupación, puesto que el relave como productos desechable solo contiene agua sin ningún tipo de reactivo químico, por lo tanto este relave

fácilmente puede ser almacenado y manipulado sin el riesgo de contaminación alguna, y el agua clarificada (posterior a su almacenamiento) será fácil verter a los ríos sin peligro de contaminación, esto será siempre en cuando las etapas previas al Jig Kelsey no se hubiera usado reactivo químico alguno.

Por lo tanto, el Jig Kelsey ofrece, un proceso limpio debido a que no emplea reactivos químicos, ni aditivos que puedan contaminar el medio ambiente. Presenta un amplio rango de seguridad en la manipulación de concentrados, descargándolos directamente a un depósito para su posterior etapa, sin intervención directa del operador.

En la medida que se use más de los equipos concentradores (Jig convencionales, mesas de gravimetría, Knelson, Falcon, Jig Kelsey, Jig Gekkos, espirales, entre otros) para la recuperación de minerales pesados valiosos, donde estos equipos solo usen las fuerza de gravedad y fuerza centrífuga y como fluidos al agua y aire, será factible la no contaminación del medio ambiente en su totalidad.

7.5 Proyecto con el Jig Kelsey para el tratamiento de los relaves depositados, en la empresa minera de San Rafael.

Después de los resultados obtenidos a nivel industrial en la Planta Concentradora de San Rafael, se venido buscando equipos novedosos capaces de mejorar la calidad de concentrado y la recuperación total de la Planta, entre estos equipos y con los cuales ya se hicieron las pruebas experimentales respectivas, están el Jig Gekkos y Concentrador Falcon, de éste último equipo, tuve también participación directa de las pruebas experimentales, las cuales a manera de comparación con el Jig Kelsey, se presentan un resumen descriptivo de éste equipo y de dichas pruebas en los anexos 8 y 9.

En virtud a las pruebas experimentales y a los buenos resultados, obtenidos con los equipos mencionados y con el Jig Kelsey, la Planta Concentradora, tiene varios proyectos para mejorar en todo aspecto la concentración de casiterita. Uno de estos proyectos donde el Jig Kelsey es el eje principal, es para el tratamiento y recuperación de casiterita del relave final de dicha Planta Concentradora, este proyecto se muestra en la figura 20, donde básicamente sería cuestión de recuperar la casiterita en rangos muy finos, y no sería necesario ningún tipo de remolienda, en consecuencia un equipo como el Jig kelsey sería el apropiado para estos casos.

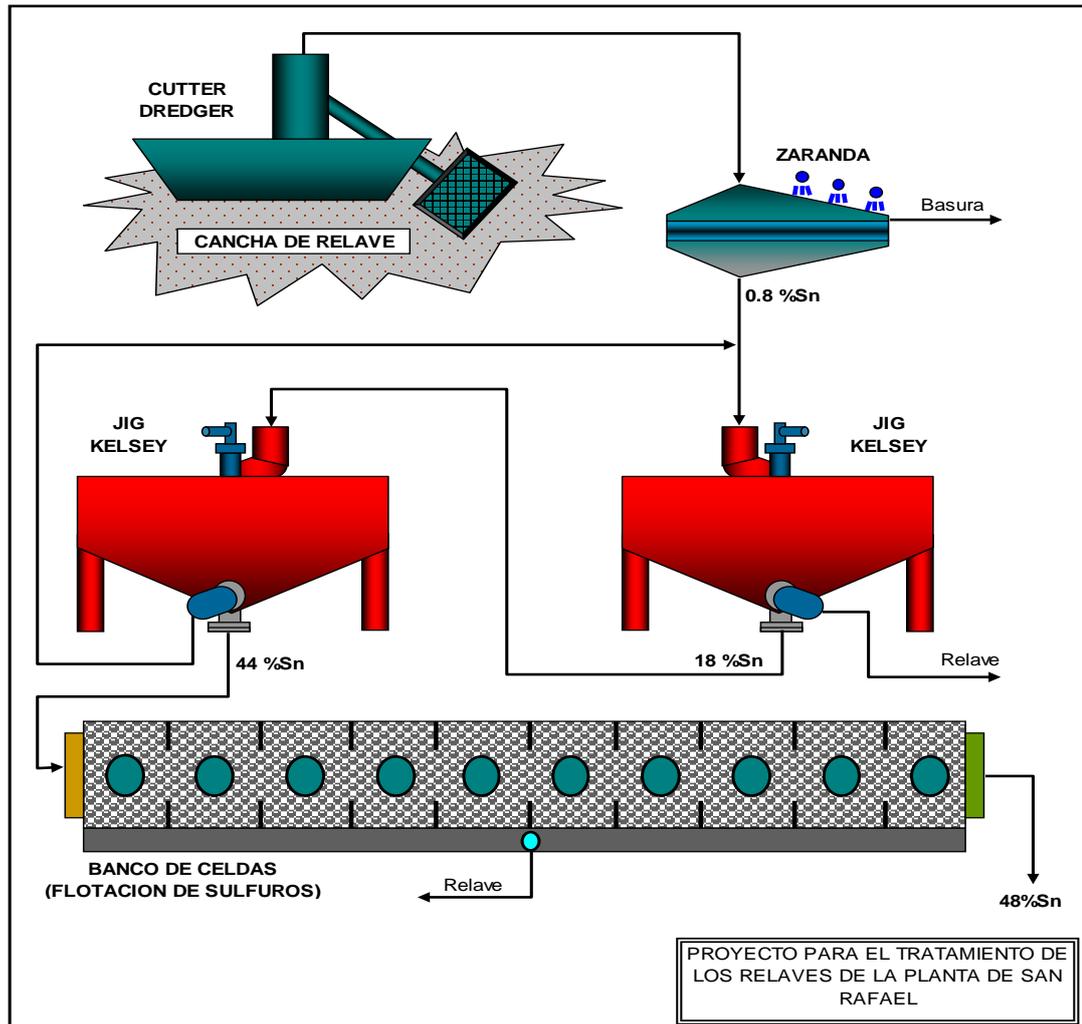


Figura 20. Proyecto con el Jig Kelsey, para el tratamiento de los relaves.



Figura 21: Vista general de la cancha de relave de la Planta Concentradora de San Rafael.

CAPITULO VIII

EVALUACION ECONOMICA

La evaluación económica que se presenta es por la adquisición de un Jig Kelsey modelo J1300 que hizo MINSUR S.A. para su operación en la Planta Concentradora de San Rafael, que incluye accesorios, equipos adicionales y todo lo necesario para la operación de éste jig.

8.1 Inversión

<u>INGENIERIA</u>	<u>COSTO US\$</u>
Básica	4,000.00
De detalle	4,000.00
Supervisión	8,000.00
<u>MAQUINARIA</u>	<u>COSTO US\$</u>
Jig Kelsey J1300 MK2 (1 unidad)	314,882.88
Molino de bolas 4' x 4' (1 unidad)	26,082.00
Clasificador helicoidal 36"Ø (1 unidad)	23,800.00

Bomba SRL 4" x 3"	(4 unidades)	20,400.00
Bomba SRL 1 1/2" x 1"	(2 unidades)	6,636.00
Zaranda Sisetec	(1 unidad)	24,934.80
Bomba peristáltica SP50	(2 unidades)	18,905.00

<u>OBRAS CONSTRUCCION CIVIL</u>	<u>COSTO US\$</u>
---------------------------------	-------------------

Bases y cimentaciones	39,283.02
Edificios metálicos	43,000.00
Grúa puente de 4 Ton.	16,572.00
Grúa monoriel de 3.2 Ton.	7,431.00

<u>INSTALACION MECANICA</u>	<u>COSTO US\$</u>
-----------------------------	-------------------

De maquinaria y equipo	20,000.00
De sumideros, chutes, etc.	6,000.00
De tuberías y accesorios	6,000.00

<u>INSTALACION ELÉCTRICA</u>	<u>COSTO US\$</u>
------------------------------	-------------------

Tableros de protección y mando	15,640.00
Cables de acometida, conduits e instrumentación	8,000.00
Pruebas y puesta en marcha	2,000.00

TOTAL EN INVERSION (US\$)	615,566.70
---------------------------	------------

8.2 Costos de operación

	US\$ / AÑO
ENERGIA ELECTRICA (105.Kw-hr)	35,343.00
MANO DE OBRA (1 operador por turno de 8 horas)	40,000.00
MANTENIMIENTO	
Over haul, materiales	17,200.00
Repuestos	7,410.00
Mano de obra	6,000.00
CONSUMIBLES	
Magnetita	5,500.00
Forros y bolas	6,000.00
Imprevistos	11,745.30
 TOTAL EN COSTO DE OPERACIÓN (US\$ / AÑO)	 129,198.30

8.3 Características de los concentrados antes del cambio.

BALANCE ANUAL

Mineral tratado (ton)	827,500.00
Ley de cabeza %Sn	5.20
Concentrados gravimétricos (ton)	60,587.57
Ley concentrado %Sn	56.50
Finos en concentrados gravimétricos	34,231.97
Costo de transporte	47.20
	US\$ / Ton

Costo total de transporte	US\$ / Ton	2'859,733.30
---------------------------	------------	--------------

8.4 Características de los concentrados después de los cambios.

BALANCE ANUAL

Mineral tratado (ton)		827,500.00
Ley de cabeza %Sn		5.20
Concentrados gravimétricos (ton)		50,960.00
Ley concentrado %Sn		66.50
Finos en concentrados gravimétricos (ton)		33,2888.40
Costo de transporte	US\$ / Ton	47.20
Costo total de transporte	US\$ / Ton	2'405,312.00

8.5 Flujo de caja

Ingresos	US\$ / año	454,412.30
Costo de operación	US\$ / año	129,198.30
Utilidad bruta	US\$ / año	325,214.00
Utilidad neta	US\$ / año	227,649.80
Tasa de descuento	%	10.00
Vida del proyecto	años	10.00
Valor actualizado neto	US\$ / año	1'382,732.54
Tasa interna de retorno	%	52.03
Tiempo de recuperación de la inversión	años	2.21

CONCLUSIONES

- Con la puesta en operación del Jig Kelsey en la Planta Concentradora de San Rafael se logró cumplir con el objetivo principal de incrementar las leyes de los concentrados de gravimetría de 56% Sn a valores de 65% Sn; sin afectar la recuperación total (89%) de la Planta Concentradora.
- La evaluación económica, ha sido referida únicamente al transporte de concentrados siendo la inversión de US\$ 615,566.70 y el tiempo de retorno de la inversión de 2.2 años, pero adicionalmente se debe considerar el ahorro en los envases para transportar y personal para el manipuleo de concentrados.
- Con el incremento de la calidad del concentrado de gravimetría, la fundición de Pisco se beneficiará de varios aportes positivos, entre ellos: tratamiento de los concentrados de casiterita con un mínimo de impurezas, se verá beneficiado principalmente en el incremento de la capacidad de tratamiento, entre otros.

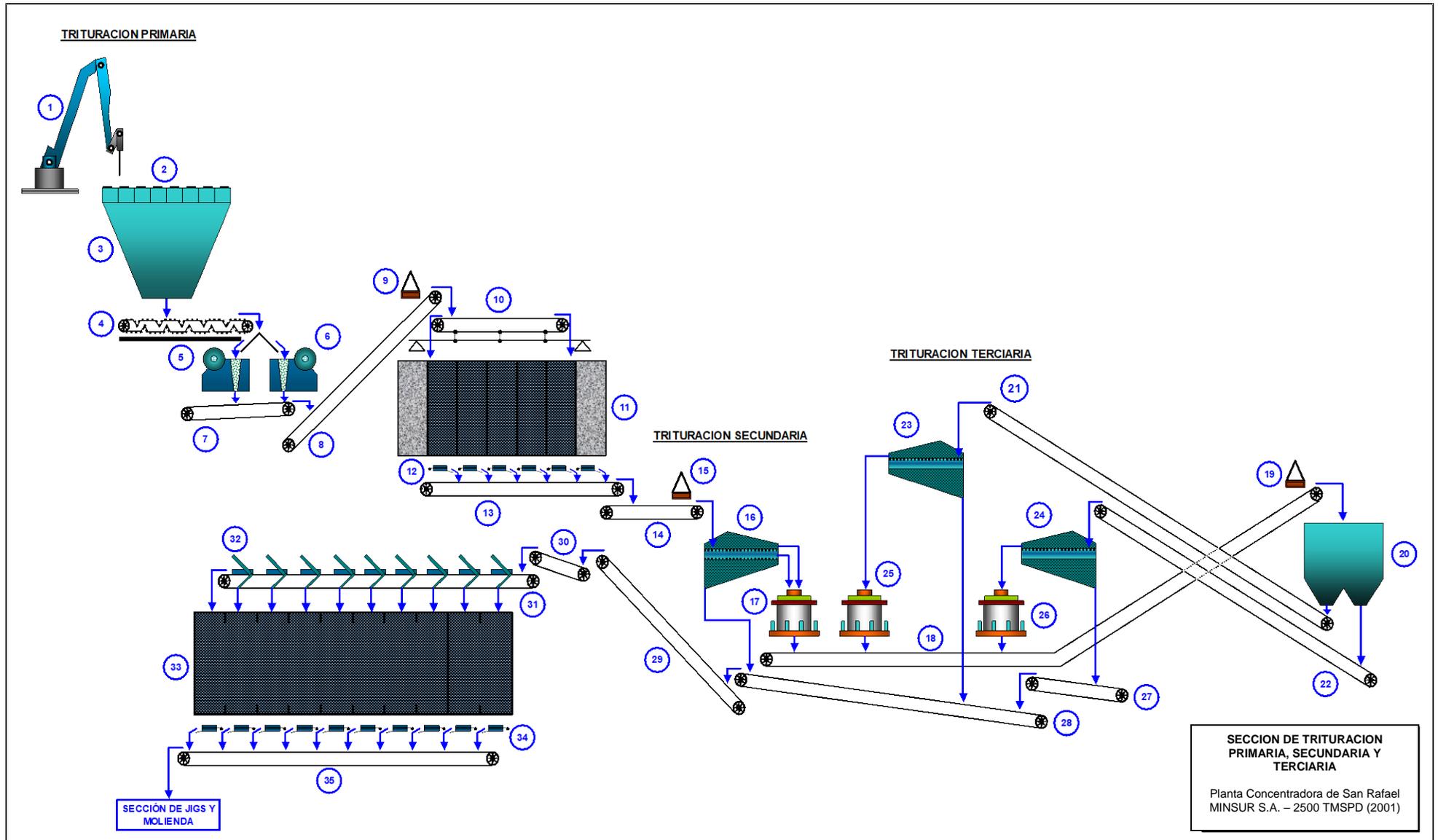
- El modelo de Jig Kelsey J1300, tiene una capacidad de tratamiento de 25 TMSH. El circuito diseñado para la operación de Jig Kelsey en San Rafael, es para el tratamiento de los relaves de las celdas de sulfuros de gravimetría, que alcanza a tratar 8.36 TMSH. Por lo tanto, se tiene la alternativa de tratar los concentrados en el Jig Kelsey antes de flotar los sulfuros, siendo el tratamiento de 8.98 TMSH.
- Debido a los buenos resultados obtenidos con el Jig kelsey, la empresa minera de San Rafael, ha venido buscando equipos novedosos capaces de mejorar la calidad de concentrado y la recuperación total de la Planta, entre estos equipos y con los cuales ya se hicieron las pruebas experimentales respectivas, están el Jig Gekkos y Concentrador Falcon, con los cuales se tienen varios proyectos.
- De acuerdo al grafico de análisis de recuperación por tamaño de partículas en el Jig Kelsey (figuras 18 y 19), podemos concluir que incluso hasta la malla 400 (38 μ m) se logra una buena recuperación (83.3%) con una alta ley de estaño (75.2% Sn) en los concentrados obtenidos en éste jig. Lo cual comparándolo con lo obtenido en las mesas de gravimetría y jigs convencionales, se nota una gran diferencia de recuperación por tamaños de partículas valiosas.

BIBLIOGRAFIA

1. Reportes anuales de la Superintendencia de la Planta Concentradora de San Rafael.
2. Pruebas piloto con Jig Kelsey J200 en la Planta Concentradora de San Rafael.
Dave Geraghty - Geologics – año 2000.
3. Manual operativo del Jig Kelsey J1300
Geologics Pty Ltd.
4. Highly efficient enhanced gravity separation the Kelsey Jig.
D. Geraghty.
5. Elementos de preparación de minerales.
Arthur F. Taggart
6. Introducción al procesamiento de minerales
Errol G. Kelly – David J. Spottiwood

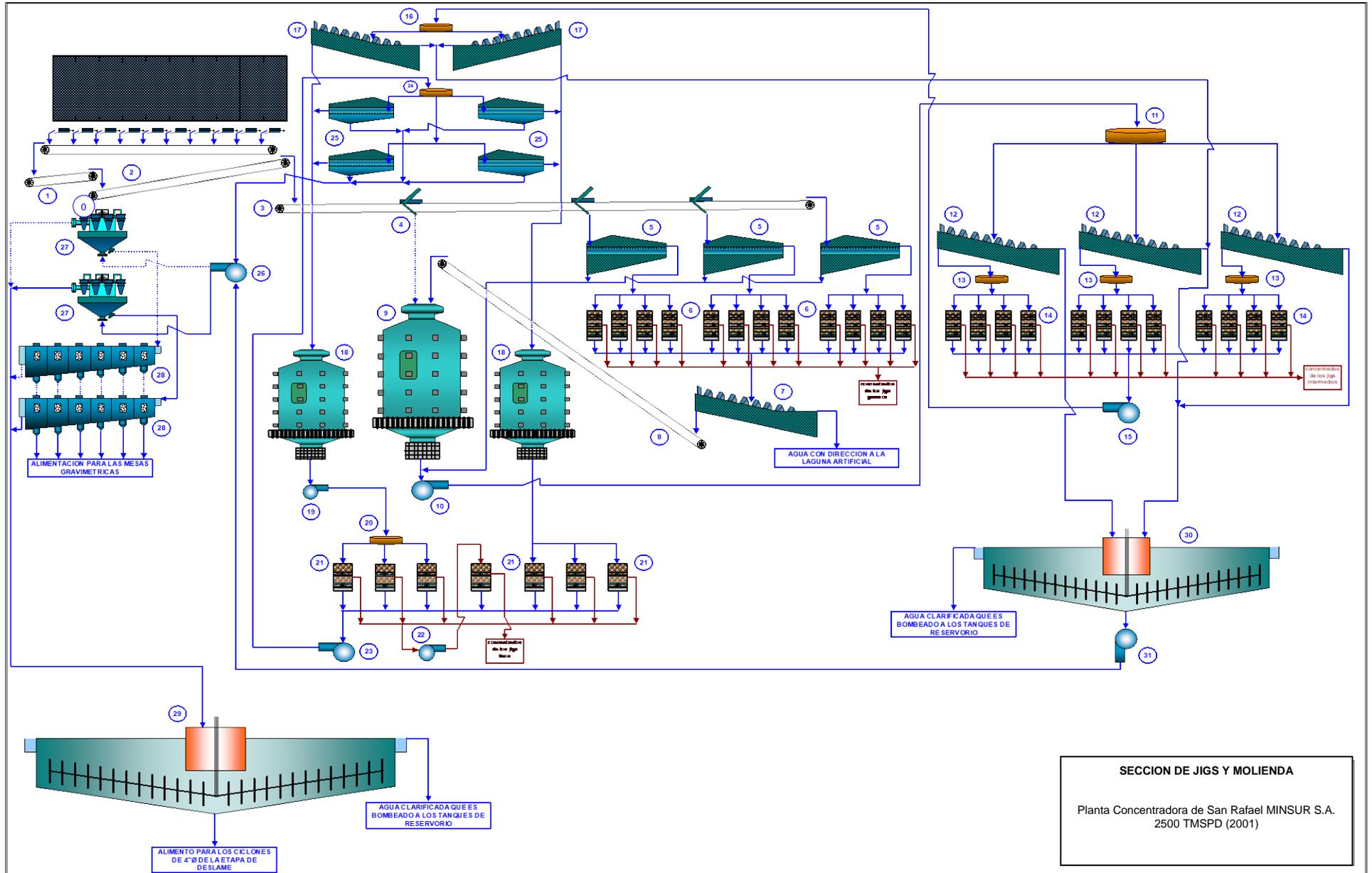
ANEXOS COMPLEMENTARIOS

ANEXO 1



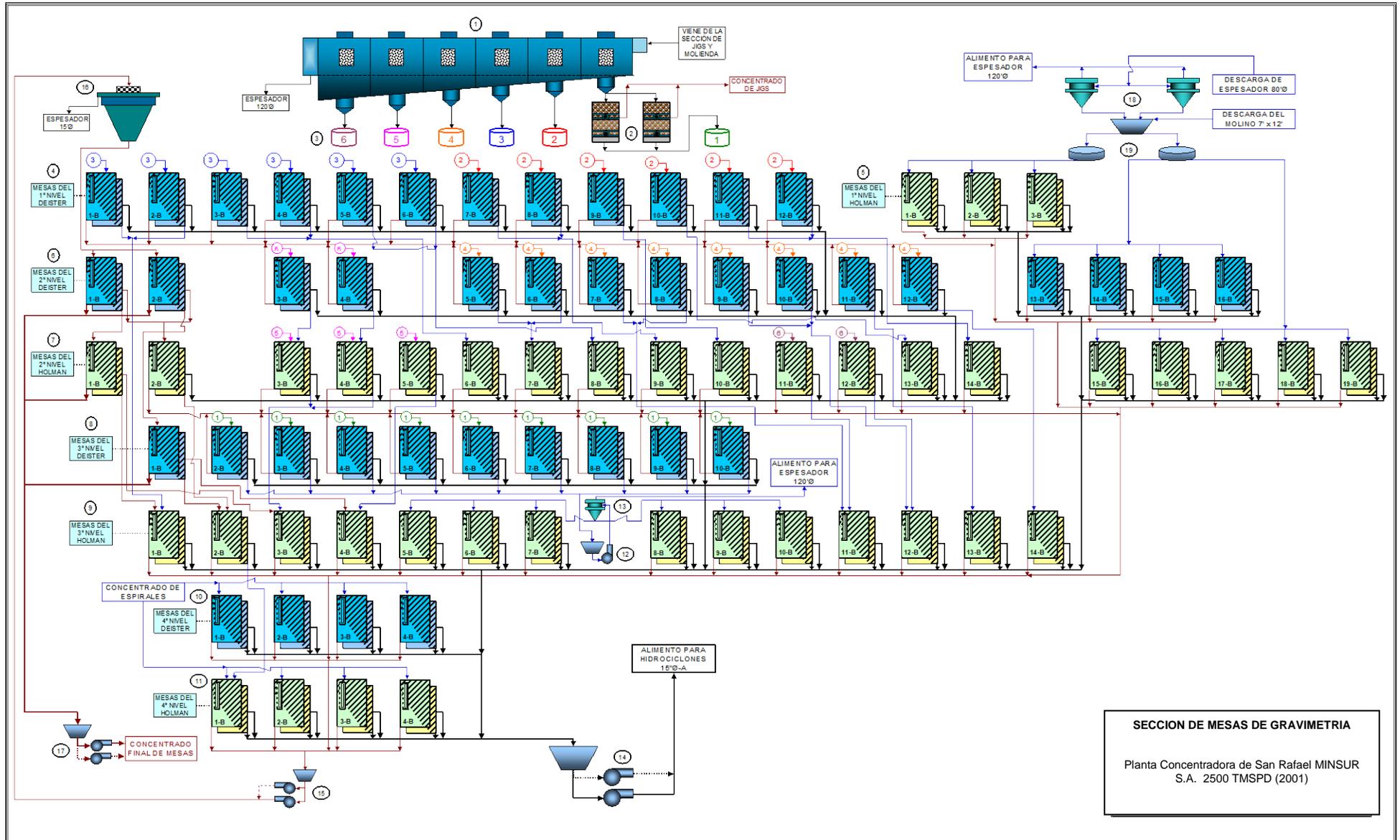
Leyenda de la sección de trituración primaria, secundaria y terciaria	
Ítem	Descripción
1	Rompedor de rocas Kent - 40HP
2	Parrilla Fija-24'x22' (abertura 20"x20")
3	Tolva
4	Alimentador de orugas-4'x15' - 2.4 HP
5	Faja transportadora - 4'x15' - 1.2HP
6	Chancadora de quijada 2u - 24"x36" - 75HP
7	Faja transportadora - 42"x19' - 6.5HP
8	Faja transportadora - 30"x182' - 40HP
9	Electroimán-30"x25"x7"
10	Faja transportadora móvil - 30"x65' - 16.5HP
11	Tolvas de concreto 6u - c/u capacidad 350 tn
12	Alimentadores Eriez 4u-105B - 30"x84"-16HP Alimentadores Eriez 8u-95B - 30"x60"-14HP
13	Faja transportadora - 30"x124' - 15HP
14	Faja transportadora - 30"x34' - 12HP
15	Electromagneto - 30"x30"x8" - 3HP
16	Zaranda vibratoria de 2 pisos Allis Chalmers - 5'x14' (Abertura Superior 2"x2" y Abertura Inferior 5/16"x1/2") - 30 HP
17	Trituradora conica Symons 4 1/4' (Aber. 1") - 240HP
18	Faja transportadora-(CHS 3) - 30"x119' - 24 HP
19	Electroimán - 24"x20"x6"
20	Tolva de paso
21	Faja transportadora - 30"x102' - 24HP
22	Faja transportadora - 30"x97' - 18HP
23	Zaranda vibratoria de 1 piso Allis Chalmers-7'x18'-(Abertura. 5/16"x1/2") - 40HP
24	Zaranda vibratoria de 1 piso Allis Chalmers-5'x14'-(Abertura 5/16"x1/2") - 40HP
25	Trituradora conica Symons SH4 1/4"(Abertura 9/32") - 240HP
26	Trituradora cônica Nordberg HP500(Abertura 9/32") - 240HP
27	Faja transportadora - 24"x15' - 5HP
28	Faja transportadora - 24"x53' - 15HP
29	Faja transportadora - 24"x80' - 18HP
30	Faja transportadora - 24"x19' - 4HP
31	Faja transportadora - 24"x121' - 20HP
32	Cortadores manuales 10u
33	Tolvas de concreto 5u - c/u capacidad 500 tn
34	Alimentadores Eriez 9u-85B - 30"x45"-10HP Alimentadores Eriez 11u-65B- 25"x40"- 6.5HP
35	Faja transportadora - 30"x134' - 12HP

ANEXO 2



Leyenda de la sección de jigs y molienda	
Ítem	Descripción
0	Faja transportadora 30"x134' – 12HP
1	Faja transportadora 24"x20' – 4.8HP
2	Faja transportadora 24"x117' – 20HP
3	Faja transportadora 24"x172' – 25HP
4	Cortadores manuales 3u
5	Zarandas Vibratorias Allis Chalmers 3u- 5'x14' (Abertura 22mm x 4mm) – 35HP
6	Jigs Triplex Bendelari 42'x 42' - 12u (Abertura 22mm x 2.5mm) – 12HP
7	Clasificador helicoidal-48"Ø – 12HP
8	Faja transportadora 24"x67' – 18HP
9	Molino de barras 9 1/2'x13' – 600HP
10	Bomba 2u - 10"x8" – 80HP
11	Distribuidor 6'Øx4 1/2'
12	Clasificador helicoidal 36"Ø - 3u – 6.6HP
13	Distribuidor 4'Øx4 1/2'
14	Jigs Triplex Bendelari 42'x 42' - 12u - 12HP
15	Bomba 5"x4" - 4u - 45HP
16	Distribuidor 6'Øx4 1/2'
17	Clasificador helicoidal 42"Ø - 2u - 12HP
18	Molino de bolas 8'x8' - 2u - 300HP
19	Bomba 5"x4" - 1u - 45HP
20	Distribuidor 4'Øx4 1/2'
21	Jigs Duplex Bendelari - 6u - 3.6HP
22	Bomba 4"x3" - 2u - 12HP
23	Bomba 10"x8" - 2u - 95HP
24	Distribuidor 6'Øx4 1/2'
25	Zaranda vibratoria Derrick 5'x14' - 4u - 10HP
26	Bomba 10"x8" - 4u - 95HP
27	Hidrociclones 15"Ø - (2 baterías de 6 ciclones)
28	Stokes - 2u – (6 compartimentos) – 12HP
29	Espesador 120'Ø
30	Espesador 70'Ø
31	Bomba 10"x8" - 2u - 95HP

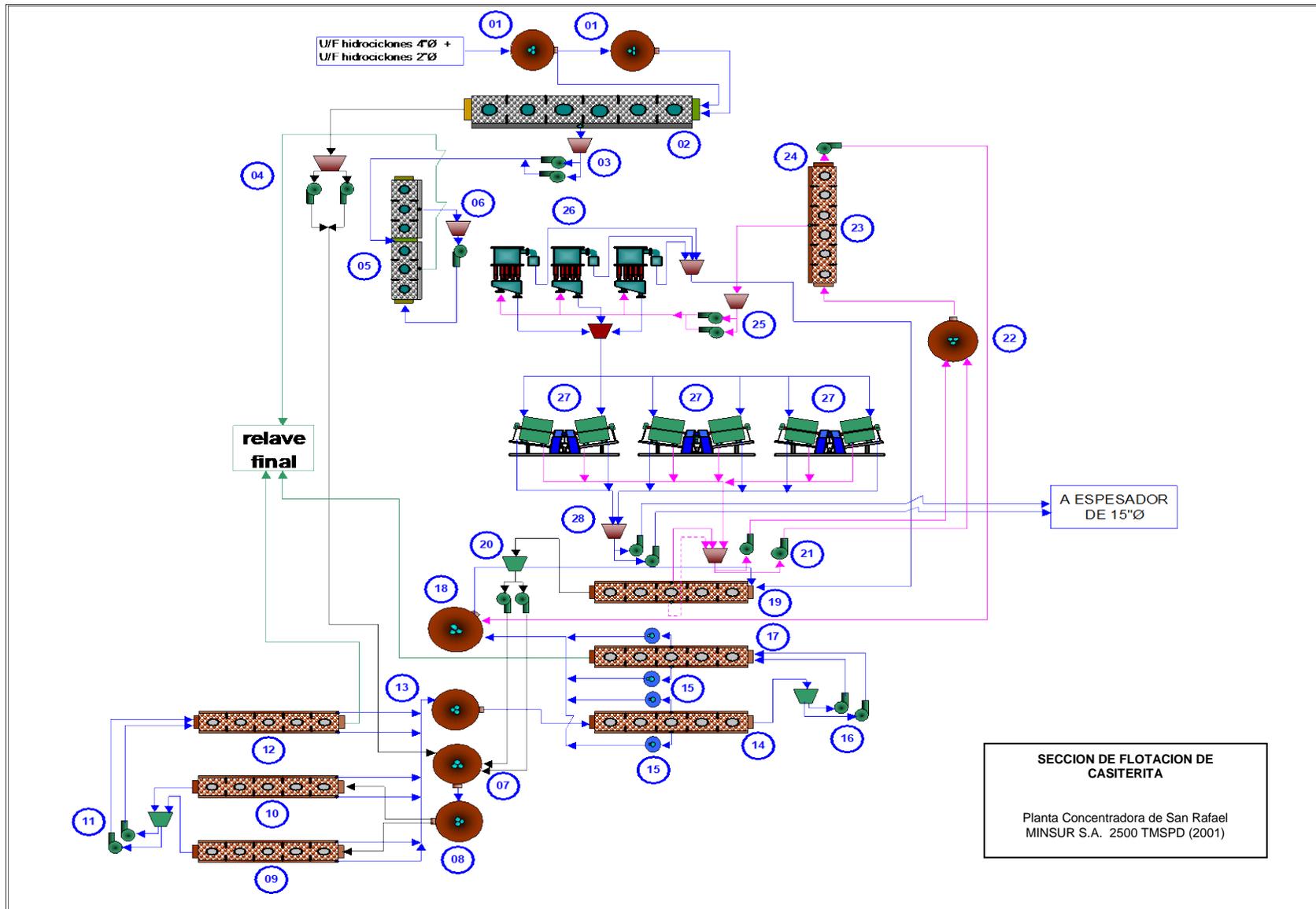
ANEXO 3



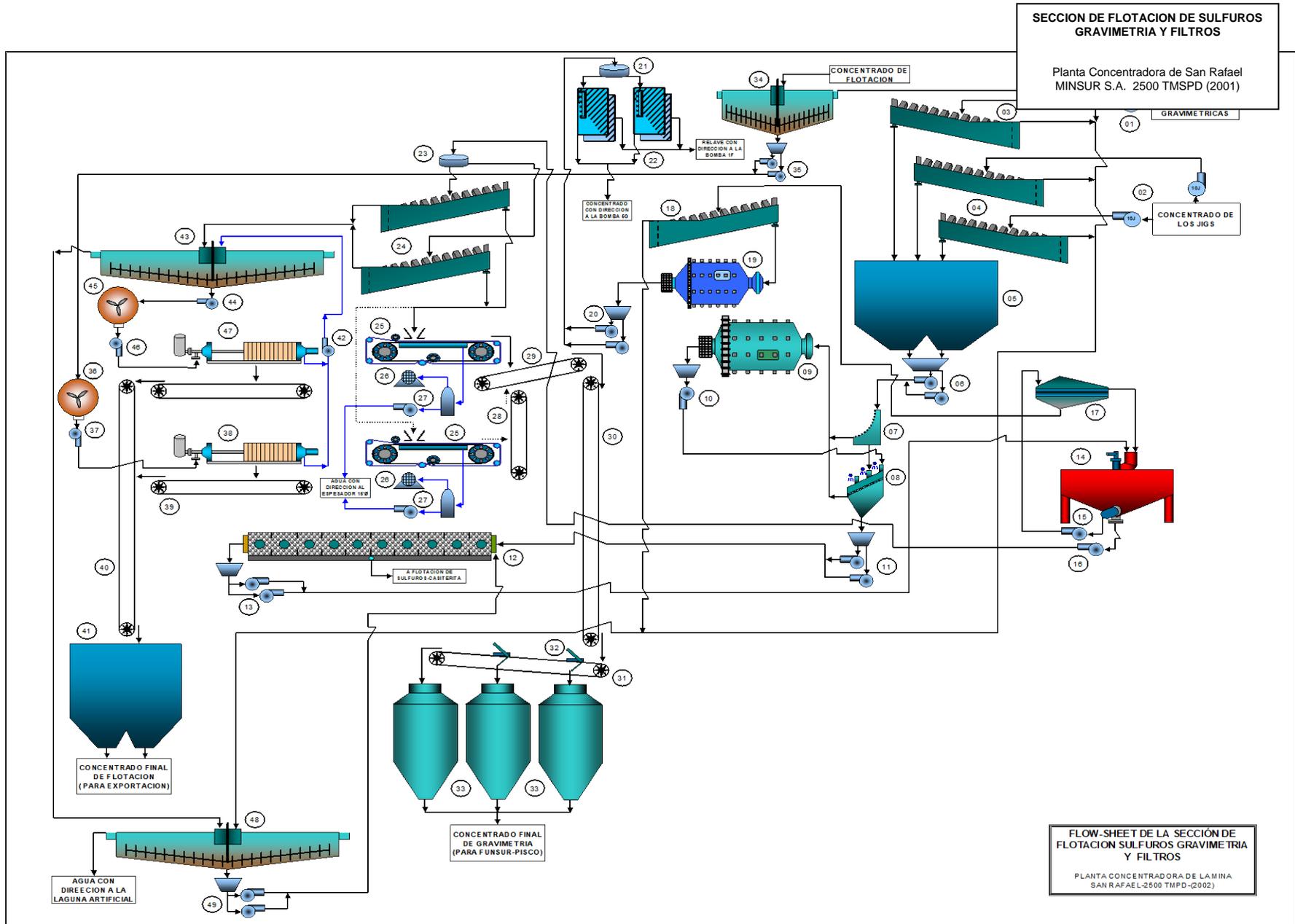
Leyenda de la sección de mesas de gravimetría	
Ítem	Descripción
1	Stokes-2u-(6compartimentos) – 1.2HP
2	Jigs Duplex - 2u - 3.6HP
3	Spigots-Distribuidores-10u-3'Øx3'
4	Mesas 1º Nivel Deister (dobles) -10u-6.5'x14' - 3HP
5	Mesas 1º Nivel Holman (dobles)-3u-6.5'x14' - 2HP
6	Mesas 2º Nivel Deister (dobles)-16u-6.5'x14' - 3HP
7	Mesas 2º Nivel Holman (dobles)-19u-6.5'x14' - 2HP
8	Mesas 3º Nivel Deister (dobles)-10u-6.5'x14' - 3HP
9	Mesas 3º Nivel Holman (dobles)-14u-6.5'x14' - 2HP
10	Mesas 4º Nivel Deister (dobles)-4u-6.5'x14' - 3HP
11	Mesas 4º Nivel Holman (dobles)-4u-6.5'x14' - 2HP
12	Bomba 5"x4"-2u - 45HP
13	Hidrociclón 4"Ø(18 ciclones)
14	Bomba 12"x10"-2u - 120HP
15	Bomba 4"x3"-2u - 10HP
16	Cono Desagador
17	Bomba 4"x3"-2u - 10HP
18	Hidrociclones-(2 baterías de 12 ciclones)-2"Ø
19	Distribuidor-2u-4'Øx3 ½'

Leyenda de la sección de remolienda y deslame	
Ítem	Descripción
1	Bomba-2u-12"x10" – 120HP
2	Hidrociclón (6ciclones)15"Ø-A
3	Distribuidor
4	Molino de bolas 7'x8' – 310HP
5	Molino de bolas 7'x12' - 350HP
6	Bomba 5"x4"-2u - 45HP
7	Bomba 5"x4"-2u - 45HP
8	Distribuidor
9	Espirales(5 baterías de 10espirales)
10	Bomba 2u-4"x3" - 18HP
11	Bomba 2u-8"x6" - 100HP
12	Hidrociclón (6ciclones)15"Ø-B
13	Molino vertical -3 ½ x 48 - 500HP
14	Bomba 2u-12"x10" - 120HP
15	Bomba 2u-8"x6" - 60HP
16	Espesador 120'Ø
17	Bomba 2u-12"x10" - 120HP
18	Hidrociclones (2 baterías de 18 ciclones)-4"Ø
19	Bomba 2u-12"x10" - 120HP
20	Hidrociclones (2 baterías de 48 ciclones)-2"Ø
21	Bomba 2u-12"x10" - 120HP
22	Hidrociclones (3 baterías de 36 ciclones)-1 3/4"Ø

ANEXO 5



Leyenda de la sección de flotación de casiterita	
Ítem	Descripción
1	Acondicionador-2u-8'x8' - 18HP
2	Celdas DR-300(5celdas)-1500 pies ³ - 35HP
3	Bomba 2u-2 ½"x2" - 10HP
4	Bomba 2u-8"x6" - 50HP
5	Celdas DR-180(6 celdas)-1080 pies ³ - 25HP
6	Bomba vertical-2u-2 ½" - 35HP
7	Acondicionador-12'x12'-A - 18HP
8	Acondicionador-12'x12'-B - 18HP
9	Celdas DR-500(5 celdas)-2500 pies ³ - 40HP
10	Celdas DR-500(5 celdas)-2500 pies ³ - 40HP
11	Bomba-2u-8"x6" - 50HP
12	Celdas DR-500(5 celdas)-2500 pies ³ 40 HP
13	Acondicionador-12'x12'-C - 18HP
14	Celdas DR-300(5 celdas)-1500 pies ³ - 30HP
15	Bomba vertical-4u-6" - 18HP
16	Bomba centrífuga-5"x4"-2u - 40HP
17	Celdas DR-300(5 celdas)-1500 pies ³ - 30HP
18	Acondicionador-12'x12'-D - 18HP
19	Celdas DR-300(5 celdas)-1500 pies ³ - 30HP
20	Bomba centrífuga-5"x4"-2u - 40HP
21	Bomba centrífuga-5"x4"-2u - 40HP
22	Acondicionador-6'x6' - 10HP
23	Celdas DR-180(6 celdas)-1080 pies ³ - 25HP
24	Bomba centrífuga-2u-2 ½"x2" - 10HP
25	Bomba centrífuga-2u-4"x3" - 18HP
26	Hidrociclones Mozley 1 ¾"Ø
27	Separadores Multigarvimetricos(MGS)-6 tambores-5HP
28	Bomba centrífuga 2u-4"x3" - 18HP



Leyenda de la sección de flotación de sulfuros de gravimetría y filtros	
Ítem	Descripción
01	Bomba 4"x3"-2u - 10HP
02	Bomba 4"x3"-2u - 10HP
03	Clasificador helicoidal 36"Ø-1u - 12HP
04	Clasificador helicoidal 30"Ø-2u - 12HP
05	Tolva de concentrados
06	Bomba 5"x4"-2u - 35HP
07	Zaranda estacionaria Dorr-Oliver
08	Zaranda Derrick-(vibratoria) - 10HP
09	Molino de bolas 5'x6' - 100HP
10	Bomba 4"x3"-2u - 10HP
11	Bomba 4"x3"-2u - 18HP
12	Celdas Sub-A 30 (10 celdas)-1080 pies ³ -18HP
13	Bomba 2 ½"x2"-2u - 6.6HP
14	Jig Centrifugo Kelsey-J1300 - 35HP
15	Bomba 4"x3"-2u - 18H
16	Bomba 4"x3"-2u - 18HP
17	Zaranda Sisetec - 10HP
18	Clasificador helicoidal 36"Ø - 6.6HP
19	Molino de bolas 4'x4' - 75HP
20	Bomba 4"x3"-2u - 18HP
21	Distribuidor
22	Mesas gravimetricas-(A y B)-2u-6.5'x14' - 3HP
23	Distribuidor
24	Clasificador helicoidal 36"Ø-2u - 6.6HP
25	Filtro Delkor-2u - 4HP
26	Bomba de vacío NASH 1003-4u - 60HP
27	Bomba 2 ½"x2" - 2u - 18HP
28	Faja-01 FG-24"x15' - 4HP
29	Faja-02 FG-24"x30' - 4HP
30	Faja-03 FG-24"x135' - 4HP
31	Faja-04 FG-24"x35' - 4HP
32	Cortadores manuales-2u
33	Tolvas cónicas-3u-(concentrado gravimetría)
34	Espesador-15'Ø - 6.6HP
35	Bomba-2u-4"x3" - 10HP
36	Agitador - 8'x10' - 6.3HP
37	Bomba ASH-2u-2 ½"x2" - 20HP
38	Filtro de placas Eimco-15 m ² - 10HP
39	Faja-01 FF y 02 FF -2u-42"x15' - 4HP
40	Faja-03 FF-24"x64' - 4HP
41	Tolva de concentrado de flotación

Leyenda de la sección de flotación de sulfuros de gravimetría y filtros	
Ítem	Descripción
42	Bomba-2u-5"x4" - 35HP
43	Espesador-40'Ø - 4.8HP
44	Bomba 5"x4"-2u - 35HP
45	Agitador 6'x6' - 4HP
46	Bomba 4"x3"-2u - 6.6HP
47	Filtro de placas Eimco-10 m ² - 4HP
48	Espesador-40'Ø - 4.8HP
49	Bomba-2u-4"x3" - 6.6HP

ANEXO 7**RESULTADOS DE OTRAS PRUEBAS EXPERIMENTALES CON EL JIG KELSEY**

En la tabla 19, se presenta algunos de los resultados de las pruebas experimentales con el Jig Kelsey J200, obtenidos con muestras de diversos puntos de la Planta Concentradora de San Rafael, éstos valores que se muestran han sido seleccionados en base a aquellos resultados donde se obtuvo una mejor ley de estaño en el concentrado, y una alta recuperación.

TABLA 19. RESULTADOS DE OTRAS PRUEBAS EXPERIMENTALES CON EL JIG KELSEY														
GIRO (Hz)	PULSA- CION (Hz)	AMPLITUD DE PULSACION (mm)	AGUA DE PULSACION (lts/min)	ABERTURA DE MALLA DEL JIG	TIPO DE MATERIAL DE CAMA	TAMAÑO DE PARTÍCULAS DE CAMA(µm)	G.E. DE LA CAMA	CONCENTRADO		RELAVE		ALIM. CALCULADO		RECUP. (%)
								Kg/hr	LEY (%Sn)	Kg/hr	LEY (%Sn)	Kg/hr	LEY (%Sn)	
MUESTRA: DESCARGA DEL MOLINO VERTICAL														
38	45	2.8	6.0	300	GRANATE	500-710	4	2.3	10.47	36.9	0.82	39.2	1.39	44.6
MUESTRA: DESCARGA DEL MOLINO 7'x12'														
38	50	2.8	8.0	300	GRANATE	500-710	4	2.9	10.99	23.1	0.84	26.0	1.98	62.4
MUESTRA: ALIMENTO PARA LOS ESPIRALES														
40	50	2.8	7.0	300	GRANATE	500-710	4	3.3	10.99	36.5	0.27	39.8	1.16	78.6
MUESTRA: ALIMENTO DE LA ETAPA SCAVENGER DE FLOTACION														
35	45	2.8	11.0	200	GRANATE	500-600	4	6.5	1.76	15.1	0.27	21.6	0.72	73.7

GIRO (Hz)	PULSA- CION (Hz)	AMPLITUD DE PULSACION (mm)	AGUA DE PULSACION (lts/min)	ABERTURA DE MALLA DEL JIG	TIPO DE MATERIAL DE CAMA	TAMAÑO DE PARTÍCULAS DE CAMA(μm)	G.E. DE LA CAMA	CONCENTRADO		RELAVE		ALIM. CALCULADO		RECUP. (%)
								Kg/hr	LEY (%Sn)	Kg/hr	LEY (%Sn)	Kg/hr	LEY (%Sn)	
MUESTRA: SPIGOT 6 (SPIGOT : RECIPIENTE DISTRIBUIDOR DE LA DESCARGA DEL COMPARTIMENTO 6 DEL STOKE)														
40	45	2.8	8.0	200	GRANATE	500-600	4	4.8	10.61	24.5	0.35	29.3	2.03	85.6
MUESTRA: SPIGOT 5 (SPIGOT : RECIPIENTE DISTRIBUIDOR DE LA DESCARGA DEL COMPARTIMENTO 6 DEL STOKE)														
40	40	2.8	8.0	200	GRANATE	500-600	4	1.9	18.97	20.9	0.58	22.8	2.11	74.8
MUESTRA: SPIGOT 4 (SPIGOT : RECIPIENTE DISTRIBUIDOR DE LA DESCARGA DEL COMPARTIMENTO 6 DEL STOKE)														
40	45	2.8	8.0	200	GRANATE	500-600	4	1.2	26.03	23.7	0.79	24.9	2.01	62.5
MUESTRA: SPIGOT 3 (SPIGOT : RECIPIENTE DISTRIBUIDOR DE LA DESCARGA DEL COMPARTIMENTO 6 DEL STOKE)														
35	40	2.8	12.0	200	GRANATE	500-600	4	2.2	40.29	27.4	0.96	29.6	3.88	77.1
MUESTRA: DESCARGA DEL ESPESADOR 80'Ø														
40	40	2.8	4.6	300	GRANATE	500-600	4	5.7	3.01	10.7	0.73	16.4	1.52	68.7
MUESTRA: ALIMENTO PARA LOS HIDROCICLONES 4"Ø (SECCION DE DESLAME)														
40	40	2.8	8.0	200	GRANATE	500-600	4	1.8	9.69	14.5	0.65	16.3	1.65	64.9
MUESTRA: ALIMENTO PARA LOS HIDROCICLONES 15"Ø-B (SECCION DE DESLAME)														
37.5	40	2.8	9.0	200	GRANATE	500-600	4	2.3	12.55	47.1	0.91	49.4	1.45	40.2

GIRO (Hz)	PULSA- CION (Hz)	AMPLITUD DE PULSACION (mm)	AGUA DE PULSACION (lts/min)	ABERTURA DE MALLA DEL JIG	TIPO DE MATERIAL DE CAMA	TAMAÑO DE PARTÍCULAS DE CAMA(μm)	G.E. DE LA CAMA	CONCENTRADO		RELAVE		ALIM. CALCULADO		RECUP. (%)
								Kg/hr	LEY (%Sn)	Kg/hr	LEY (%Sn)	Kg/hr	LEY (%Sn)	
MUESTRA: CONCENTRADO DE LOS ESPIRALES														
38	40	2.8	13.0	300	MAGNETITA	600-850	5	5.1	13.55	36.1	1.18	41.2	2.71	61.9
MUESTRA: CONCENTRADO DE LA ETAPA ROUGHER DE FLOTACION														
35	40	2.8	8.5	300	MAGNETITA	600-850	5	6.8	8.51	16.8	2.23	23.6	4.04	60.7
MUESTRA: CONCENTRADO DE LAS MESAS DE GRAVIMETRIA														
38	40	2.8	13.0	300	MAGNETITA	600-850	5	2.9	57.26	4.2	8.17	7.1	28.22	82.9
MUESTRA: SPIGOT 1 (SPIGOT : RECIPIENTE DISTRIBUIDOR DE LA DESCARGA DEL COMPARTIMENTO 6 DEL STOKE)														
35	45	2.8	12.0	300	MAGNETITA	600-850	5	1.8	38.37	58.5	1.44	60.3	2.54	45.1
MUESTRA: SPIGOT 2 (SPIGOT : RECIPIENTE DISTRIBUIDOR DE LA DESCARGA DEL COMPARTIMENTO 6 DEL STOKE)														
35	45	2.8	14.0	300	MAGNETITA	600-850	5	1.8	36.34	40.0	0.79	41.8	2.32	67.4
MUESTRA: RELAVE ACTUAL														
30	37	2.8	6.0	300	GRANATE	500-600	4	2.7	8.87	29.5	0.62	32.2	1.31	56.7
MUESTRA: RELAVE ANTIGUO														
40	40	2.8	12.0	300	GRANATE	500-600	4	3.0	13.63	50.0	0.79	53.0	1.52	50.9

ANEXO 8

DESCRIPCIÓN GENERAL DEL CONCENTRADOR FALCON Y RESULTADOS DE LAS PRUEBAS EXPERIMENTALES EN LA PLANTA CONCENTRADORA DE SAN RAFAEL

El concentrador FALCON es diseñado específicamente para la concentración de partículas finas pesadas. El material que comienza a ser procesado es sujeto aun campo de fuerza de hasta 300 veces la gravedad.

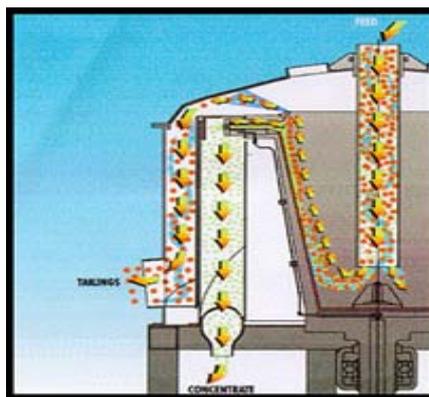
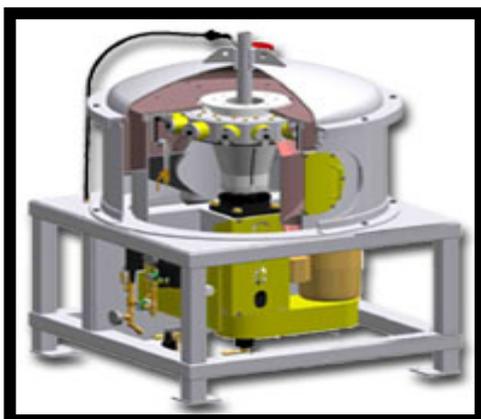


Figura 13.
El
concentra-
dor Falcon
y sus
secciones
internas.

El alimento a un concentrador Falcon es clasificado teniendo aproximadamente partículas menores a 1mm esto es dependiendo de la aplicación que se vaya a dar después de ser tratado por el equipo Falcon, luego este alimento es introducido como una pulpa a través de un tubo de alimentación central y vertical y es acelerado por un impulsor. La rápida estratificación de acuerdo a la gravedad especifica que existe entre las partículas es conducida hacia arriba de donde el derrame es a través de la

pared de la línea de caucho del rotor (zona de migración) esto es debido a la influencia del inmenso campo de gravedad que ocurre dentro del equipo. El tamaño del campo es variado de acuerdo al cambio de proporción de revolución del rotor con una variable frecuencia de energía. El concentrado de fracción pesada es retirado continuamente a través de una serie de orificios regulables distribuidos de modo uniforme alrededor de la circunferencia del rotor. El tamaño de orificio apropiado es determinando el rango de concentrado producido requerido, finos ajustes son conseguidos cambiando la velocidad del rotor. El concentrado producido es proporcional al campo de fuerza centrífugo aplicado. La densidad de pulpa de la fracción pesada es muy alta, frecuentemente en excesos de 80% de sólidos, dependiendo sobre las características del material que se comenzara a procesar.

El concentrado es apretado y comprimido a través de los orificios regulables hechos de carburo de tungsteno y depositados en una artesa de forma de anillo el cual a su vez tiene dos descargas en puntos opuestos. Estos dos puntos de descarga son requeridos con la condición de que tenga suficiente pendiente y permitir que la alta densidad de pulpa sea descargada fácilmente. Mientras que el relave es descargado a otra artesa y tiene un solo punto de descarga.

Los concentradores Falcon modelos "C" (C400, C1000, C2000, C4000) ofrecen 4 tamaños en capacidad para el tratamiento de minerales siendo el de mayor capacidad el de 100TPH, 45% sólidos (máximo) y un tamaño de partícula de 16 mallas (máximo). El modelo C4000 es el de mayor dimensión (236 cm. x 236 cm. x 350 cm.) y tiene una capacidad de tratamiento de 100 TPH.

El modelo C400 realiza la concentración gravimétrica, el cual esta diseñado para pruebas piloto y la producción en la aplicación del rango de 1 a 4.5 TPH. Este modelo es pequeño (122cm x 122cm x 165cm) pero suficiente para ser usado en un laboratorio, no obstante es suficiente para una correcta predicción de la realización en un mas amplio equipo Falcon. Parámetros tales como el tonelaje de alimentación, densidad de pulpa, campo centrífugo, y recuperación en peso del concentrado pueden ser ajustados mientras que el equipo esta operando sin la necesidad de parar el equipo, haciendo un proceso de optimización rápido y económico. La alimentación a la unidad es necesario que sea clasificado a partículas menores a 1 mm (16 mallas).

El modelo C400 fue el que se usó para las pruebas experimentales en la Planta Concentradora de San Rafael, las cuales se hicieron en el año 2001. Un resumen de estas pruebas se detalla en la tabla 20.

**RESULTADOS DE LAS PRUEBAS EXPERIMENTALES CON EL CONCENTRADOR FALCON C400, EN LA PLANTA
CONCENTRADORA DE SAN RAFAEL**

En la tabla 20, se presenta algunos de los mejores resultados (alto %Sn en el concentrado y buena recuperación) de las pruebas experimentales con el Concentrador Falcon C400, obtenidos con muestras de diversos puntos de la Planta Concentradora de San Rafael.

TABLA 20. RESULTADOS DE PRUEBAS EXPERIMENTALES CON EL CONCENTRADOR FALCON C400									
MUESTRA	PARAMETROS DEL CONCENTRADOR FALCON			ALIMENTO			CONCENTRADO	RELAVE	RECUP. (%)
	DIAMETRO DE LIP (PULGADAS)	ROTACION (HERTZ)	THROTTLE (PSI)	TPSH	% SOLIDO	LEY (%Sn)	LEY	LEY	
							(%Sn)	(%Sn)	
SPIGOT 6	7	70	152	2.09	33	2.72	16.13	0.75	75.96
	6	50	150	1.68	47	2.01	3.55	0.93	72.84
SPIGOT 5	6	50	160	3.16	38	2.01	8.22	1.08	53.27
	7	65	168	2.92	40	1.90	16.68	0.63	69.47
SPIGOT 4	7	50	150	2.00	45	2.28	12.23	0.68	74.31
SPIGOT 3	7	50	137	2.88	30	2.31	4.00	0.82	81.13
DESCARGA ESPESADOR 70' Ø	7	70	160	0.93	12	2.04	4.19	0.76	76.72
DESCARGA MOLINO VERTICAL	7	70	145	1.88	22	1.51	3.67	0.65	69.21
COLA SCAVENGER	5	70	158	1.03	16	0.67	0.94	0.45	62.99
	7	70	155	0.96	15	0.89	1.85	0.54	55.92
RELAVE ANTIGUO	5	65	150	1.81	20	1.03	1.34	0.64	72.48
COLA SULFUROS GRAVIMETRIA	7	40	140	0.85	30	52.5	63.1	27.8	84.10

ANEXO 9

COMPARACIÓN DE PRUEBAS EXPERIMENTALES:

FALCON Y JIG KELSEY

La Tabla 21, muestra una comparación de los mejores resultados de las pruebas experimentales realizadas en la Planta Concentradora de San Rafael, entre el Jig Kelsey J200 y el Concentrador Falcon C400.

TABLA 21. COMPARACION DE PRUEBAS EXPERIMENTALES: JIG KELSEY Y FALCON								
MUESTRAS	PRUEBAS EXPERIMENTALES CON FALCON C400				PRUEBAS EXPERIMENTALES CON JIG KELSEY J200			
	%Peso Conc.	Conc. (%Sn)	Relave (%Sn)	Recup. (%)	%Peso Conc.	Conc. (%Sn)	Relave (%Sn)	Recup. (%)
SPIGOT 6	22.4	16.1	0.75	76.0	16.2	10.6	0.35	85.5
SPIGOT 4	20.6	12.2	0.68	74.3	2.4	40.4	0.85	54.3
SPIGOT 3	26.0	4.0	0.82	81.1	3.1	21.3	0.90	42.8
DESCARGA MOLINO VERTICAL	27.5	3.7	0.65	69.2	13.7	5.0	0.77	50.5
COLA SCAVENGER	38.4	0.9	0.45	63.0	18.7	4.8	0.38	74.2
RELAVE ANTIGUO	57.5	1.3	0.64	72.5	2.5	28.9	0.79	51.0
COLA DE GRAVIMETRIA	70.6	63.1	27.8	84.1	63.4	72.4	6.08	95.4



Figura 23.
El Concentrador Falcon C400 en la Planta Concentradora de San Rafael.