



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA Y
METALÚRGICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA METALÚRGICA



**OPTIMIZACIÓN DE LA GRANULOMETRÍA DEL MINERAL EN
LA ETAPA ROUGHER PARA MEJORAR LA CONCENTRACIÓN
DEL ESTAÑO EN LA ETAPA CLEANER EN LABORATORIO
METALÚRGICO DE LA UNIDAD MINERA SAN RAFAEL –
MINSUR**

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. WILSON ELMER CHOQUEHUAYTA NINA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO METALURGISTA

PUNO – PERÚ

2022



DEDICATORIA

Esta tesis la dedico a Dios, que me guio por el buen camino, me dio fuerzas para seguir adelante y no derrumbarme en las dificultades que se presentaban, enseñándome a enfrentar las adversidades sin perder nunca la decencia ni debilitarme en el intento.

Para mis queridos padres Efraín Choquehuayta y Silveria Nina por su soporte, consejos, perspicacia en los momentos mas difíciles, y por apoyarme con los recursos para culminar mis estudios. Me han dado todo lo que soy como persona, mis principios, mi caracter, mis valores, mi intrepidez, mi firmeza, mi empeño para obtener mis objetivos.

A mis hermanos por estar siempre a mi lado, acompañándome y dedicar su apoyo, muchas veces orientar en el papel de padre.

A mí esposa e hijos José Gabriel, Emmy y Emily por ser mi fuente de inspiración, motivacion y felicidad para poder destacar cada día más y así poder batallar cada dia para que la vida nos depare un futuro excelente.

A mis magistrales docentes sin esperar nada a cambio, han sido cimientos en mi camino y así formar parte de este gran logro que abre puertas inconcebibles en mi mejora profesional.

Wilson Elmer Choquehuayta Nina



AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional del Altiplano Puno, por darme la oportunidad y ser mi alma mater en mi vida estudiantil, y así ofrecer la oportunidad de ser profesional.

A los docentes de la Universidad Nacional del Altiplano, Facultad de Ingeniería Geología y Metalúrgica Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica, por su entrega y el haberme enseñado a amar mi escuela durante mi vida universitaria.

A todos mis compañeros de trabajo por su gran apoyo que ha hecho viable el progreso de este estudio, por sus versadas observaciones que me han resultado de gran provecho para el trabajo de investigación.

A mis jurados del proyecto, quienes me ayudaron con sus alineaciones durante el progreso hasta la terminación de este trabajo de investigación, equivalentemente agradezco a los catedráticos de la Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica por brindarme sus sapiencias durante mis estudios universitarios.

Finalmente corresponder a mis amigos por ofrecer su amistad, que durante la vida estudiantil coexistieron fuente de fortaleza y progreso de momentos únicos, de gran apoyo y confianza para la superación y logro de la culminación de la etapa universitaria

Wilson Elmer Choquehuayta Nina



ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE TABLAS

ABREVIATURAS

RESUMEN 12

ABSTRACT..... 13

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 15

1.1.1. Problema general..... 16

1.1.2. Problemas específicos 16

1.2. HIPOTESIS DE LA INVESTIGACION..... 17

1.2.1. Hipótesis general 17

1.2.2. Hipótesis específicas 17

1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN..... 17

1.3.1. Objetivo general 17

1.3.2. Objetivos específicos..... 18

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES DEL PROYECTO 19

2.2. MARCO TEORICO 22

2.2.1. La empresa minera San Rafael – Minsur 22



2.2.2. El estaño	23
2.2.3. Procesos metalúrgicos para el tratamiento del estaño	25
2.2.4. Concentración gravimétrica	27
2.2.5. Métodos gravimétricos	30
2.2.6. Preparación mecánica de los minerales.....	33
2.2.7. La flotación de minerales	38
2.2.8. Tipos de flotación.....	39
2.2.9. Definición de flotación rougher	40
2.2.10. Definición de flotación cleaner	40
2.2.11. Definición de flotación scavenger.....	40
2.2.12. Definición de número de mallas o granulometría	40

CAPÍTULO III

MÉTODOS Y MATERIALES

3.1. DISEÑO, NIVEL Y TIPO DE LA INVESTIGACION.....	43
3.1.1. Diseño de la investigación.....	43
3.1.2. Nivel de la investigación	43
3.1.3. Tipo de la investigación	44
3.2. DESCRIPCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	44
3.2.1. Primer objetivo.....	44
3.2.2. Segundo objetivo.....	45
3.3. UBICACIÓN	46
3.4. POBLACIÓN	46
3.5. MUESTRA	46



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. PROCESO DE CONCENTRACIÓN GRAVIMÉTRICA.....	48
4.1.1. Descripción de las instalaciones.....	48
4.1.2. Chancado primario	50
4.1.3. Chancado Secundario.....	51
4.1.4. Chancado terciario.....	51
4.1.5. Molienda y concentración gravimétrica.....	52
4.1.6. Molienda primaria.....	52
4.1.7. Espirales	53
4.1.8. Concentración por flotación.....	58
4.1.8.1. Manejo de relaves	60
4.2. DETERMINACIÓN DE LA GRANULOMETRÍA ÓPTIMA	
(EXPERIMENTACIÓN)	61
4.2.1. Determinación de la granulometría a experimentar	62
4.2.2. Preparación mecánica de la muestra	68
4.2.3.	75
4.2.4. Concentración etapa rougher.....	76
4.2.5. Etapa de flotación sulfuros.....	80
4.2.6. Etapa de concentración gravimétrica cleaner.....	82
4.2.7. Experimento N° P-1	87
4.2.8. Experimento N° P-2	90
4.2.9. Experimento N° P-3	93
4.3. VALOR ÓPTIMO DE GRANULOMETRÍA.....	96
4.4. DISCUSION DE RESULTADOS.....	100



V. CONCLUSIONES.....	102
VI. RECOMENDACIONES	103
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	104
ANEXOS.....	108

ÁREA : Metalurgia Extractiva.

TEMA: Concentración gravimétrica.

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 15 de Noviembre del 2022



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Fuerza de Arrastre de una Partícula.....	29
Figura 2	Esquema de Separación en Medios Densos.....	31
Figura 3	Características de los Métodos de Separación por Corrientes.....	33
Figura 4	Muestreo manual.....	36
Figura 5	Muestreo Correcto e Incorrecto en un Riffle.....	37
Figura 6	Comparación de un muestreador manual y de riffle.....	38
Figura 7	Bloques Planta Concentradora San Rafael	50
Figura 8	Sección Chancado San Rafael	52
Figura 9	Sección Molienda San Rafael	54
Figura 10	Sección Molienda, Concentración Gravimétrica	56
Figura 11	Sección filtrado flotacion. ultrafinos San Rafael	58
Figura 12	Sección flotación san rafael	60
Figura 13	Sección de relaves san rafael	61
Figura 14	Análisis de la granulometría con mayor recuperación por diagrama de pareto 80-20.	67
Figura 15	Toma de la muestra en la faja JM 02.....	68
Figura 16	Trasvasado, rotulado de la muestras en bandejas.....	69
Figura 17	Secado de la muestra en un horno a 300 °F.....	69
Figura 18	Chancado Primario de Mandíbulas.....	70
Figura 19	Chancadora de rodillos, chancado de retenido.....	71
Figura 20	Fotografía de la homogenización de la muestra	72
Figura 21	Pasos de homogeneización de la muestra.....	72
Figura 22	Cuarteo por conos de la muestra.....	73
Figura 23	Fotografías del cuarteo de la muestra.....	74



Figura 24	Obtención del peso del rechazo de las mallas.....	74
Figura 25	Muestra del pasante y rechazo de la malla 40Ty.	75
Figura 26	Molienda del rechazo de la malla 40Ty.....	76
Figura 27	Etapas de concentración rougher del experimento.....	77
Figura 28	Gráfico de la cinética de moliendabilidad.	79
Figura 29	Producto de la concentración mesa rougher.	80
Figura 30	Proceso de flotación de sulfuros.	81
Figura 31	Etapas de concentración Cleaner, final del experimento.....	83
Figura 32	Etapas de concentración cleaner, final del experimento.	85
Figura 33	Productos de la concentración gravimétrica mesa cleaner.	86
Figura 34	Proceso de experimentación P-1.....	87
Figura 35	Proceso de experimentación P-2.....	90
Figura 36	Proceso de experimentación P-3.....	93
Figura 37	Gráfico del resumen de experimentación.	97



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Operaciones y proyectos de la empresa minera minsur.	23
Tabla 2	Intervalo de Tamaño de Partículas a Separar y Equipos Sugerido.	32
Tabla 3	Tabla de conversión de número de malla (U.S.) a milímetros y pulgadas.....	42
Tabla 4	Muestra de la Investigación.....	47
Tabla 5	Reportes Diarias del Mes de Enero, Antes de Realizar la Experimentación (pre-test).	63
Tabla 6	Reporte diario del mes de enero según la granulometría alimentada.....	65
Tabla 7	Análisis del 20% de mallas alimentadas con mejor concentración.....	66
Tabla 8	20% de las granulometrías que fueron seleccionados para realizar pruebas de laboratorio según Pareto.....	67
Tabla 9	Tamizado Y Chancado	70
Tabla 10	Parámetros de operación de la mesa Rougher.....	77
Tabla 11	Análisis de la granulometría de alimentación a mesa rougher.....	78
Tabla 12	Parámetros de operación en las celdas de flotación de sulfuros.	81
Tabla 13	Parámetros de operación de la mesa Vibratoria Cleaner.....	83
Tabla 14	Análisis de la granulometría de alimentación a mesa vibratoria cleaner	84
Tabla 15	Resultados del experimento número P-1.....	89
Tabla 16	Experimento número P-2.	92
Tabla 17	Resultados de experimento número P-3.....	95
Tabla 18	Resumen de los experimentos corridos.....	96
Tabla 19	Reporte diario de la recuperación del circuito de concentración gravimétrica del mes de marzo (post-test).....	98



ABREVIATURAS

Metros	m
Centímetros	cm
Gramos	g
Kilogramos	kg
Densidad	d
Volumen	V
Pulgadas	p
Segundo	s
Probabilidad	p
Unidad internacional	IU
Hora	h
Pies	'



RESUMEN

El presente trabajo de investigación titulado “OPTIMIZACIÓN DE LA GRANULOMETRÍA DEL MINERAL EN LA ETAPA ROUGHER PARA MEJORAR LA CONCENTRACIÓN DEL ESTAÑO EN LA ETAPA CLEANER EN LABORATORIO METALÚRGICO DE LA UNIDAD MINERA SAN RAFAEL MINSUR”, se realizó para optimizar y mejorar la concentración en planta. Se determinó que uno de los problemas centrales de la unidad minera es la baja concentración del estaño en la etapa de mesa vibratoria cleaner, debido a esto se planteó el objetivo de optimizar la granulometría en la alimentación en la etapa de mesa vibratoria rougher en el laboratorio metalúrgico, para lograr dicho objetivo, la metodología de la investigación es de tipo y diseño experimental, con un enfoque cuantitativo y profundidad aplicativa por lo cual la aplicación de los instrumentos se determinó y se analizaron hechos reales y actuales de dicho problema planteado. Por lo tanto, se logró los siguientes resultados; el tiempo de molienda óptima se logró incrementando a 14 minutos y 18 segundos y la granulometría óptima de D80 de 298 μm de granulometría en la alimentación a la mesa rougher y con un D80 de 166 μm de granulometría en la alimentación a mesa vibratoria cleaner, reflejando un 63.24% de concentración de estaño. Por lo tanto, se concluye que la optimización de la granulometría en la etapa de concentración gravimétrica mesa vibratoria rougher es beneficioso para la mayor concentración del estaño en la etapa cleaner.

Palabras Clave: Concentración, Estaño, Granulometría, Optimizar, Pruebas.



ABSTRACT

The present research work entitled "OPTIMIZATION OF THE ORE GRANULOMETRY IN THE ROUGHER STAGE TO IMPROVE THE TIN CONCENTRATION IN THE CLEANER STAGE IN THE METALLURGICAL LABORATORY OF THE SAN RAFAEL MINSUR MINING UNIT ", was carried out to optimize and improve the concentration in the plant. It was determined that one of the central problems of the mining unit is the low concentration of tin in the cleaner vibratory table stage , due to this the objective of optimizing the grain size in the feed in the rougher vibratory table stage in the laboratory was raised. metallurgical, to achieve this objective, the research methodology is of an experimental type and design, with a quantitative approach and applicative depth for which the application of the instruments was determined and real and current facts of said problem were analyzed. Therefore, the following results were achieved; the optimum grinding time was achieved by increasing to 14 minutes and 18 seconds and the optimum grain size of D80 of 298 μm grain size in the feed to the rougher table and with a D80 of 166 μm grain size in the feed to the vibrating cleaner table , reflecting a 63.24% concentration of tin. Therefore, it is concluded that the optimization of the particle size in the gravimetric concentration stage vibrating table rougher is beneficial for the higher concentration of tin in the cleaner stage .

Palabras Clave: Concentration, Tin, Granulometry, Optimize, Tests.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

La concentración gravimétrica se puede definir como la dispersión de minerales de desiguales densidades relativas, por su movimiento relativo, respondiendo a la gravedad y a algunas fuerzas, que frecuentemente son la última resistencia al movimiento que ofrece un flujo viscoso, como el agua.

La optimización de los parámetros de operación en el proceso de extracción y concentración de minerales es el trabajo que conlleva a diario, especialmente en la granulometría del mineral a concentrar, puesto que esto es un factor importante para mejorar la recuperación y la calidad del concentrado en el proceso metalúrgico.

En Minsur, uno de los parámetros con más frecuencia a optimizar es la granulometría del mineral en la etapa rougher la cual tiene como finalidad mejorar la concentración del mineral en la etapa cleaner. La pregunta central del trabajo es ¿Cuál es la granulometría óptima en la etapa de rougher que mejore la concentración del estaño en la etapa de cleaner? La hipótesis central es demostrar lo beneficioso que es optimización de la granulometría en la etapa rougher para mejorar la concentración del estaño en la etapa cleaner. El objetivo central es optimizar la granulometría del mineral en la etapa rougher para mejorar la concentración del estaño en la etapa cleaner.

El porqué para realizar esta tesis de investigación es obtener el parámetro óptimo de la granulometría o la malla adecuada en la alimentación de la concentración en la etapa rougher para obtener una concentración mayor en la etapa cleaner.

El propósito de este trabajo de investigación es buscar la granulometría óptima de la alimentación del mineral a la etapa rougher.



Objetivo I, establecer y describir el proceso de conminución del mineral antes de la alimentación del mineral al circuito de concentración gravimétrica.

Objetivo II, realizar la optimización del parámetro de concentración la cual es la granulometría de alimentación a la etapa rougher.

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La concentración gravimétrica se puede definir como la dispersión de minerales de desiguales densidades relativas, por su movimiento relativo, respondiendo a la gravedad y a algunas fuerzas, que frecuentemente son la última resistencia al movimiento que ofrece un flujo viscoso, como el agua.

La optimización de los parámetros de operación en el proceso de extracción y concentración de minerales es el trabajo que conlleva a diario, especialmente en la granulometría del mineral a concentrar, puesto que esto es un factor importante para mejorar la recuperación y la calidad del concentrado en el proceso metalúrgico.

En Minsur, uno de los parámetros con más frecuencia a optimizar es la granulometría del mineral en la etapa rougher la cual tiene como finalidad mejorar la concentración del mineral en la etapa cleaner. La pregunta central del trabajo es ¿Cuál es la granulometría óptima en la etapa de rougher que mojara la concentración del estaño en la etapa de cleaner? La hipótesis central es demostrar lo beneficioso que es optimización de la granulometría en la etapa rougher para mejorar la concentración del estaño en la etapa cleaner. El objetivo central es optimizar la granulometría del mineral en la etapa rougher para mejorar la concentración del estaño en la etapa cleaner.



El porqué para realizar esta tesis de investigación es obtener el parámetro óptimo de la granulometría o la malla adecuada en la alimentación de la concentración en la etapa rougher para obtener una concentración mayor en la etapa cleaner.

El proposito de este trabajo de investigación es buscar la granulometría optima de la alimentación del mineral a la etapa rougher.

Objetivo I, establecer y describir el proceso de conminucion del mineral antes de la alimentación del mineral al circuito de concentración gravimétrica.

Objetivo II, realizar la optimización del parámetro de concentración la cual es la granulometría de alimentación a la etapa rougher.

1.1.1. Problema general

¿Cuál es la granulometría optima en la etapa de mesa vibratoria rougher que mojara la concentración del estaño en la etapa de concentración mesa vibratoria cleaner en laboratorio metalúrgico de la Unidad Minera San Rafael – Minsur?

1.1.2. Problemas específicos

¿Cuáles son los procesos de preparación mecánica del mineral antes de la etapa de concentración mesa vibratoria rougher que mejore el proceso de concentración en el laboratorio metalúrgico de la Unidad Minera San Rafael – Minsur?

¿Cuál será la granulometría optima del mineral en la etapa de mesa vibratoria rougher que mejore el porcentaje de concentración del mineral en la etapa de concentración mesa vibratoria cleaner en el laboratorio metalúrgico de la Unidad Minera San Rafael – Minsur?



1.2. HIPOTESIS DE LA INVESTIGACION

1.2.1. Hipótesis general

Con la optimización de la granulometría del mineral en la etapa de mesa vibratoria rougher en el laboratorio metalúrgico de la Unidad Minera San Rafael – Minsur, se logró mejorar la concentración del estaño en la etapa de concentración gravimétrica mesa vibratoria cleaner.

1.2.2. Hipótesis específicas

- Con la descripción del proceso de preparación mecánica del mineral antes de la etapa de mesa vibratoria rougher se mejora el proceso de concentración del mineral en el laboratorio metalúrgico de la Unidad Minera San Rafael – Minsur.
- Con la determinación de la granulometría óptima del mineral en la etapa de mesa vibratoria rougher se mejora el porcentaje de concentración en la etapa de concentración gravimétrica mesa vibratoria cleaner en el laboratorio metalúrgico de la Unidad Minera San Rafael – Minsur.

1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1. Objetivo general

Optimizar la granulometría del mineral en la etapa de mesa vibratoria rougher para mejorar la concentración del estaño en la etapa de concentración gravimétrica mesa vibratoria cleaner en laboratorio metalúrgico de la Unidad Minera San Rafael – Minsur.



1.3.2. Objetivos específicos

- Describir los procesos de preparación mecánica del mineral antes de la etapa de mesa vibratoria rougher que mejora el proceso de concentración del mineral en el laboratorio metalúrgico de la Unidad Minera San Rafael – Minsur.
- Determinar la granulometría óptima del mineral en la etapa de mesa vibratoria rougher que mejora el porcentaje de concentración en la etapa de concentración gravimétrica mesa vibratoria cleaner en el laboratorio metalúrgico de la Unidad Minera San Rafael – Minsur.



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES DEL PROYECTO

Se halló antecedentes de investigación, que se usaron como referencia en el desarrollo de esta tesis; los antecedentes encontrados algunos no son evidentemente concernientes al tema de desarrollo, pero algunos si serán de gran apoyo para remediar nuestros problemas planteados.

En la investigación de Vilcapoma & Chávez (2012). En su tesis experimental de pregrado titulado, “Prueba experimentales a nivel de laboratorio de concentración gravimétrica y flotación de minerales de oro en la planta de concentracion "Caselita" en Condorama - Cuzco.” (tesis de grado) Universidad Nacional del Centro del Perú, puso a prueba la teoría de que el concentrador falcón es un equipos muy versátil y productivo en comparación con los equipos tradicionales, su esquema empezó con un tratamiento de concentración gravimétrica y se procedió a llevar a la flotación los relaves del concentrador falcón y finalmente el equipo fue probado con minerales de baja ley dando como resultado la afirmación de la teoría del concentrador falcón.

En la investigación de Sucapuca (2019). Titulado, “Optimizar la recuperación de oro y plata aplicando los procesos de flotación y cianuración a los relaves provenientes de los tratamientos gravimétricos en la zona de Las Lomas – Piura”, (tesis de grado) de la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, su proyecto consistió en buscar la recuperación optima de los relaves del proceso gravimétrico, para obtener resultados utilizo la tecnología de flotación y lixiviación, para compararlas, llego a determinar la granulometría conveniente para la flotación y posteriormente aplicar la lixiviación por



cianuración, también obtuvo el P80 y logro una mejor recuperación variando parámetros de flotación.

En la investigación de Morales (2013). Titulado, “Recuperación individual de concentrados gravimétricos de un mineral aurífero”, (informe técnico) Universidad Nacional de Ingeniería, concluye que: Según las pruebas metalúrgicas desarrolladas que llevo a una asimilación de la recuperación individual de un concentrado gravimétrico con la recuperación por flotación, junto con el desarrollo del test GRG de un mineral característico de planta y finalmente realizo un análisis de los resultados adquiridos en los ensayos metalúrgicas y el test GRG, dando como resultado mayores recuperaciones utilizando la técnica mencionada.

En la investigación de Canal (2018). Titulado, “Simulación del proceso de flotación inversa de concentrados de minerales de Wolframio y Pirita”, (tesis doctoral) Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, su objetivo fue realizar la flotación inversa de la pirita al concentrado de minerales de wolframio en mesas gravimétricas y poder mejorar el concentrado en las colas y flotar pirita. Los parámetros fueron las siguientes 100% pasante malla 20 y molida a 64.8% pasante malla 200. Para la flotación sus variables fueron el % sólidos, dosificación de colector y modificador de pH. La cantidad de ensayos de flotación fue diecisiete pruebas. El valor más alto obtenido es de 89.43% de mineral de pirita para el experimento central. Con estos resultados obtenidos de la experimentación, realizó ajuste mediante mínimos cuadrados y obtuvo el modelo matemático. Con los siguientes valores óptimos de 30.43% de sólidos, 8.23 g/TM de colector y 8.90 de pH. El incremento de WO₃, es alrededor de 12 puntos, alcanzando el sobresaliente valor 49.14%.



En la tesis de grado de Díaz (2015). Titulado, "Evaluación del tamaño de partícula en el proceso de flotación para la recuperación de Oro Grueso", Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, concluye que: La recuperación de oro y plata no es casi siempre el reflejo, los niveles de recuperación logrados en sus ensayos metalúrgicos del estudio de factibilidad del proyecto. Menciona que para la recuperación de oro existen dos métodos, concentrador centrífugo falcón y flotación flash en las que obtuvo recuperaciones de 88.4% del oro a nivel laboratorio las cuales son muy superiores a la gravimetría de 22.57% de oro.

En la tesis de grado de Ponce (1986). Titulado, "Estudio metalúrgico por flotación de los sulfuros de plata de la unidad minera San Juan Lucanas", Universidad Nacional de Ingeniería, menciona que en el país que es de escasos capitales tenemos la obligación de realizar industria con el capital que se tiene, en menos tiempo y con muy poco error. La metalurgia en nuestro país es muy antigua que no se sabe los tiempos de su origen, las antiguas culturas peruanas conocían el arte de moldear piezas de oro, plata y cobre, tal como demuestran en los hallazgos de los arqueólogos a lo largo del territorio peruano. La cultura inca fue una de las culturas que fueron metalurgistas del oro, plata y cobre; utilizando estos metales para formar sus adornos, armas y herramientas, los incas fueron los aplicadores de la pirometalurgia a través de hornos de fundición, con esto concluye que en el Perú no se tiene capital, pero si con diversos minerales y metales, lo cual debería de ser aprovechada con las herramientas que se tiene.



2.2. MARCO TEORICO

2.2.1. La empresa minera San Rafael – Minsur

La empresa minera Minsur realiza sus operaciones hace más de cuarenta años y se ha diferenciado por su compromiso con la responsabilidad. Siempre a la vanguardia de cumplir los estándares de calidad y los estándares de seguridad, empleando equipos de última tecnología y es regida por los estándares medioambientales vigentes.

Tiene operaciones en las diferentes etapas y proyectos en los diferentes ciclos mineros manejados con un sistema riguroso de gestión, siempre atentos a la prevención de riesgos. Así es como garantiza el desarrollo de las comunidades la salud, seguridad y el medio ambiente.

Como parte del proceso de mejora continua, logra ser aceptados en el Consejo Internacional de Minería y Metales (ICMM por sus siglas en Ingles), una entidad que está conformada por 27 empresas mineras mejores de todo el mundo y hasta más de 30 asociados regionales. La visión del ICMM es lograr que la industria minera sea confiable y respetada que trabaja responsablemente contribuyendo en el desarrollo sostenible. Minsur es la única minera peruana y la 3ra de Latinoamérica siendo el primer extractor de estaño a nivel mundial en ingresar a este concejo.

La cantidad de concesiones logradas es la cifra de 248,452 hectáreas: a 223,716 pertenecen a las operaciones en Perú y 25,125, a Brasil.

Tabla 1

Operaciones y proyectos de la empresa minera minsur.

	Ubicación	Empresa	Unidad/proyecto	Productos principales
Operacion	Puno, Ica, Perú	Minsur S. A.	UM San Rafael PFR Pisco	Estaño
	Tacna, Perú	Minsur S. A.	UM Pucamarca	Oro
	Sao Paulo, Brasil	Mineração Taboca S. A.	UM Pitinga PFR Pirapora	estaño y ferroaleaciones
Proyectos de exploración	Puno, Perú	Minsur S. A.	Santo Domingo	Estaño
	Puno, Perú	Minsur S. A. Compañía	Nazareth	Cobre
	Huancavelica, Perú	Minera Barbastro S. A.C	Mina Marta	Cobre
Proyectos de expansión	Ica, Perú	Marcobre S. A.C	Mina Justa	Cobre
	Puno, Perú	Minsur S. A.	Reaprovechamiento de Relaves B2	Estaño
Minas en cierre	Puno, Perú	Huancavelica, Perú. Compañía	Mina Regina	NA
	Huancavelica, Perú	Minera Barbastro S. A. C.	Mina Marta	NA

Nota. memoria anual Minsur (Guez, 2018, p.8)

Nota: la tabla muestra las operaciones, el tipo de mineral que extrae en cada una de ellas y los proyectos que tiene actualmente la empresa minera Minsur.

2.2.2. El estaño

Es un elemento de la tabla periódica con número atómico 50 una masa atómica de 118,69 y su símbolo es “Sn”; es un metal que presenta un color blanco plateado, muy dúctil, maleable y de estructura cristalina, que naturalmente se allá en él mineral de casiterita y se usa como hojalata como preservador en la capa superficial de objetos de



cobre, para fabricar latas y objetos similares, aleaciones, en soldadura, en la industria aeroespacial y como ingrediente de algunos insecticidas. (Oxford, 2021, párrafo 1)

2.2.2.1. Mineralogía del estaño

El Sn se encuentra normalmente en el mineral de casiterita con un contenido de 85% más de estaño. Y también en el bronce que es la primera aleación hecha por el hombre con 3 a 20% de estaño y lo demás por cobre.

2.2.2.2. Características del estaño

- Nombre del elemento: Estaño (Stannum)
- Origen del nombre: Del latín stagnun: estaño (lata)
- Descubridor: El elemento ha sido conocido desde la antigüedad.
- Año de descubrimiento: desconocido
- Número atómico (Z): 50
- Masa atómica (A): 118,7100
- Grupo: a14
- Período: a5
- Configuración electrónica: [Kr] 4d105s25p2
- Radio atómico: 145apm
- Estado de agregación: sólido
- PE: 2602a°C
- PF: 231,93a°C

2.2.2.3. Características generales.

El estaño según la investigación en la web tiene las siguientes características:



Es un metal perteneciente al grupo IV con el símbolo Sn, es de color blanco plateado que puede formar compuestos, así como sales complejas. Las aleaciones realizadas por el hombre se remontan a los años 3000 a.c. pero nunca se supo cuando se aisló el metal las antiguas civilizaciones lo usaron para hacer bronce y realizar monedas. (ciencias, 2020, párrafo 2)

2.2.3. Procesos metalúrgicos para el tratamiento del estaño

2.2.3.1. Concentración

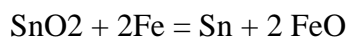
Según lo que menciona el autor Gilchrist (1989). Clasifica el estaño según su fracción a continuación: Se logra mejores concentraciones y clasificación gravimétrica con el uso de concentradores gravimétricos como el jigs y para las fracciones más densas con mesas, produciendo con bastante facilidad de un concentrado hasta del 50% de estaño. El proceso de minerales de yacimientos profundos es más complicado y a veces se utilizan etapas separadas solo para separar impurezas individuales, por ejemplo, proceso magnético de la wolframita ((FeMn)WO₄); la flotación para desechar sulfuros, la tostación clorurante seguida de la lixiviación para apartar Cu, Fe, Zn, etc. SnO₂ es demasiado frágil y se debe sobremoler. Químicamente es muy refractario y regularmente se queda en el residuo después de cada proceso. La flotación de casiterita usando ácido oleico como colector es; esto excluye los periodos de cloruración y lixiviación. (capítulo 13, p. 15, párrafo 4)

2.2.3.2. Extracción

En definición, según la información encontrada en el libro la extracción del estaño por la pirometalurgia se describe:



Primeramente, se realiza la fusión primaria en un horno adecuado a carbón, se obtiene un estaño casi limpio con una escoria con mayor cantidad de estaño entre 10 y 30% de estaño, para este proceso es necesario más de 1250°C de temperatura para lograr la reducción del estaño de la escoria producida. Esta escoria líquida se procede a tratar con piedra caliza y carbón con temperaturas mucho más mayor para lograr una aleación del 95% de estaño y 5% de hierro, aun así, sigue la existencia del estaño en la escoria, el producto obtenido se vuelve a tratar con alimentación fresca y escorificantes silíceas para que pueda ocurrir la siguiente reacción. (Gilchrist, 1989, p. 15)



escarificándose el FeO con SiO₂.

Debido al valor de estaño, que aún es apreciable (cerca de \$U.S. 2.50/libra fina), se maneja la volatilización de estaño de las escorias de fusión, para descartar escorias finales con 0.2% de estaño. Esto es pirometalurgia típica. La escala de las operaciones es frecuentemente pequeña o mediana. El proceso de minerales sulfurosos puede iniciarse con una volatilización cuyo fruto típico sería un concentrado de polvillos de SnO₂ con 50% Sn. (Gilchrist, 1989, p. 15, párrafo 5)

2.2.3.3. Refinación

Para realizar la refinación del concentrado de estaño según el siguiente autor describe lo siguiente:

Gilchrist (1989). El mineral de estaño procedentes de los aluviales necesita poca refinación para remover hierro (FeSn₂) y al final con aire inyectado al metal o con vapor. El proceso de licuación es fundir el lingotes de estaño crudo en un pequeño reverbero inclinado que accede al estaño líquido fluir libre a una temperatura justo por encima de



su punto de fusión, dejando sólidos a los residuos de “cabeza dura”. Las Aleaciones con menor contenido de estaño pueden licuarse a mayores temperaturas. El estaño de menas complejas, filonianas, también debe ser licuado, pero además requiere otras etapas de refinación para eliminar otras impurezas. Mediante drosseo (drossing – enfriamiento lento para producir sólidos insolubles) se eliminan Fierro y Zinc por oxidación, el Cobre se elimina con la añadidura de azufre y agitación, añadidura de Aluminio esto elimina Ástato, antimonio y Plomo se excluye por cloruración o por refinación al vacío, en este caso también se eliminan Bismuto, y parcialmente Ástato y antimonio; si no se cuenta con refinación al vacío, Bismuto logra eliminarse con dosificación de Cal y Magnesio. Bismuto se elimina fácilmente mediante cristalización controlada, con la utilización de un “cristalizador chino” de uso relativamente simple y efectivo. Todos estos métodos también son pirometalurgia típica. Puede utilizar electrólisis para eliminar Fierro, Plomo, Bismuto, Antimonio, Ástato y Cobre, pero es un proceso lento y caro. (capitulo 13, p. 15, párrafo 6)

2.2.4. Concentración gravimétrica

2.2.4.1. Principios de la concentración gravimétrica.

El proceso de concentración gravimétrica se realiza con el uso de concertadores por gravimetría estos equipos y procesos aprovechan la gravedad.

El método de separación por gravimetría separa las partículas de minerales de diferentes densidades respondiendo a un movimiento a la gravedad o a otras fuerzas como la viscosidad de un fluido que es lo que ejerce la última resistencia al movimiento. La sedimentación libre de las partículas en un fluido de volumen grande con respecto al volumen total de las partículas, la acumulación de las partículas es despreciable. Para un



buen dispersado de pulpa de mineral, la sedimentación libre predomina cuando el porcentaje de solido es inferior a 15%. (Carvajal & Chávez, 2015).

“Considere una partícula esférica de diámetro d y la densidad D_f cae por gravedad en un fluido viscoso de densidad D_f bajo las condiciones libres de sedimentación” (Carvajal & Chávez, 2015).

“Sobre la partícula actúan tres fuerzas: la fuerza de la gravedad actuando hacia el centro de la tierra o abajo, la otra fuerza de flotación hacia arriba debido al desplazamiento del fluido, y una fuerza de arrastre D actuando hacia arriba. La ecuación de movimiento de las partículas es:” (Carvajal & Chávez, 2015).

$$mg - m'g - D = m \left(\frac{dx}{dt} \right)$$

Ecuación 1. Ecuación del movimiento de una partícula.

Donde:

m : masa de la partícula.

m' : masa del fluido apartado.

x : velocidad de la partícula.

g : aceleración de la gravedad.

Cuando se alcanza la velocidad terminal $m \left(\frac{dx}{dt} \right) = 0$ entonces:

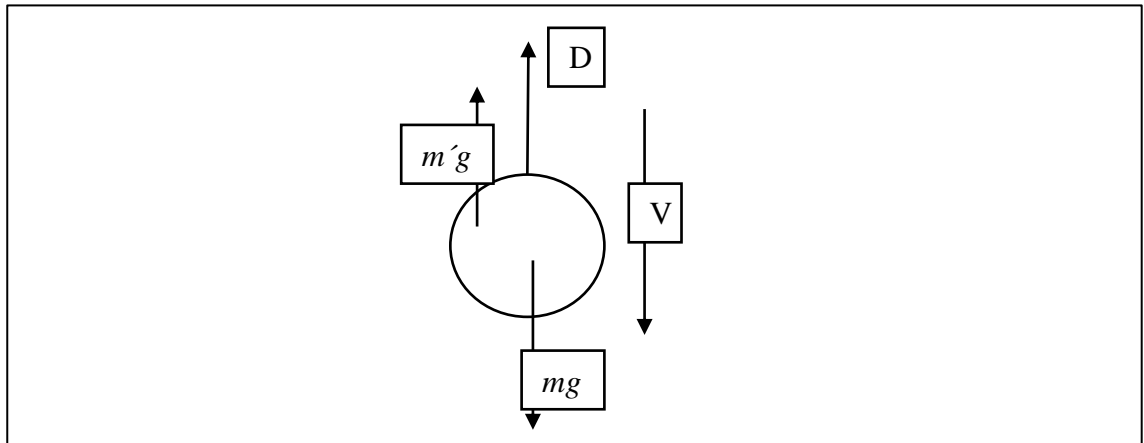
$$D = (m - m')g$$

Por lo tanto:

$$D = \frac{\pi}{6} g d^3 (D_s - D_f)$$

Ecuación 2. Volumen de una esfera.

Figura 1
Fuerza de Arrastre de una Partícula.



Nota: fuerza a las que se encuentra sometida una partícula en el seno de un fluido.

George Gabriel Stokes menciona que una fuerza de traslado sobre una partícula redonda de mineral se debe a la resistencia viscosa y concluyó la expresión:

$$D = 3\pi d n v$$

Ecuación 3. Viscosidad.

Donde:

n: viscosidad del fluido.

v: velocidad terminal.

Entonces:

Sustituyendo ecuación 3 en ecuación 2:

$$3\pi d n v = \frac{\pi}{6} g d^3 (D_s - D_f)$$

Ley de Stokes:8

$$v = \frac{g d^2 (D_s - D_f)}{18 n}$$

Ecuación 4. Ley de Stokes.



2.2.4.2. Grado de liberación

Según Michaud, (2016). “menciona como una conjunto de mineral que puede quedar separado de la ganga cuando se efectúe una determinada reducción de tamaño de la partícula. Esta liberación está en función tanto de la probabilidad de rompimiento como del tamaño al que se fragmenta”.

“Cuando un mineral se fragmenta existen en el producto mineral liberado, material estéril y productos e intermedios, en los cuales está agrupado mineral con ganga” (Michaud, 2016).

2.2.4.3. Razón de sedimentación

Es la razón del diámetro de la partícula ligera respecto al diámetro de la partícula pesada que se está sedimentando igualmente con ella en condiciones específicas de balanceo hidráulico. Las razones aumentan a medida que las velocidades de sedimentación se convierten en movimientos turbulentos, dejando de ser movimientos viscosos (Avila, 2017).

2.2.5. Métodos gravimétricos

Los metodos de concentración gravimétrica se catalogan en los siguientes tipos:

2.2.5.1. Métodos de concentración en medios densos

Este tipo de método de concentración aprovecha la densidad de los medios de separación para realizar la concentración como se explica el siguiente autor.

Cuando la densidad del medio a utilizar es intermedia a las densidades de las especies que se deseen separar. Los métodos pueden ser dinámicos o estáticos. La dispersión en estos medios es poder lograr la separación de los sólidos según su densidad

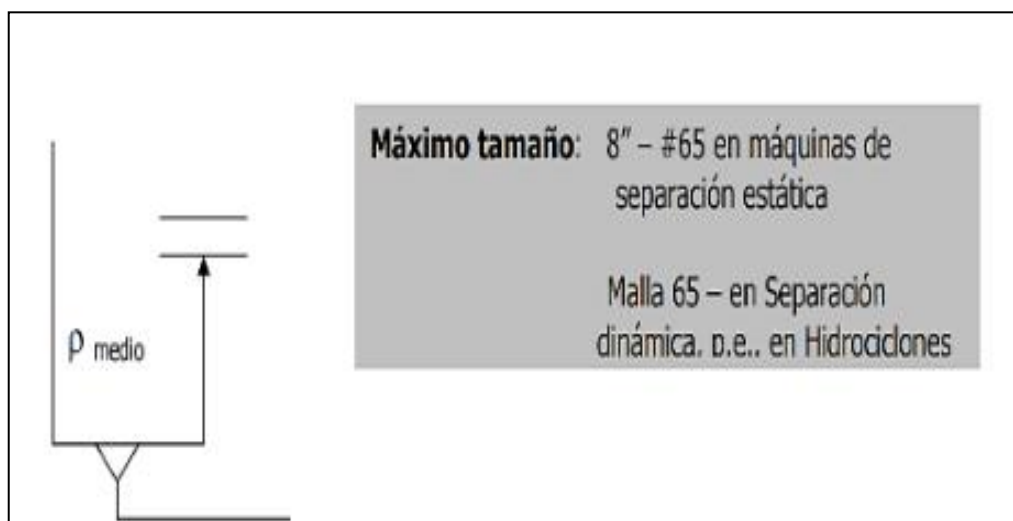
intermedia, el sólido con poca densidad flotará y la partícula con más densidad o más peso se sentará en el fondo, los medios usados normalmente son; líquidos orgánicos, las soluciones salinas, comúnmente las suspensiones de solido con una granulometría muy fina en H₂O. (Sánchez, 2011).

Para el sistema estático se emplea recipientes de diferentes formas para la concentración del mineral valioso, este proceso se realiza en medios tranquilos siempre bajo influencia de la gravedad del planeta tierra.

En este método la única fuerza que actúa es la fuerza gravitacional. La separación en los sistemas estáticos se hace en conos, estanques, vasos y tambores. Prácticamente, en este tipo de separación estática se realiza el trabajo en un rango granulométrico de 150 mm. (6") a 5 mm. (1/4"), conseguir tratar tamaños de 35,6 cm. (14") (Sánchez, 2011).

Figura 2

Esquema de Separación en Medios Densos.



Nota: cuando la densidad del fluido es igual o mayor que la densidad de las partículas livianas, se produce la separación por medios densos. (Bustamante, M. & Gaviria, A. & Restrepo, O. 2008, p.26, figura 11)

De acuerdo a la granulometria de las partículas se sugiere diferentes equipos, como se describe en la siguiente tabla:

Tabla 2*Intervalo de Tamaño de Partículas a Separar y Equipos Sugerido.*

Intervalo de tamaño		Equipo
8"	1/4"	Cono separador
20 cm.	6 mm.	
1/4"	65 mallas	Hidrociclón de medios densos
6 mm.	208 μ m.	

Nota. (Bustamante, M. & Gaviria, A. & Restrepo, O. 2008, p.26, tabla 4)

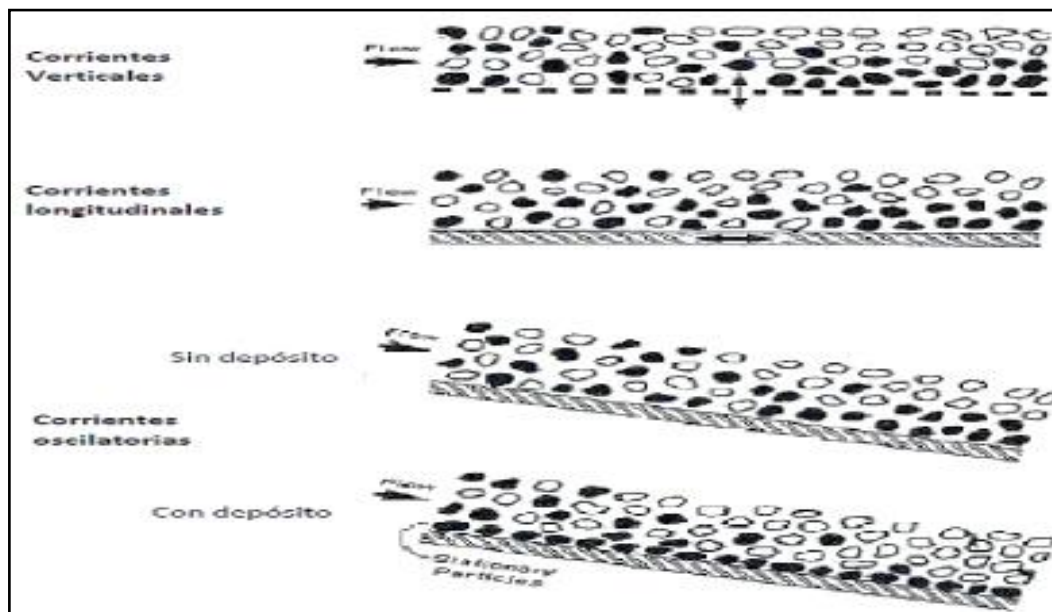
2.2.5.2. Métodos de concentración en corrientes.

Para realizar este tipo de proceso en corriente es necesario tomar en cuenta varios factores importantes que describe el siguiente autor.

En este método de separación la densidad usada del medio es menor a aquellas que de las especies se deseen separar. Existen diferentes tipos de separación en corrientes: corrientes verticales, longitudinales, oscilatorias centrifugas. Cabe recalcar que la concentración en corrientes verticales confiere características propias a los defectos en el proceso porque es la separación más significativa, y también se utiliza al jigs como uno de los equipo principal de concentración (Sánchez, 2011).

Figura 3

Características de los Métodos de Separación por Corrientes.



Nota (Sanches, 2011, p. 14, figura 1.2)

2.2.6. Preparación mecánica de los minerales

El establecimiento para la realización de un procedimiento de muestreo de materiales a granel, minerales, concentrados y relaves, los métodos usados deben cumplir varios requisitos básicos para que las muestras tomadas puedan ser representativa del material muestreado. Estas condiciones están relacionadas con el procedimiento mismo y con los equipos empleados. Los cuales en caso de mineral oro y la plata deben cumplirse rigurosamente.

2.2.6.1. Muestreo

El muestreo es uno de los procedimientos más importantes de la etapa de preparar la muestra, se caracteriza porque una cantidad mínima de mineral representa el total del mineral a tratar, según menciona el siguiente autor:

Para lograr un procedimiento de muestreo adecuado es necesario seguir ciertos parámetros, nivel de precisión requerida, variación de calidad del material a muestrear,



tamaño y número de incrementos. Los parámetros mencionados pueden ser determinados con la experimentación que dé resultados adecuados o pueden ser asumidos según las experiencias o consideraciones prácticas (Zárate, 2010, p.2).

2.2.6.2. Preparación de muestras

La preparación de muestra es el procedimiento seguido del muestreo en esta etapa lo que se realiza es la conminución, la reducción del tamaño de las partículas hasta obtener la granulometría adecuada para el proceso siguiente.

Esta es una de las etapas muy importantes, especialmente en la preparación de una muestra mineral, uno de los más importantes la división o también llamado cuarteo del mineral, y está relacionada estrechamente con el tamaño de las partículas. El método más usado y casi correcto son el uso del riffle de cuarteo, las palas fraccionadas o división por incrementos. Estos equipos que se usan para realizar el muestreo no deben estar contaminados con otro tipo de minerales, deben mantenerse sumamente limpios. (Zárate, 2010, p.3)

También se menciona lo siguiente: Además de la técnica de la división de una muestra hay otros procesos involucrados como las que se menciona; el chancado, molienda, pulverización, tamizaje, mezclado, filtración y secado. Estos procesos se deben de realizar con cuidado de no tener contaminantes o pérdidas del mineral, en donde se puede lograr hasta 8% según el equipo utilizado (Zárate, 2010, p.3).

2.2.6.3. Muestreo manual

Dentro de los métodos y dispositivos de partición manual se menciona:

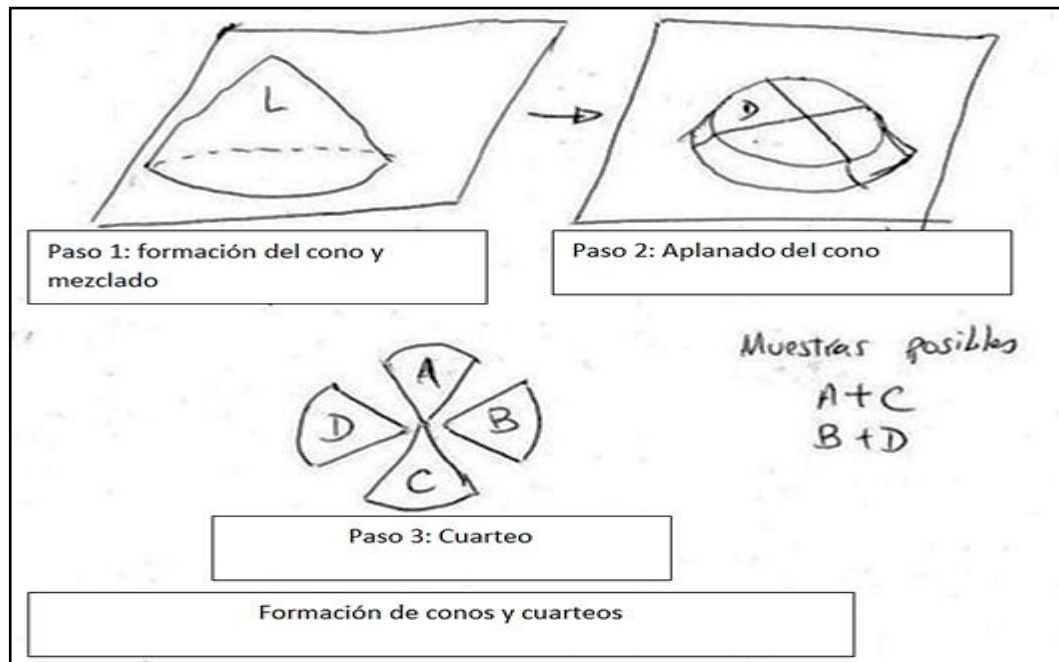
Coneo y cuarteo (Pala jigs): Este procedimiento se puede apreciar en la figura 4 paso número 1.



Este método es el mas antiguo de muestreo. También es conocido como cuarteo cornisa, su origen está en las minas de estaño de Cornwall. Su empleo fue de hasta con lotes de 50 toneladas, en la actualidad su uso se vio reducido a la cantidad de trabajo limitado para minerales de una tonelada con granulometrías de -50mm. (Blogger, 2010, párrafo 1)

- El mineral es extendido en una plancha metálica de fierro o de concreto con una superficie lisa, su aplicación es formar cónica ubicando cada palada exactamente en el ápex. Este mismo proceso se frecuenta dos o tres veces con el propósito de dar a la muestra una distribución homogénea respecto a un eje de revolución, esto es, homogeneidad rotatoria o simetría respecto a su eje vertical.
- El mineral es formado por paladas hasta darle la forma de un cono truncado y posteriormente se aplasta la parte superior hasta formar un pastel circular plano sin deformar la simetría hecha en el primer paso.
- El pastel con forma circular se procede a dividirlo en cuatro partes iguales entre sí, los dos lados opuestos son separados como la muestra y los otros dos como rechazo.
- Realizar este método requiere bastante tiempo y es costoso, además es deficiente, el paleo alternado es bastante mejor respecto a este método.

Figura 4
Muestreo manual.



Nota. (Blogger, 2010, figura 1, muestreo manual)

2.2.6.4. Riflado

El riffle es también conocido como partidor de jones este es una herramienta que consta de unos chutes del mismo tamaño de abertura y Angulo normalmente son de doce y veinte aberturas.

Los chutes están formados a un Angulo de 45° pero pueden existir riffles con chutes de ángulo de más de 45° , estos están alternados opuestamente para dirigir el mineral en dos diferentes lados a los recipientes colocados en la salida de los riffles, el mineral es alimentado por la parte superior con la ayuda de un cucharon rectangular. (Blogger, 2010, párrafo 3)

En la práctica existe un riesgo de cometer error al adicionar el mineral al partidor de riffles, en caso de que la descarga del mineral sea de manera acelerada, existe la

posibilidad de que uno de los chutes descargue más mineral que la otra, entonces una de los lados de la muestra será mayor que la otra en peso. (Blogger, 2010, párrafo 4)

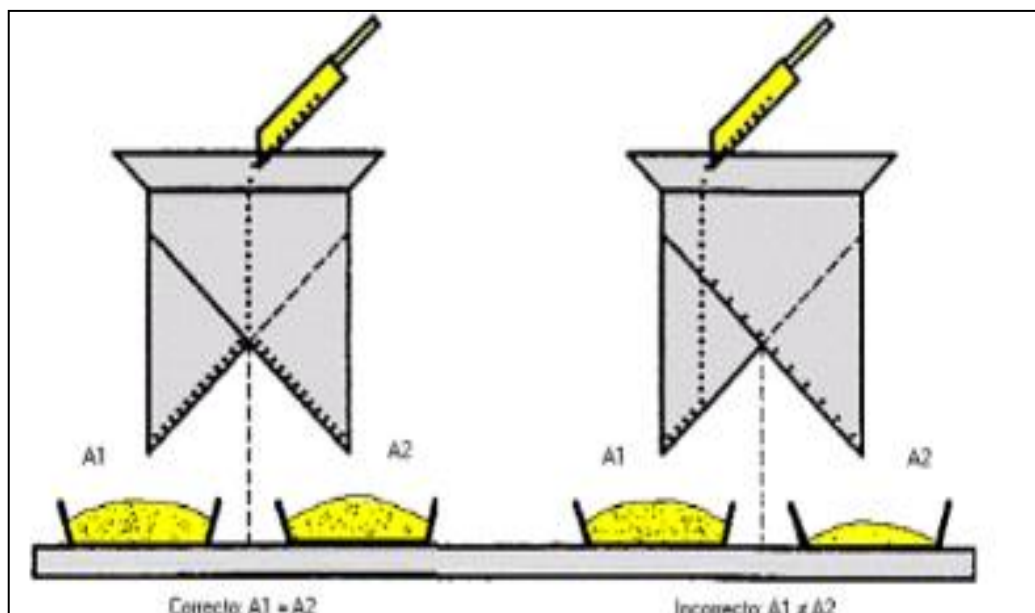
El rango normal para el uso de partidores de rifles es:

- Tamaño máximo de partícula: alrededor de 15 mm
- Peso del lote: desde 100 g hasta algunos cientos de Kg
- Peso de la muestra: hasta unos cuantos gramos.
- Naturaleza del material: sólidos secos.

No se puede usar el cuarteador de jones para minerales que tengan el diámetro de partículas de tamaño mayor que la mitad de la abertura del chute, esto logra provocar atoramiento en medio. (Blogger, 2010, párrafo 5)

Figura 5

Muestreo Correcto e Incorrecto en un Riffle.



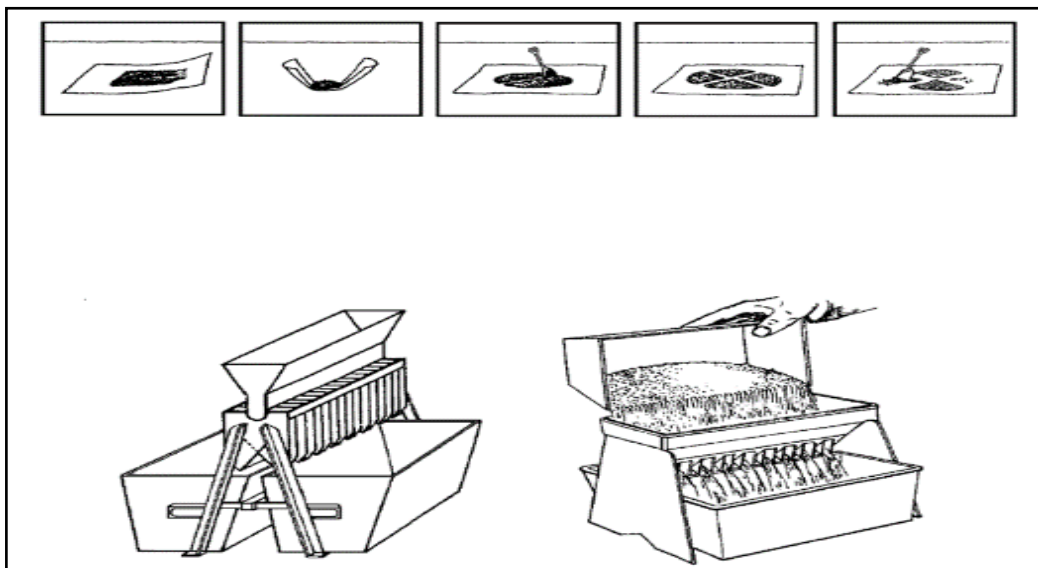
Nota: la figura muestra dos imágenes en donde la primera es la manera correcta de muestrear y la segunda imagen es la manera incorrecta de muestrear.

Como se puede apreciar en la figura 5, la manera correcta de muestrear es adicionando la muestra por la parte central del riffle, al realizar esta acción el mineral

pasa de partes iguales por todas las cavidades del instrumento; mientras tanto en la segunda imagen la muestra se le adiciona hacia un costado del riffle y no por el centro, esta acción es incorrecta ya que la muestra no pasa por partes iguales por las cavidades del riffle.

Figura 6

Comparación de un muestreador manual y de riffle.



Nota: (Blogger, 2010, figura 3, muestreo manual)

2.2.7. La flotación de minerales

Definió la flotación de minerales en la tesis de Salcedo (2015). Titulado, “estudio para mejorar la recuperación de estaño mediante la flotación inversa de sulfuros en la planta bofedal II de la Unidad San Rafael Minsur” La flotación por medio del uso de las espumas es un proceso físico-químico que concentra minerales especialmente adecuados en su granulometría, este proceso es adecuar químicamente la superficie de una partícula para la apego de minerales a una burbuja de aire. Su objetivo es separar especies minerales de una pulpa acuosa con el aprovechamiento de la afinidad adecuada de la partícula hidrofílica o hidrofóbica por el agua, en este proceso se alimenta minerales con menor cantidad de la parte valiosa y en mayor cantidad la parte estéril, las partículas adecuadas



para hidrofílico se mojan y permanecen en suspensión y finalmente se hunden; las partículas hidrofóbicas no se mojan y por lo tanto se pegan a las burbujas y salir a la superficie. (p. 25, párrafo 1)

2.2.8. Tipos de flotación

2.2.8.1. Flotación directa

En este tipo de flotación consiste en adherir a las burbujas el mineral valioso o mena y la parte estéril se hunde y queda como ganga.

2.2.8.2. Flotación inversa

En este tipo de flotación es lo inverso de la flotación directa, aquí se flota la parte estéril o ganga y se pone en suspensión la parte valiosa en la pulpa y se hunde en el non-float.

2.2.8.3. Flotación colectiva (Bulk flotation)

A este tipo de flotación se da en caso de que se quiera sumergir en el non-float a todos los minerales valiosos y flotar junto a la espuma la parte estéril.

2.2.8.4. Flotación selectiva o diferencial

Este tipo de flotación se aplica cuando se quiera flotar un solo mineral en cada etapa, cada etapa de flotación obtiene como producto diferentes tipos de mineral valioso, la granulometría de las partículas depende de las propiedades del mineral de su peso y su naturaleza, por eso en la practica el tamaño máximo es de 0.15 - 0.25 mm, para carbón entre 1 - 2 mm y para azufre nativo entre 0.5- 1mm. (Salcedo, 2015, p. 51)



2.2.9. Definición de flotación rougher

“La flotación rougher es normalmente la primera etapa de concentración en esta etapa se obtiene una máxima recuperación de concentrado con una ley razonable”. (Xochitl, 2021, párrafo 1)

“este proceso tiene la capacidad de resolución de flotar partículas difíciles. Este circuito involucra minimizar la producción de partículas con baja velocidad de flotación partículas finas mediante dos etapas de molienda y flotación”. (Xochitl, 2021, párrafo 4)

2.2.10. Definición de flotación cleaner

La flotación cleaner como su nombre indica consiste en la limpieza del mineral aumentar la calidad del concentrado obtenido de la flotación rougher, con el fin de tener un concentrado de calidad, para el siguiente proceso, la etapa de flotación cleaner es selectiva, el mineral alimentado a cleaner es primeramente molido y lograr una mayor liberación de las especies valiosas. (Ulloa, 2018, p. 21)

2.2.11. Definición de flotación scavenger

“Esta etapa consiste en recuperar mineral valioso de las colas de la etapa rougher, está es una de las etapas finales a las colas para poder recuperar algo del mineral valioso antes de desechar a la relavera, al concentrado de esta etapa se le da una molienda para seguir con los demás procesos”. (Ulloa, 2018, p.21)

2.2.12. Definición de número de mallas o granulometría

La definición del número de mallas según el autor, Carbotecnia (2021) menciona lo siguiente:



Es la distribución de tamaño de grano de un material, ya sea arenas, gravas, carbón activado, antracita, zeolita y una amplia gama de otros medios granulares. La granulometría es expresada normalmente en la prueba U.S. Standard Sieve con ayuda de una criba o pila de mallas o tamices. El cribado o tamizado es un método de separación de una mixtura de granos o partículas en dos o más fracciones de tamaño, los materiales de gran tamaño son retenidos por encima de una malla, mientras que los materiales de menor tamaño pueden pasar a través de esta y ser retenidos por otras mallas inferiores (párrafo 1).

Los tamices se utilizan unas sobre otras con el propósito de poder retener y dividir los gruesos en cada malla que no pase la muestra.

Estos tamices son usados cuando se presentan partículas mayores a 50 micras aproximadamente, Cada malla o tamiz tiene un rotulo en su parte superficial un numero por la cual es representada según la cantidad de hilos cruzados en $1''^2$ (pulgada cuadrada), por ejemplo: la malla 9, tendrá nueve hilos verticales y nueve hilos horizontales en una pulgada cuadrada. (Carbotecnia, 2021, párrafo 4).



Tabla 3

Tabla de conversión de número de malla (U.S.) a milímetros y pulgadas

Número Malla (U.S. STD. Sieve)	Abertura (mm)	Abertura (pulg)
4	4.76	0.187
5	4.00	0.157
6	3.35	0.132
8	2.38	0.0937
10	2.00	0.0787
12	1.68	0.0661
14	1.41	0.0555
16	1.19	0.0469
18	1.00	0.0394
20	0.841	0.0331
25	0.707	0.0278
30	0.595	0.0234
35	0.500	0.0197
40	0.420	0.0165
45	0.354	0.0139
50	0.297	0.0117
60	0.250	0.0098
70	0.210	0.0083
80	0.177	0.0070
100	0.149	0.0059
200	0.074	0.0029
325	0.044	0.0017
400	0.037	0.0014

Nota : (Carbotecnia, 2021, tabla 1)



CAPÍTULO III

MÉTODOS Y MATERIALES

3.1. DISEÑO, NIVEL Y TIPO DE LA INVESTIGACION

3.1.1. Diseño de la investigación

El presente trabajo de investigación será de tipo experimental pues es la que mejor se adapta a las necesidades de la investigación. El diseño experimental busca, “evaluar probabilísticamente la relación causal que se establece entre las variables, y estar en posibilidad de confirmar o rechazar las hipótesis sometidas a prueba” (Rojas, 2013, p.272).

Por su parte: “El diseño experimental consiste en administrar un estímulo o tratamiento a un grupo y después aplicar una medición de una o más variables para observar cual es nivel del grupo en estas” (Hernández, Fernández, y Baptista, 2010, p.136).

Cabe aclarar que el diseño presentado en la investigación no cumple los requerimientos de un experimento “puro” ya que no existe la manipulación de la variable independiente. Tampoco hay una referencia precisa de cuál era el nivel que tenía el grupo en la variable antes del estímulo. No es posible establecer causalidad con certeza ni se controlan las fuentes de invalidación interna.

3.1.2. Nivel de la investigación

El nivel de la investigación es aplicativo, el propósito es poder aplicar el resultado de la granulometría óptima que aumente la concentración del estaño en la etapa cleaner; según elpensante.com (2016), “manifiesta que la investigación científica aplicada puede



también orientarse a la producción de conocimientos y métodos que vengan a mejorar o hacer mucho más eficiente el sector productivo de bienes o servicios”.

3.1.3. Tipo de la investigación

El presente estudio de investigación es de tipo experimental, ya que se realizó experimentos variando tres tipos de granulometría por el método mecánico por tamizado en la alimentación del circuito de concentración gravimétrica.

a. Bibliográfica: este medio permitió consultar en medios físicos como libros, revistas y sitios de la web donde se buscó toda la información que permita lograr los objetivos planteados.

b. Experimentación: por medio de esta metodología se logró realizar la experimentación variando la granulometría del mineral antes de la alimentación a la etapa cleaner y rougher.

c. Aplicada: Los resultados obtenidos en esta investigación fueron utilizados para dar solución al problema y aplicados en planta concentradora de la empresa minera Minsur

3.2. DESCRIPCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

3.2.1. Primer objetivo

3.2.1.1. Preparación mecánica

Para lograr este objetivo se realizó el análisis, definición, estudio, especificación, y selección del tipo de preparación mecánica del mineral según requerimiento del proceso siguiente.



3.2.1.2. Procedimiento

- Se realizó la investigación bibliográfica sobre el tema de investigación.
- Muestreo del mineral en faja a 3/8”.
- Cuarteo del mineral hasta obtener 5 kg de muestra.
- Chancado de la muestra.
- Tamizado
- Molienda de la muestra

3.2.1.3. Materiales

Computadora, cuarteador, muestreador, balanzas, sacos de plástico, chancadora de laboratorio, molino de laboratorio, tamices, manta, bolsas de plástico, lapiceros, hoja bond.

3.2.2. Segundo objetivo

3.2.2.1. Optimización

Para lograr este objetivo se recurrió a la experimentación con un solo parámetro de operación, que será la granulometría del mineral por el método mecánico por tamizado en la salida del molino y entrada a la etapa de mesas rougher.

3.2.2.2. Procedimiento

- Obtención de la muestra de preparación mecánica.
- Molienda de la muestra.
- Ingreso de la muestra a la mesa rougher con tres diferentes granulometrías de experimentación.
- Obtención de concentrado y relave.



- Secado del concentrado.
- Tamizado del concentrado.
- Molienda del concentrado.
- Flotación de sulfuros.
- Ingreso del relave de flotación a mesa cleaner.
- Concentrado final.

3.2.3. Materiales

Una mesa rougher, una mesa cleaner, una celda de flotación, tamices, balanzas, computadora, lapiceros, cuaderno, molino de laboratorio.

3.3. UBICACIÓN

La investigación se desarrollará en el laboratorio metalúrgico de la unidad minera San Rafael Minsur, ubicado en el Distrito de Antauta, provincia de Melgar en el departamento de Puno, a una altitud que varía entre los 4500 y 5200 msnm, en la cordillera oriental de los andes del Perú, en las coordenadas geográficas UTM 8'423,955 N y 357,750 E y coordenadas GMS 14°14'12"S, 70°19'9"W.

3.4. POBLACIÓN

La población está conformada por 3108 TMSD de minerales de estaño y los equipos que conforman el circuito de flotación y concentración gravimétrica de la planta.

3.5. MUESTRA

Para la muestra se obtuvo 14 Kg. del mineral de casiterita, el tipo de muestreo es no probabilístico por conveniencia según proceso y estará conformado por los siguientes equipos:



Tabla 4

Muestra de la Investigación.

EQUIPOS	CANTIDAD
Mesa vibratoria rougher	1
Mesa vibratoria cleaner	1
Total	2

Nota la tabla muestra la investigacion.

3.6. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Para el proceso de esta investigación se recurrirá a diferentes y diversas fuentes de datos, como primarios y secundarios, las cuales se indican a continuación:

Fuentes de datos primarios: Los datos de esta fuentes, se obtendrán de los registros y reportes de la empresa minera.

Fuentes de datos secundarios: Los datos de esta fuentes, se obtendrán de folletos, ficheros, y de algun artículos de investigación en el campo de la experimentación de concentración gravimétrica de minerales.



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. PROCESO DE CONCENTRACIÓN GRAVIMÉTRICA

Para procesar 3108 TMSD de mineral de estaño con una ley de alimentación promedio de 2.65 % de Sn y obtener concentrado de 43.01% Sn de calidad, con una recuperación de 93.28 %; el consumo total requerido de agua es de 14.37 M³/TMS, considerando las instalaciones actuales de la Planta Concentradora separado en las siguientes secciones:

- Zona de chancada
- Zona de molienda y zona de concentración gravimétrica
- Zona de concentración por flotación y manejo de relaves.

4.1.1. Descripción de las instalaciones

Las importantes instalaciones de la planta concentradora son las siguientes:

Chancado:

- Primario.
- Secundario.
- Terciario.

Molienda:

- Primaria.
- Secundaria.
- Terciaria.
- De Pre-concentrado.



Concentración gravimétrica:

- Jigs Gekkos
- Jigs Triplex Espirales
- Mesas Espirales
- Flotación Sulfuros Gravimetría
- Filtrado Concentrado Gravimétrico
- Despacho de Concentrado Gravimétrico

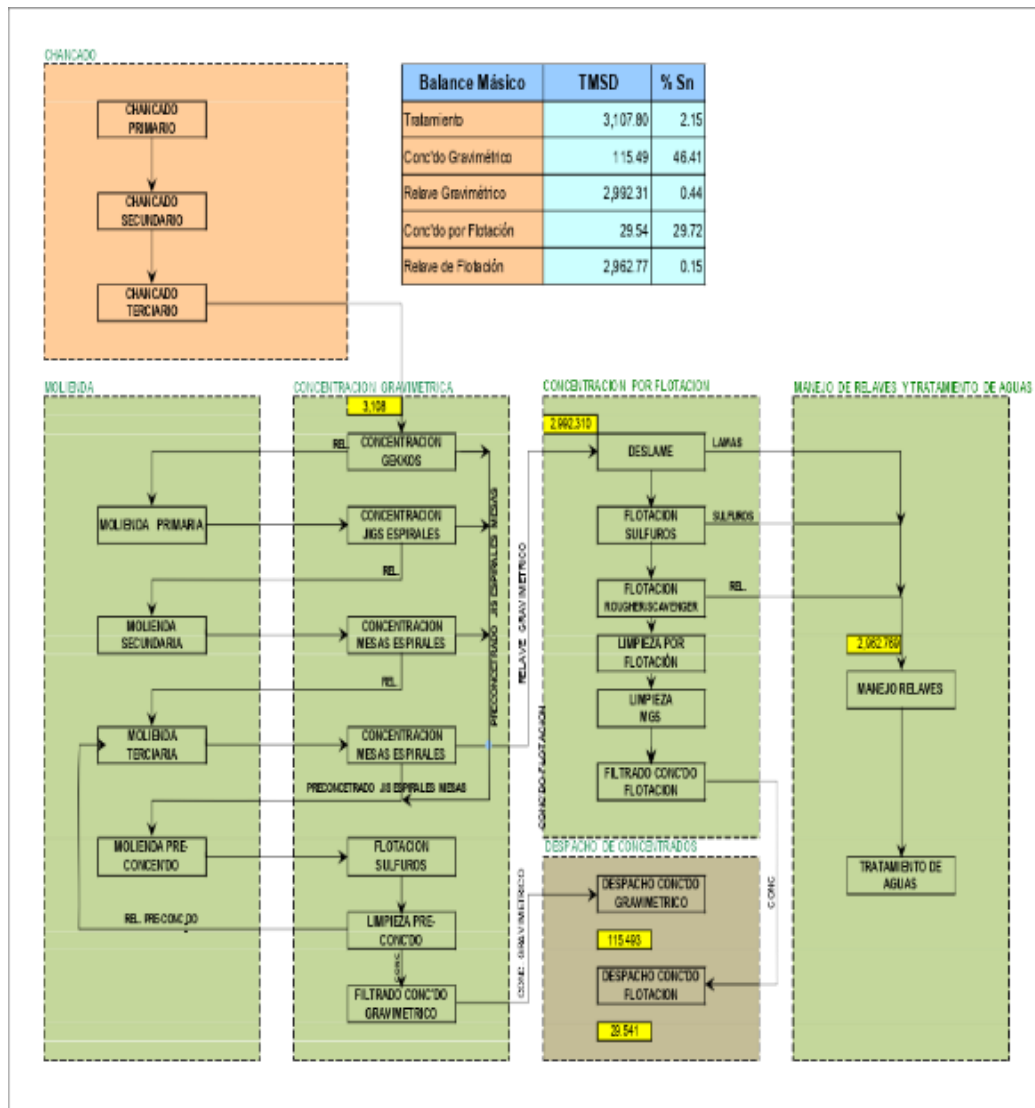
Concentración por flotación:

- Deslamado
- Flotación Sulfuros
- Flotación Rougher/Scavenger
- Limpieza por Flotación cleaner
- Limpieza MGS
- Flotación Ultrafinos
- Filtrado Concentrado por Flotación

Manejo de relaves y tratamiento de aguas:

- Manejo de Relaves
- Proceso de aguas

Figura 7
Bloques Planta Concentradora San Rafael



4.1.2. Chancado primario

En esta zona se encarga de la reducción de tamaño del mineral procedente de mina, Pre-concentrado del Ore Sorting y finos (-6 mm) la cual es acarreado a la cancha N°1 para luego ser blendiado a una tolva de gruesos para luego ser alimentado por medio de un alimentador de placas a dos chancadoras de mandíbulas 24"X36" A/B que reduce el mineral de - 18" a 4½". En este proceso de chancado se realiza en 2 líneas independientes y su principal tarea es la de obtener un producto de mínimo tamaño al obtenido de mina.



El producto de esta etapa es almacenado en una batería de tolvas con una capacidad de 2,000 TM.

4.1.3. Chancado Secundario

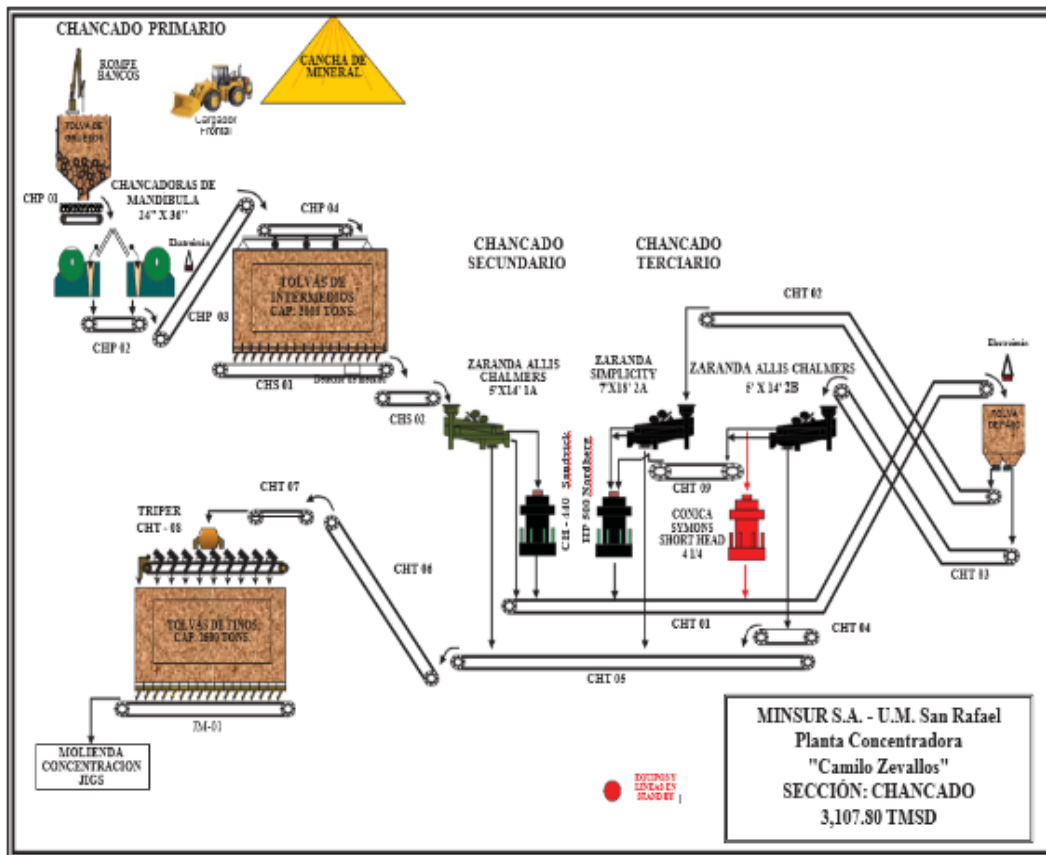
Es la zona que se encarga de la reducción secundaria en el tamaño del mineral. Luego del Chancado Primario, el mineral es transportado hacia una zaranda “5’x14’ Allis Chalmer”; el material grueso es alimentado a una Chancadora Cónica “Sandvick CH-440” y el fino conjuntamente con el producto de chancado terciario es almacenado en las tolvas de mineral fino con una capacidad de 2500 TM.

4.1.4. Chancado terciario

Es la zona que se encarga de la reducción terciaria en el tamaño del mineral. Luego del Chancado Secundario, el mineral es transportado mediante fajas desde la tolva de paso hacia 2 zarandas: “7’x18” Simplicity” y “5’x14” Allis Chalmer”, el material grueso es alimentado a una Chancadora Cónica “HP - 500” y el fino conjuntamente con el fino de chancado secundario es trasladado a la tolva de finos.

El producto fino de la etapa de chancado se encuentra en el orden de 94 % de - 3/8”.

Figura 8
Sección Chancado San Rafael



4.1.5. Molienda y concentración gravimétrica

4.1.5.1. Concentración jigs gekkos.

Después de obtener el producto del chancado, inicia el proceso de concentración gravimétrica que se realiza en 2 jigs de estos equipos se obtiene un concentrado que después es tratado por 04 jigs mientras que la ganga o relave pasa por dos zarandas vibratorias, el rechazo es alimentada aun molino de barras.

4.1.6. Molienda primaria

En esta zona del proceso donde el mineral grueso (relave) procedente de las zarandas vibratorias del circuito Jigs Gekko es alimentado al Molino de barras 9 1/2' x



13', ejecutando la reducción de tamaño de $-3/8$ pulgadas para obtener un producto de malla -200 entre (15 -18) %.

La descarga del molino es bombeada a un sistema de clasificación de tamaños (Helicoidal), donde el mineral con tamaño reducido es enviado al siguiente proceso de concentración en espirales. Los tamaños mayores son enviados a la etapa de concentración en 6 jigs Bendelari de donde se adquiere un pre concentrado, el relave es enviado a dos molinos de bolas para su molienda.

4.1.7. Espirales

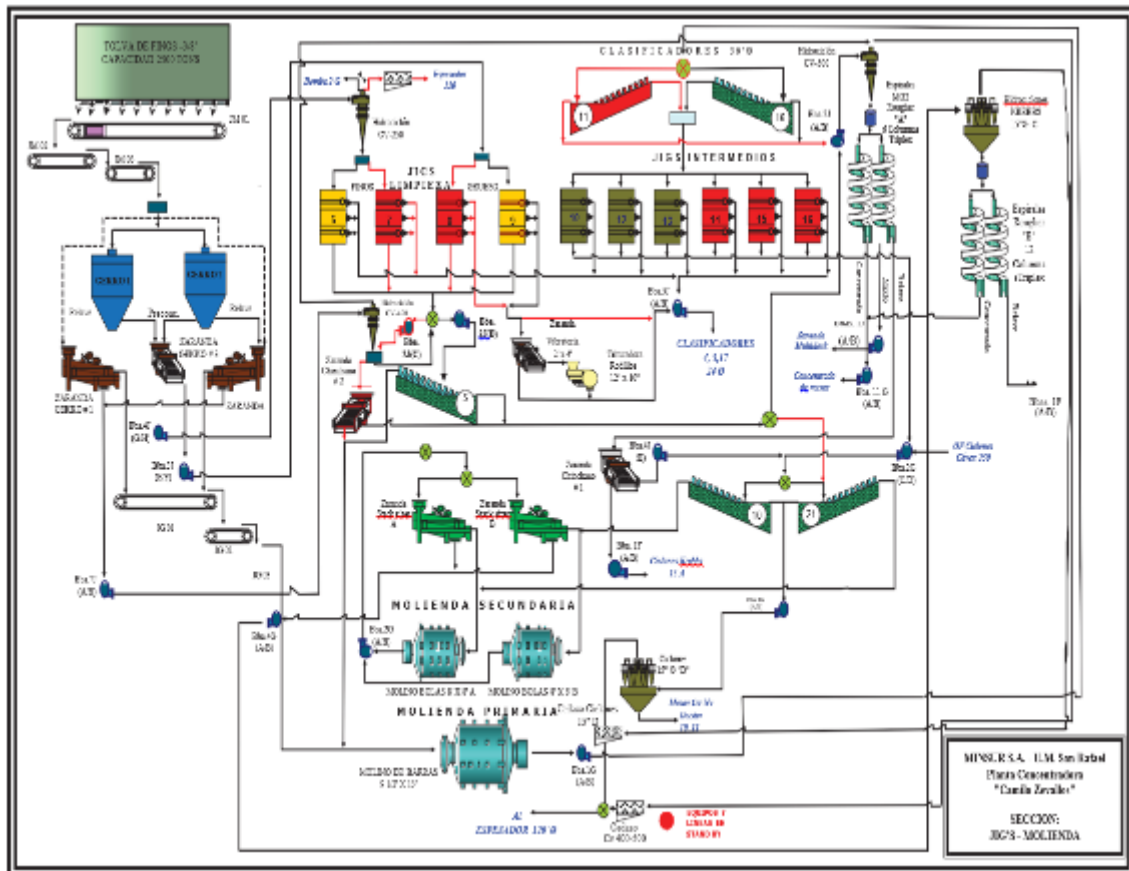
Los finos de estas zarandas (Zaranda: 2,3 Jigs Gekko) con 2 mm de abertura, el proceso de clasificación se da en hidrociclones Cavex-400 y clasificadores helicoidales; el underflow de los clasificadores son posteriormente alimentados a unos molinos 9.1/2 pies x 13 pies y el producto fino ingresan a una concentración de cinco espirales, logrando la obtención de un pre-concentrado.

4.1.7.1. Molienda secundaria

El producto de los molinos 8x8A/B, ingresan a dos zarandas vibratorias de alta vibración, haciendo una carga circulante.

En esta zona se realiza la molienda secundaria de los minerales con el fin de reducir de tamaño y el producto de la clasificación primaria en la molienda secundaria es alimentado a unos hidrociclones con quince pulgadas de diámetro y posteriormente alimentados a la etapa de clasificación con espirales, los relaves de esta etapa son alimentados nuevamente a los hidrociclones de 15 pulgadas de diámetro, se obtiene como producto un pre-concentrado.

Figura 9
Sección Molienda San Rafael



4.1.7.2. Molienda terciaria

Las arenas de estos hidrociclones 15" Ø y 10" Ø, son alimentados a una batería de molinos de bolas de las siguientes medidas (7'x12'), (7'x8'), (5'x10') y a un molino de molienda terciaria llamada (vertimill), el producto de molienda del primer molino y segundo ingresan a un circuito de 40 espirales (MG-2), el producto del tercer molino ingresa a 6 espirales y finalmente el producto del molino vertimill ingresa a 20 espirales, todo este proceso se realiza para tener un pre concentrado, que son alimentados posteriormente a una batería de espirales y mesas vibratorias con el fin de limpiarlos.

. En esta etapa del proceso no hay el uso de químicos, solo el uso directo del H₂O y por ende un consumo alto de este elemento.



4.1.7.3. Concentración mesas espirales 01

El mineral pasante de la zaranda Stack Sizer (0.43 mm) Es transportado hacia la siguiente etapa de concentración en espirales para la obtención de un pre-concentrado, este intermedio es transportados hacia la zaranda Multideck, El mineral pasante es transportado mediante tuberías hacia el circuito de mesas concentradoras y los relaves son alimentados a una molienda terciaria. La concentración con Mesas Espirales 01 cuenta con los siguientes equipos: nueve Mesas Hollman Secundarias, diez Mesas Deister Secundarias, seis Hidrociclones Krebs 15"C, diez Espirales MG2 Rougher "E", una Zaranda Multideck, dos Bombas 4"x3" 04G "C" y "D".

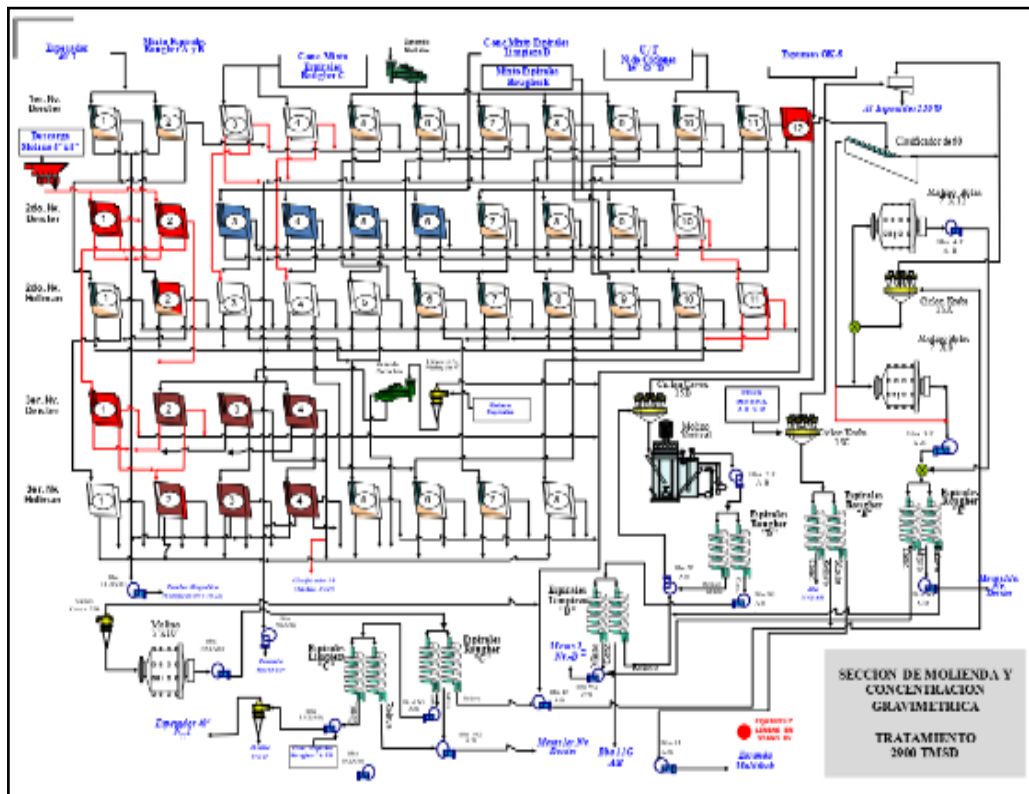
4.1.7.4. Concentración mesas espirales 02

La concentración en Mesas Espirales 02 cuenta con los siguientes equipos: dieciseis mesas hollman terciarias, treinta y seis mesas deister terciarias, veinte espirales MG2 rougher "D", diez espirales MG2 limpieza "D", cuarenta espirales MG-2.

4.1.7.5. Molienda de concentrados

El mineral pre concentrado de los jigs, espirales, mesas terciarias y espirales terciarios es enviado mediante bombeo a la etapa de clasificación (Helicoidal), luego es depositado en la tolva de concentrados de donde es alimentado hacia el molino 5' x 6', el producto de molienda es enviado a un proceso de clasificación (zaranda Stack Sizer) con una granulometría de 85% (-0.43 mm), el mineral grueso es transportado hacia la tolva de concentrados.

Figura 10
Sección Molienda, Concentración Gravimétrica



4.1.7.6. Flotación sulfuros

El mineral pasante de la zaranda Stack Sizer (-0.43mm) es enviado a la siguiente etapa de limpieza de sulfuros, se cuenta con cinco celdas OK-5 para realizar la flotación inversa, el fin es desechar los sulfuros contaminantes, con el uso del Z-11, Dowfroth 250 y ácido sulfúrico, como reactivos principales.

4.1.7.7. Limpieza de concentrados

Los concentrados luego de ser flotados inversamente son enviados a un proceso de re limpieza en un jig dúplex, 02 espirales MG-2, Molino 4'x4', Mesas concentradoras, Zaranda Stack Sizer. Engrandeciendo la calidad del concentrado a leyes superiores de 57.00 % estaño.



4.1.7.8. Ultra finos

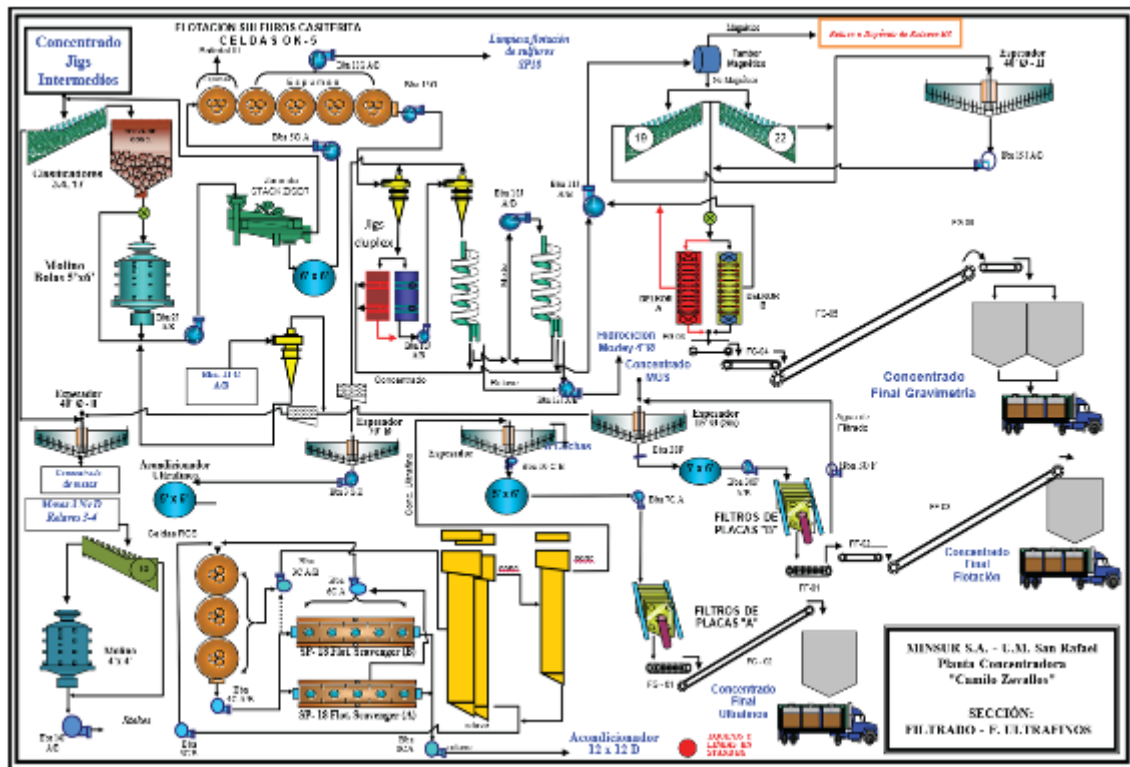
La descarga del espesador 70' alimenta a la etapa Rougher "RCS" (circuito de ultrafinos). El concentrado de las celdas "RCS" es alimentado a la etapa cleaner "Celdas Columna" para producir un concentrado de estaño. El aire es suministrado de la parte baja de las celdas para ocasionar burbujas finas. Un "colchón" denso de espuma se forma en la parte superior de las celdas columna y un lavado con H₂O ayuda a eliminar la ganga remanente, obteniendo el concentrado de la etapa de Ultrafinos, con una ley aproximada de 30 % de estaño. Los relaves de las celdas RCS son enviados a la etapa Scavenger realizada en 3 bancos de celdas SP – 18 A, B, C. para recuperar y enriquecer los minerales remanentes valiosos.

El relave de la etapa Scavenger es recirculado al circuito de flotación.

4.1.7.9. Filtrado

Estos concentrados obtenidos son filtrados en banda delkor, con un 5 a 6% de humedad permitidas, después son empaquetados en sacos de 1450 kilogramos llamados big bag.

Figura 11
Sección filtrado flotacion. ultrafinos San Rafael



4.1.8. Concentración por flotación

4.1.8.1. Deslame

El relave obtenido de la concentración gravimétrica con tamaños de 74 micras con un 70 y 80% ingresan a un espesador de diámetro de 120 pies, y finalmente deslamados en un hidrociclón de 4 pulgadas de diámetro, 60mm diámetro y 1¾” diámetro.

4.1.8.2. Sulfuros casiterita

El producto de estos equipos es ingresado a un banco de seis celdas DR-300 y seis celdas DR-180, con el único fin de realizar la flotación de los minerales sulfurados con el uso del Z-11, MIBC y H₂SO₄; las espumas son llevados a un espesador de 80 pies de diámetro para luego ser trasladado a la relavera.



4.1.8.3. Flotación sulfuros casiterita

El producto no flotado, es un producto con contenido de casiterita, el cual se flota en los circuitos: Rougher con una celda OK30, Scavenger con 15 celdas DR-500 y los reactivos utilizados para la flotación de la SnO₂ son: AP-845 como colector espumante y ácido sulfúrico como regulador de pH.

4.1.8.4. Limpieza por flotación

Las espumas de las celdas Rougher son llevadas a las celdas Cleaner las que conforma quince celdas DR-300; donde las espumas Cleaner son enviados a un nido de hidrociclones de 1 3/4" donde el underflow alimenta a los concentradores MGS.

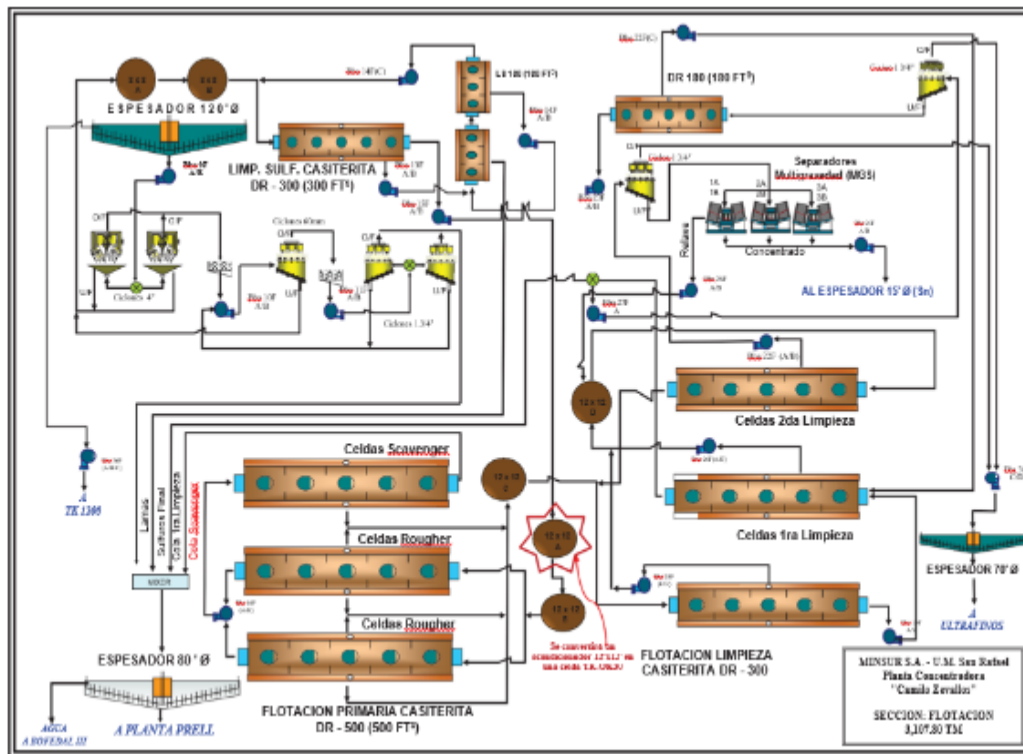
4.1.8.5. Limpieza MGS

El concentrado de las celdas de flotación de la segunda limpieza es bombeado a la concentración en los MGS. Los MGS son equipos de concentración multigravimétricos, que al ingresar la pulpa mineral esta es sometida a grandes fuerzas centrifugas, aprovechando la mayor diferencia de peso específico se logra la disociación del mineral valioso de la ganga, obteniendo así el concentrado final de flotación con una ley aproximada de 38% de estaño.

4.1.8.6. Filtrado

El concentrado con una densidad aproximada de 1600 g/l. Es filtrado hasta conseguir la humedad de 9% en un filtro prensa. El concentrado descarga a una chica tolva de acumulación, de donde es cargado en sacos big bag de Aprox. 1400 kg para su embarque a Funsur.

Figura 12
Sección flotación san rafael



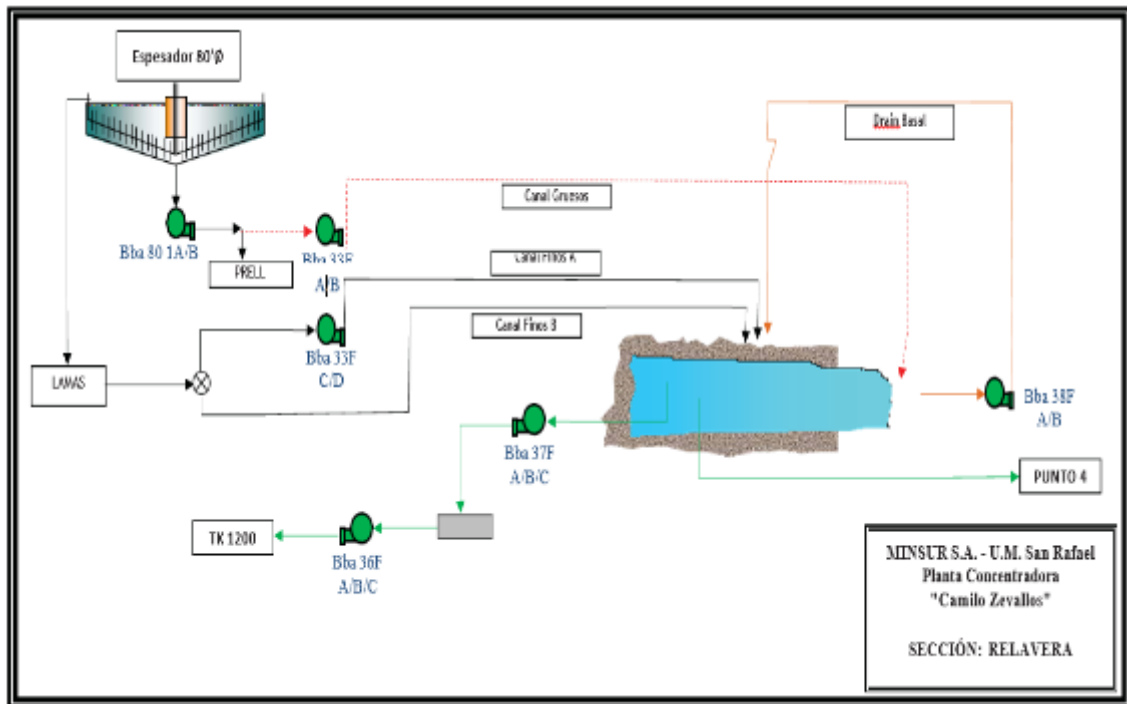
4.1.8.1. Manejo de relaves

Los relaves producidos, tienen el 95% del peso total con respecto a la alimentación de toda la planta, y estas deben ser acumulados con seguridad por todo el tiempo en el futuro. El relave es inicialmente espesado en un espesador de 80' de diámetro, de gran capacidad para recuperar aproximadamente el 45% del H₂O contenida para ser enviada al almacenamiento de relaves (Bofedal III). Los sólidos espesados restos con densidad del 50-55%, Una parte es bombeada a la Planta de relleno en pasta (PRELL), la fracción restante es enviada a las instalaciones de almacenamiento de relaves (Bofedal III) Es transportada en una canaleta o tubería, esta canaleta está dispuesta con una ligera pendiente que fluye por gravedad a presión atmosférica.

La fracción de arena más gruesa es separada y enviada al muro. La pulpa fina es alimentada a la zona intermedia de la relavara.

Los finos y lamas provenientes del relave cicloneado son distribuidas a lo largo del interior del dique, donde ellas forman una “playa” con aproximadamente 0.5% de pendiente.

Figura 13
Sección de relaves san rafael



4.2. DETERMINACIÓN DE LA GRANULOMETRÍA ÓPTIMA (EXPERIMENTACIÓN)

En esta investigación se optimiza un parámetro importante en la concentración gravimétrica que es la granulometría del mineral que se realiza por el método mecánico por tamizado, para ello se realizó 03 pruebas con diferentes granulometrías en la alimentación en la etapa rougher, para mejorar la concentración del estaño.

- Prueba N° 01: granulometría de alimentación a mesa vibratoria rougher = 401um.



- Prueba N° 02: granulometría de alimentación a mesa vibratoria rougher = 298um.
- Prueba N° 03: granulometría de alimentación a mesa vibratoria rougher = 380um.

A continuación, se detalla el método por la cual se tomó las granulometrías para experimentar.

4.2.1. Determinación de la granulometría a experimentar

Para determinar las granulometrías que se utilizaron en la experimentación fueron obtenidas a partir del reporte diario de la granulometría del circuito de concentración gravimétrica, el reporte diario se sometió a un análisis estadístico por el método del diagrama de Pareto 80-20, lo cual indica que el 20% de las granulometrías con mejores resultados de recuperación del mineral de estaño serán tomados como parámetros de experimentación.

Tabla 5
Reportes Diarias del Mes de Enero, Antes de Realizar la Experimentación (pre-test).

FECHA	H.O.	TRATAMIENTO CANCHA I										TRATAMIENTO DIA										BALANCE DIA					
		1ER. TURNO					2DO. TURNO					TRATAMIENTO DIA					TRATAMIENTO					PROD. GRAV.					
		TMH	HI	TMS	%Sn	%S	TMH	HI	TMS	%Sn	%S	TMH	HI	TMS	%Sn	%S	TMH	HI	TMS	%Sn	%S	TMF	TMS	% Sn	TMF	REC	
ma	01-ene	24.00	1594	2.20	1558.932	3.65	0.44	1584	2.32	1547.251	4.09	0.56	3178	2.26	3106.183	3.87	0.50	3106	3.87	120.184	140.648	43.29	60.886	50.66			
mi	02-ene	24.00	1614	2.80	1568.808	4.12	0.77	1608	2.39	1569.569	3.99	0.90	3222	2.60	3138.377	4.05	0.84	3138	4.05	127.261	147.522	42.22	62.287	48.94			
ju	03-ene	24.00	1587	2.53	1546.849	3.98	1.08	1620	2.37	1581.606	4.17	1.27	3207	2.45	3128.455	4.08	1.18	3128	4.08	127.518	140.323	43.87	61.559	48.28			
vi	04-ene	24.00	1575	2.39	1537.358	4.12	1.35	1620	2.65	1577.070	3.67	1.11	3195	2.52	3114.428	3.89	1.23	3114	3.89	121.218	139.493	44.85	62.565	51.61			
sá	05-ene	24.00	1620	2.23	1583.874	3.76	0.94	1613	2.26	1576.546	3.80	1.00	3233	2.24	3160.420	3.78	0.97	3160	3.78	119.462	138.915	44.48	61.796	51.73			
do	06-ene	24.00	1617	2.03	1584.175	3.99	1.12	1620	2.56	1578.528	3.56	0.94	3237	2.30	3162.703	3.78	1.03	3163	3.78	119.404	136.544	43.05	58.779	49.23			
lu	07-ene	24.00	1606	2.22	1570.347	3.54	0.83	1620	2.44	1580.472	4.21	0.81	3226	2.33	3150.819	3.88	0.82	3151	3.88	122.128	141.657	40.88	57.911	47.42			
ma	08-ene	24.00	1617	2.35	1579.001	3.87	0.75	1620	2.57	1578.366	3.56	0.76	3237	2.46	3157.367	3.72	0.75	3157	3.72	117.297	134.970	40.43	54.567	46.52			
mi	09-ene	24.00	1615	2.59	1573.172	2.87	0.77	1625	2.84	1578.850	3.12	0.74	3240	2.72	3152.022	3.00	0.75	3152	3.00	94.410	116.693	40.90	47.732	50.56			
ju	10-ene	24.00	1619	2.39	1580.306	2.59	0.90	1605	1.92	1574.184	2.71	0.88	3224	2.16	3154.490	2.65	0.89	3154	2.65	83.590	96.534	40.71	39.296	47.01			
vi	11-ene	24.00	1615	2.30	1577.855	2.09	0.72	1609	2.13	1574.728	2.14	0.57	3224	2.22	3152.583	2.11	0.65	3153	2.11	66.676	86.452	41.21	35.629	53.44			
sá	12-ene	24.00	1593	2.69	1550.148	3.45	0.73	1596	2.38	1558.015	3.40	0.61	3189	2.53	3108.164	3.42	0.67	3108	3.42	106.453	133.447	43.80	58.444	54.90			
do	13-ene	24.00	1593	2.59	1551.741	3.67	0.47	1596	2.67	1553.387	4.25	0.48	3189	2.63	3105.128	3.96	0.48	3105	3.96	122.968	135.999	42.71	58.092	47.24			
lu	14-ene	24.00	1605	2.39	1566.641	4.26	0.47	1596	2.64	1553.866	4.31	0.68	3201	2.51	3120.506	4.28	0.57	3121	4.28	133.710	144.174	43.33	62.467	46.72			
ma	15-ene	24.00	1590	2.20	1555.020	4.21	1.02	1587	2.12	1553.356	4.45	0.66	3177	2.16	3108.376	4.33	0.84	3108	4.33	134.591	151.710	42.77	64.883	48.21			
mi	16-ene	24.00	1601	2.33	1563.697	3.45	0.81	1596	1.88	1565.995	3.88	0.62	3197	2.11	3129.692	3.67	0.71	3130	3.67	114.708	130.747	44.09	57.643	50.25			
ju	17-ene	24.00	1606	1.90	1575.486	4.53	0.49	1601	2.28	1564.497	4.56	0.54	3207	2.09	3139.983	4.54	0.51	3140	4.54	142.711	161.482	42.46	68.561	48.04			
vi	18-ene	24.00	1602	1.92	1571.242	3.78	0.47	1601	2.47	1561.455	3.81	0.56	3203	2.19	3132.697	3.79	0.51	3133	3.79	118.884	144.255	40.77	58.811	49.47			
sá	19-ene	24.00	1615	2.50	1574.625	3.76	0.50	1624	2.95	1576.092	3.66	0.62	3239	2.73	3150.717	3.71	0.56	3151	3.71	116.891	145.377	39.64	57.631	49.30			

do	20- ene	24.00	1610	1.87	1579.893	3.67	0.72	1615	2.40	1576.240	3.78	0.69	3225	2.14	3156.133	3.72	0.71	3156	3.72	117.564	152.230	38.70	58.918	50.12
lu	21- ene	24.00	1609	2.30	1571.993	3.29	0.57	1598	2.91	1551.498	3.39	0.70	3207	2.60	3123.491	3.34	0.63	3123	3.34	104.314	142.043	39.28	55.797	53.49
ma	22- ene	24.00	1580	2.32	1543.344	3.79	0.75	1604	2.47	1564.381	3.89	0.90	3184	2.40	3107.725	3.84	0.83	3108	3.84	119.347	159.661	39.07	62.374	52.26
mi	23- ene	24.00	1580	2.34	1543.028	3.84	0.76	1604	2.61	1562.136	3.47	0.58	3184	2.48	3105.164	3.65	0.67	3105	3.65	113.458	146.804	38.05	55.865	49.24
ju	24- ene	24.00	1603	2.77	1558.597	3.76	0.63	1599	2.65	1556.627	3.89	0.79	3202	2.71	3115.223	3.82	0.71	3115	3.82	119.156	146.836	38.74	56.887	47.74
vi	25- ene	24.00	1600	2.62	1558.080	3.38	0.82	1598	2.50	1558.050	3.27	0.83	3198	2.56	3116.130	3.33	0.82	3116	3.33	103.611	126.416	39.01	49.318	47.60
sá	26- ene	24.00	1595	2.39	1556.880	3.34	0.90	1596	2.60	1554.504	3.54	0.97	3191	2.50	3111.384	3.44	0.93	3111	3.44	107.029	138.522	38.33	53.099	49.61
do	27- ene	24.00	1605	2.59	1563.431	3.65	0.73	1603	2.99	1555.070	3.94	0.89	3208	2.79	3118.501	3.79	0.81	3119	3.79	118.335	144.697	39.56	57.245	48.38
lu	28- ene	24.00	1600	2.84	1554.560	2.79	0.79	1593	2.50	1553.175	2.91	1.28	3193	2.67	3107.735	2.85	1.03	3108	2.85	88.570	117.940	38.97	45.965	51.90
ma	29- ene	24.00	1602	2.92	1555.222	2.37	0.91	1603	2.98	1555.231	2.68	0.62	3205	2.95	3110.452	2.53	0.76	3110	2.53	78.539	100.624	37.99	38.227	48.67
mi	30- ene	24.00	1555	2.75	1512.238	3.35	0.69	1605	2.79	1560.221	3.45	0.74	3160	2.77	3072.458	3.40	0.72	3072	3.40	104.488	123.314	39.18	48.316	46.24
ju	31- ene	24.00	1608	3.24	1555.901	4.12	0.87	1605	2.80	1560.060	4.23	0.87	3213	3.02	3115.961	4.18	0.87	3116	4.18	130.094	160.075	40.29	64.498	49.58

Nota.Minsur. Reporte diario de recuperacion.

Interpretación de la **tabla 5**, en la primera columna se muestra los días de la semana, en la segunda columna la fecha, y seguidamente el tratamiento en cancha número 1 se ve el registro de las especificaciones del mineral alimentado al circuito de concentración gravimétrica el porcentaje de estaño, la humedad, y en la columna de balance día se realiza el balance del circuito de concentración gravimétrica, en la columna de “Rec” representa al porcentaje de recuperación del estaño por día.

Tabla 6

Reporte diario del mes de enero según la granulometría alimentada.

Fecha	Tratamiento	TMH	H1	TMS	%Sn	%S	TMS	% Sn	Gran. Rougher	gran. Cleaner	% Rec. Grav.	
01-ene		3,106	3178	2.26	3106.183	3.869	0.500	3106.183	3.869	340	145	50.66
02-ene		3,138	3222	2.60	3138.377	4.055	0.835	3138.377	4.055	250	156	48.94
03- ene		3,128	3207	2.45	3128.455	4.076	1.176	3128.455	4.076	401	246	48.28
04- ene		3,114	3195	2.52	3114.428	3.892	1.228	3114.428	3.892	298	166	51.61
05- ene		3,160	3233	2.24	3160.420	3.780	0.970	3160.420	3.780	298	166	51.73
06- ene		3,163	3237	2.30	3162.703	3.775	1.030	3162.703	3.775	310	120	49.23
07- ene		3,151	3226	2.33	3150.819	3.876	0.820	3150.819	3.876	340	145	47.42
08- ene		3,157	3237	2.46	3157.367	3.715	0.755	3157.367	3.715	320	178	46.52
09- ene		3,152	3240	2.72	3152.022	2.995	0.755	3152.022	2.995	260	145	50.56
10- ene		3,154	3224	2.16	3154.490	2.650	0.890	3154.490	2.650	280	174	47.01
11- ene		3,153	3224	2.22	3152.583	2.115	0.645	3152.583	2.115	380	186	53.44
12- ene		3,108	3189	2.53	3108.164	3.425	0.670	3108.164	3.425	298	166	54.90
13- ene		3,105	3189	2.63	3105.128	3.960	0.475	3105.128	3.960	325	134	47.24
14- ene		3,121	3201	2.51	3120.506	4.285	0.575	3120.506	4.285	290	155	46.72
15- ene		3,108	3177	2.16	3108.376	4.330	0.840	3108.376	4.330	220	160	48.21
16- ene		3,130	3197	2.11	3129.692	3.665	0.715	3129.692	3.665	340	145	50.25
17- ene		3,140	3207	2.09	3139.983	4.545	0.515	3139.983	4.545	315	175	48.04
18- ene		3,133	3203	2.19	3132.697	3.795	0.515	3132.697	3.795	340	145	49.47
19- ene		3,151	3239	2.73	3150.717	3.710	0.560	3150.717	3.710	340	145	49.30
20- ene		3,156	3225	2.14	3156.133	3.725	0.705	3156.133	3.725	340	145	50.12
21- ene		3,123	3207	2.60	3123.491	3.340	0.635	3123.491	3.340	298	166	53.49
22- ene		3,108	3184	2.40	3107.725	3.840	0.826	3107.725	3.840	380	186	52.26
23- ene		3,105	3184	2.48	3105.164	3.654	0.669	3105.164	3.654	370	159	49.24
24- ene		3,115	3202	2.71	3115.223	3.825	0.710	3115.223	3.825	250	165	47.74
25- ene		3,116	3198	2.56	3116.130	3.325	0.825	3116.130	3.325	240	146	47.60
26- ene		3,111	3191	2.50	3111.384	3.440	0.935	3111.384	3.440	340	145	49.61
27- ene		3,119	3208	2.79	3118.501	3.795	0.810	3118.501	3.795	340	145	48.38
28- ene		3,108	3193	2.67	3107.735	2.850	1.035	3107.735	2.850	380	186	51.90
29- ene		3,110	3205	2.95	3110.452	2.525	0.765	3110.452	2.525	340	145	48.67
30- ene		3,072	3160	2.77	3072.458	3.401	0.715	3072.458	3.401	310	175	46.24
31- ene		3,116	3213	3.02	3115.961	4.175	0.870	3115.961	4.175	270	160	49.58

Interpretación de la tabla 6, en esta tabla se puede apreciar los resultados diarios del tratamiento en el circuito de concentración gravimétrica cada resultado de recuperación de la gravimetría tiene su granulometría de trabajo, esto nos servirá para poder realizar un análisis con la ayuda del diagrama de Pareto.

Tabla 7

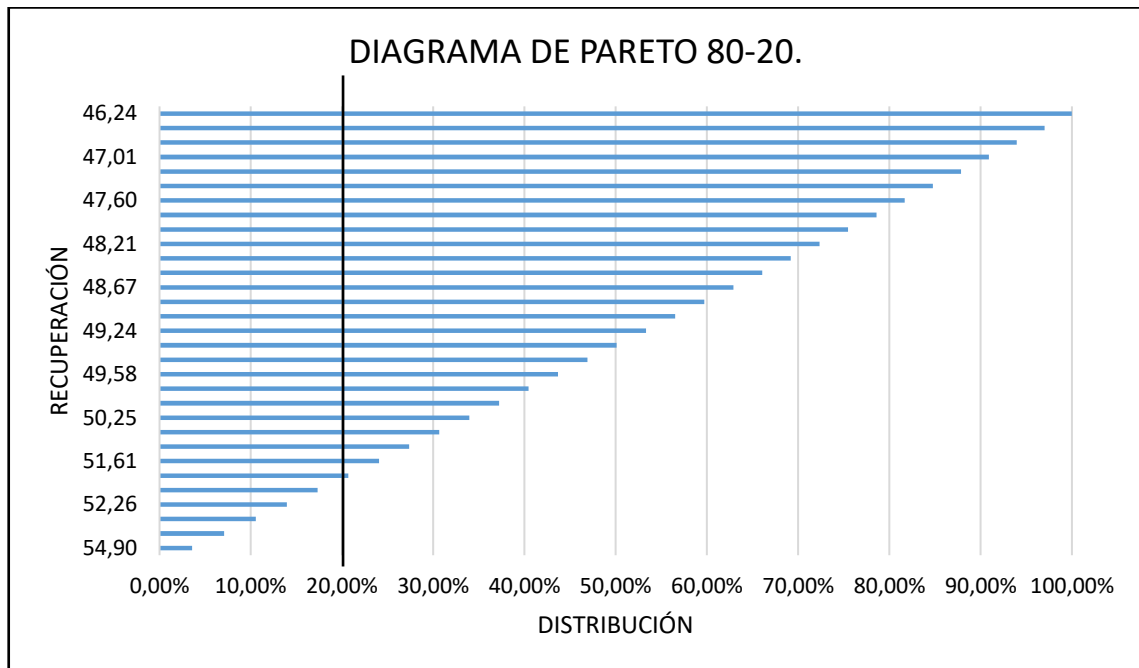
Análisis del 20% de mallas alimentadas con mejor concentración.

Gran. Rougher	gran. Cleaner	% Rec. Grav.	Distrib.
298	166	54.90	3.58%
298	166	53.49	7.06%
380	186	53.44	10.55%
380	186	52.26	13.95%
380	186	51.90	17.34%
<hr/>			
298	166	51.73	20.71%
298	166	51.61	24.07%
340	145	50.66	27.37%
260	145	50.56	30.67%
340	145	50.25	33.94%
340	145	50.12	37.21%
340	145	49.61	40.44%
270	160	49.58	43.67%
340	145	49.47	46.90%
340	145	49.30	50.11%
370	159	49.24	53.32%
310	120	49.23	56.53%
250	156	48.94	59.72%
340	145	48.67	62.89%
340	145	48.38	66.04%
401	246	48.28	69.19%
220	160	48.21	72.33%
315	175	48.04	75.46%
250	165	47.74	78.57%
240	146	47.60	81.68%
340	145	47.42	84.77%
325	134	47.24	87.85%
280	174	47.01	90.91%
290	155	46.72	93.95%
320	178	46.52	96.99%
310	175	46.24	100.00%
TOTAL		1534.35	

Interpretación de la tabla 7, esta es una tabla que se realiza antes de realizar el diagrama de Pareto, en esta tabla se seleccionó la granulometría, la recuperación y se hizo un orden de mayor a menor respecto a la recuperación para que posteriormente se realice la distribución, con estos datos obtenidos podemos realizar nuestro diagrama.

Figura 14

Análisis de la granulometría con mayor recuperación por diagrama de Pareto 80-20.



Interpretación de la figura 7, la figura nos muestra que el 20% de la granulometría que permite una mejor recuperación del estaño son de 54.90%, 53.49%, 53.44%, 52.26%, 51.90%. las cuales las ordenaremos en la siguiente tabla 8, a estos dos tipos de granulometría obtenidos se agrega la granulometría estándar, por lo tanto, dan un total de 3 tipos de granulometrías para realizar el experimento.

Tabla 8

20% de las granulometrías que fueron seleccionados para realizar pruebas de laboratorio según Pareto.

Gran. Rougher	gran. Cleaner	% Rec. Grav.	Distrib.
401	246	48.28	69.18%
298	166	54.90	3.58%
		53.49	7.06%
		53.44	10.55%
380	186	52.26	13.95%
		51.90	17.34%

4.2.2. Preparación mecánica de la muestra

4.2.2.1. Muestreo

La muestra es tomada del Alimento al circuito de Molienda Primaria-Secundaria (Alimento Planta Concentradora- Faja JM 02). Esta muestra es tomada para las tres pruebas de experimentación a realizarse. La metodología de muestreo en faja se realizó por intervalos de tiempo de 1 hora en una guardia, con el fin de obtener una muestra representativa del mineral.

Figura 15

Toma de la muestra en la faja JM 02.



Nota: El muestreo se realiza en la alimentación del molino cada cierto tiempo hasta obtener una muestra con peso representativo a la alimentación fresca.

4.2.2.2. Trasvasado, rotulado y secado de muestras

Se trasvasa la muestra en bandejas limpias para secarlo las muestras en el Horno Grieve a temperatura de 300°F, cuando las muestras están secas, verificar que las muestras se encuentran relativamente secas introduciendo una espátula de metal y observando que no se adhieren partículas a la misma, esto indicará que se puede proceder con el siguiente paso.

Figura 16

Trasvasado, rotulado de la muestras en bandejas.



Nota: En la figura se muestra el proceso de llenado de la muestra para llevarlos a un horno donde se procederá el secado, inicialmente las bandejas deben de estar limpias libre de cualquier tipo de contaminante.

El proceso de secado se realiza por medio de la evaporación esto a causa por la elevación de la temperatura hasta llegar al punto de ebullición, con esto se libera todas partículas líquidas del mineral.

Figura 17

Secado de la muestra en un horno a 300 °F.



Nota: En la imagen se muestra todas las bandejas llenas de la muestra a secar, con el fin de poder eliminar toda la humedad contenida en el mineral fresco.

4.2.2.3. Tamizado y Chancado

La muestra inicialmente es tamizada en malla 10Ty. El retenido es reducido de tamaño en la chancadora de rodillos, cuyo producto es tamizado en la misma malla, repitiendo la operación hasta que el 100% de la muestra pase la malla 10Ty.

Tabla 9

Tamizado Y Chancado

Alimento	F₈₀ (µm)	7000	% Ac pass 3/8"	94
Producto	P₈₀ (µm)	1300	% Ac pass m 10Ty	100

Nota.de elaboración propia.

Figura 18

Chancado Primario de Mandíbulas.



Nota: La imagen muestra chancadora de quijadas lo cual realiza el chancado primario de la muestra del mineral.

Una vez liberado la humedad del mineral en el horno, se procede a realizar el chancado primario con la utilización de una chancadora de mandíbulas, el fin es reducir la granulometría del mineral para la siguiente etapa. El producto del chancado primario

pasa por un tamizado en una malla 10Ty y el retenido sobre esta pasa a la etapa de chancado en una chancadora de rodillos.

Figura 19

Chancadora de rodillos, chancado de retenido.



Nota: La imagen muestra una chancadora de rodillos, este equipo se encarga de reducir del tamaño del mineral que fue rechazado por la malla 10Ty.

La chancadora de rodillos produce menos polvo, un producto chancado homogéneo y mínimo fino.

Este tipo de chancadora es usado en laboratorio de preparación mecánica de los minerales, el alimentador que posee distribuye uniformemente el material a chancar haciendo que el desgaste de los rodillos también sea uniforme.

4.2.2.4. Homogenización

El técnico metalurgista o ayudante de laboratorio metalúrgico, Pondrá la muestra en una manta se comenzará el homogenizado, rolear de extremos opuestos hasta obtener una muestra homogénea.

Figura 20

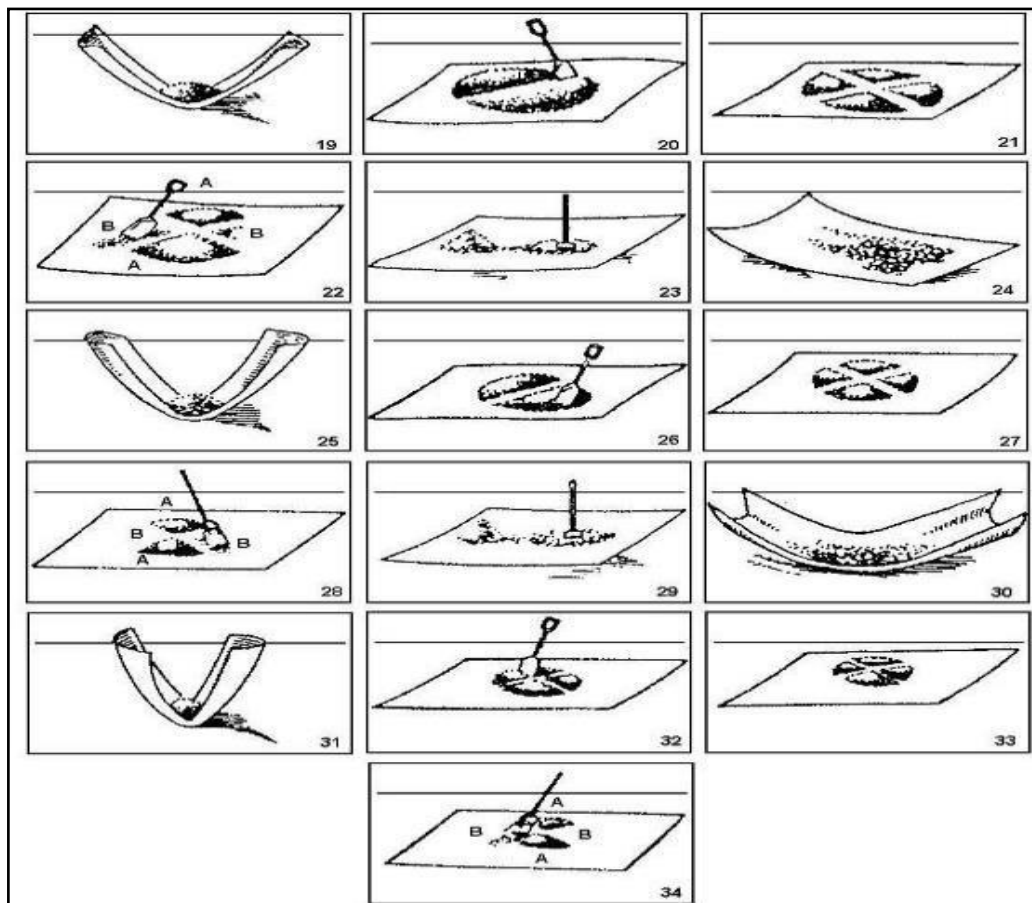
Fotografía de la homogenización de la muestra



Nota.de elaboración propia.

Figura 21

Pasos de homogenización de la muestra.



Nota: la imagen muestra los pasos del proceso de homogenización y cuarteo.

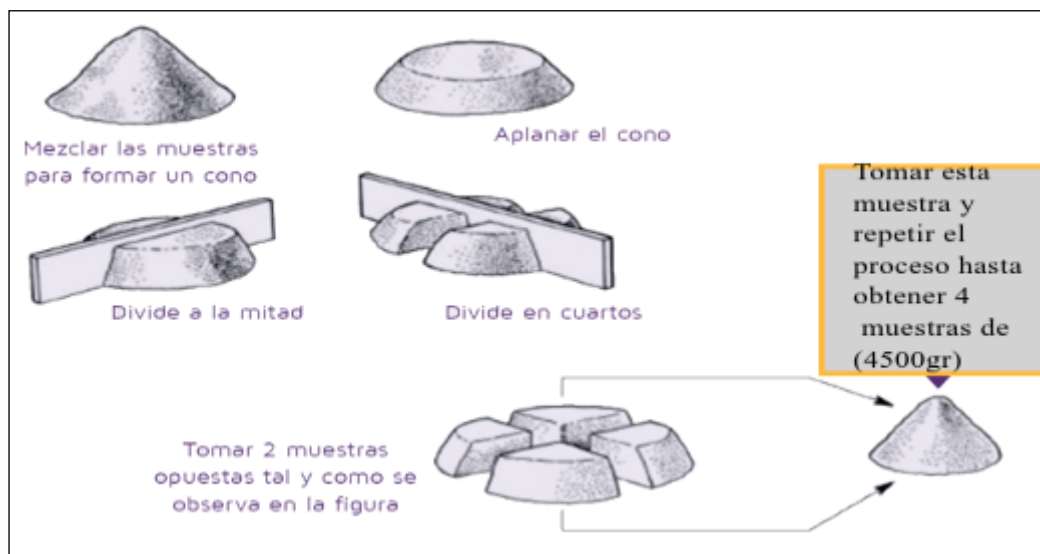
El cuarteo y homogenización permite obtener muestras muy pequeñas representativas de una muestra original, este proceso se realiza antes y después de diferentes procesos de preparación mecánica. La homogenización es muy importante su correcto uso ya que la representativa depende de ello.

4.2.2.5. Cuarteo

Una vez obtenida una muestra homogénea, se realiza el cuarteo de muestras, por el método cónico; homogenizar y dividir la muestra, recoger los extremos opuestos, hasta llegar al peso de 4500gr 4 Muestras.

Figura 22

Cuarteo por conos de la muestra.



Nota: El cuarteo de la muestra se realiza por método mostrado en la imagen, e cuarteo por conos.

El cuarteo tipo de cuarteo usado en el laboratorio es el de tipo cuarteo por conos, que consiste en realizar una pila en el mineral muestreado, en forma de un cono, esto se aplana suavemente hasta formar un círculo cónico con una altura inferior a la del cono inicial, a este círculo se parte en cuatro partes iguales con la ayuda de una cruz, luego se separan las 4 partes, 2 partes opuestas se desechan y las dos partes opuestas que quedan

se juntan y se sigue el proceso de cuarteo hasta lograr el peso adecuado de la muestra que se requiere para análisis o pruebas.

Figura 23

Fotografías del cuarteo de la muestra.



Nota: la figura muestra un operado realizando el cuarteo.

4.2.2.6. Tamizar en el Ro - Tap ATM Malla 40Ty

Se tamizará cada muestra en una malla 40Ty el retenido se molerá. Esta operación en donde el material es separado en base a su tamaño con la ayuda de una malla o tamiz.

Figura 24

Obtención del peso del rechazo de las mallas.



Nota: la imagen muestra un operado realizando el tamizaje y pesado correspondiente del resultado obtenido.

El material retenido se denomina oversize y el material pasante se denomina undersize, las partículas mayores que la abertura de malla son retenidas y mientras que las partículas inferiores al tamaño de abertura de la malla pasan a través de ella.

Figura 25

Muestra del pasante y rechazo de la malla 40Ty.



Nota: se muestra el producto del tamizado (-40) son las partículas pasantes o inferiores a la malla 40Ty y (+40) son las partículas mayores a la malla 40Ty conocida como oversize.

La muestra obtenida llamada oversize pasa a la etapa de molienda, con el fin de seguir disminuyendo el tamaño de las partículas.

4.2.3. Molienda

El retenido de la malla 40Ty se molerá en un molino de rodillos.

Esta es la etapa final de molienda en donde se reduce de tamaño el mineral para el primero y segundo experimento en caso de tercer experimento aun no es la etapa final, ya que el producto de la descarga de la concentración rougher se aplica una molienda más en el circuito.

Figura 26

Molienda del rechazo de la malla 40Ty.



Nota: la figura muestra la adición del mineral a moler y también el proceso de molienda.

4.2.4. Concentración etapa rougher

Una vez obtenido el producto de la molienda Over size y con el pasante de la malla 40Ty se junta y se realizara las siguientes pruebas experimentales.

- **Prueba 1:** D80 de alimento a mesa vibratorio Rougher 401 μm ,
- **Prueba 2:** D80 de alimento a mesa vibratorio Rougher 298 μm .
- **Prueba 3:** D80 de alimento a mesa vibratorio Rougher 380 μm .

Para realizar estas pruebas de concentración en la mesa rougher se tomó parámetros mecánicos de operación de la mesa rougher los mismos para los tres experimentos que se presenta la en la siguiente tabla:

Tabla 10

Parámetros de operación de la mesa Rougher.

		ROUGHER
< Inclinación	EJE "X"	1
	EJE "Y"	4
Flujo de agua	ALIMENTO (L/min)	2.4
	LAVADO (L/min)	8
Alim. Vibratorio	FRECUENCIA (Hz)	7.5

Nota: la mesa rougher tiene una inclinación de 1 en el eje "x" y 4 en el eje "y", también detalla el flujo de agua consumido.

Figura 27

Etapas de concentración rougher del experimento.



Nota: en las figuras se pueden probar la veracidad de la etapa de concentración rougher realizada.

En esta etapa inicial de concentración gravimétrica de las pruebas se toma diferentes granulometrías de alimentación como se mencionó más adelante.

Tabla 11

Análisis de la granulometría de alimentación a mesa rougher.

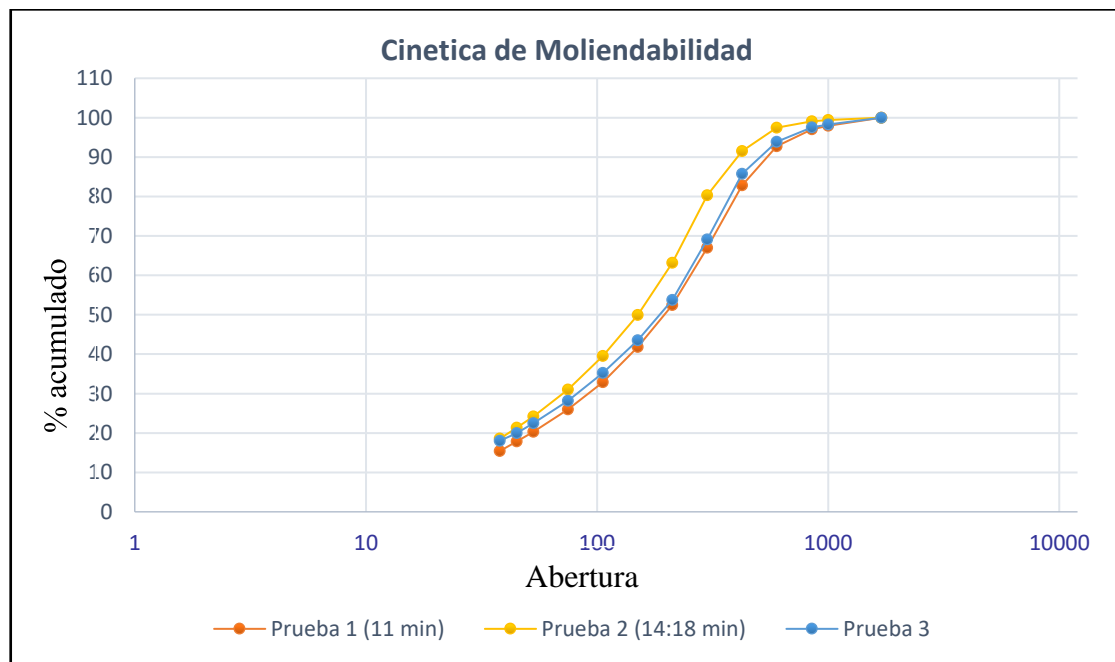
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE ALIMENTO MESAS ROUGHER													
Malla	Abertura (µm)	Prueba 1 (11 min)				Prueba 2 (14:18 min)				Prueba 3			
		Peso (g)	% Retenido Parcial	% Acumulado Pasante	D80	Peso (g)	% Retenido Parcial	% Acumulado Pasante	D80	Peso (g)	% Retenido Parcial	% Acumulado Pasante	D80
12	1700		0.00	100.00	0		0.00	100.00	0		0.00	100.00	0
18	1000	5.60	2.04	97.96	0	1.70	0.59	941	0	8.80	1.71	98.29	0
20	850	2.40	0.87	97.09	0	0.90	0.31	99.10	0	4.00	0.78	97.51	0
30	600	11.80	4.30	92.79	0	4.80	1.66	97.44	0	18.50	3.60	93.91	0
40	425	27.30	9.94	82.85	401	17.20	5.95	91.50	0	41.90	8.15	85.76	380
50	300	43.50	15.84	67.02	0	32.30	11.16	80.33	298	85.70	16.68	69.08	0
70	212	39.90	14.52	52.49	0	49.50	17.11	63.22	0	78.80	15.33	53.75	0
100	150	29.40	10.70	41.79	0	38.40	13.27	49.95	0	52.60	10.24	43.51	0
140	106	24.50	8.92	32.87	0	30.20	10.44	39.51	0	42.30	8.23	35.28	0
200	75	19.00	6.92	25.96	0	24.50	8.47	31.04	0	36.70	7.14	28.14	0
270	53	15.60	5.68	20.28	0	19.70	6.81	24.23	0	29.20	5.68	22.46	0
325	45	6.70	2.44	17.84	0	8.40	2.90	21.33	0	12.80	2.49	19.96	0
400	38	6.60	2.40	15.44	0	8.00	2.77	18.56	0	9.90	1.93	18.04	0
<38		42.4	15.44	0.00	0	53.7	18.56	0.00	0	92.7	18.04	0.00	0
Total		274.7	100	401 µm	289.3	100	298 µm	513.9	100	380 µm			

Nota: La tabla muestra el análisis granulométrico del producto de molienda y esta es tomada en la alimentación de la mesa rougher, detalla para los tres tipos de pruebas, para las tres pruebas se varió el tiempo de molienda para llegar a la granulometría propuesta de alimentación.

En la **tabla 11**, El peso de cada una de las muestras tomadas no son iguales porque se toma una muestra de cada una de las tres muestras se pesa y luego se realiza el análisis granulométrico, una vez concluida se vuelven a adicionar la muestra a cada una de las pruebas para no afectar el peso de 4500 gramos al iniciar, en donde, se obtuvieron los siguientes resultados, el tiempo de molienda para la primera prueba fue de 11 minutos, con este tiempo de molienda se llega a una granulometría de 80% de pasante en 401 μ m de granulometría. Para la segunda prueba el tiempo de residencia del mineral en el molino es de 14:18 minutos con este tiempo de molienda se logra llegar a una granulometría del 80% en la malla 298 μ m de granulometría. Para la tercera prueba se tomó una granulometría de pasantes inferior a 380 μ m.

Figura 28

Gráfico de la cinética de moliendabilidad.



Nota: La figura muestra el gráfico de la eficiencia del tiempo de molienda respecto a la granulometría adecuada.

La **figura 28**, se puede interpretar que la prueba 2 es la más eficiente, con el tiempo de molienda de 14:18 minutos es la que más se acerca a un 80% de granulometría pasante. Mientras que las prueba 1 y prueba 3 está por debajo de la curva de prueba 2.

Figura 29

Producto de la concentración mesa rougher.



Nota: la figura muestra las fotografías del producto de la mesa rougher, el primero se aprecia el concentrado, el segundo son los mixtos que tendrán otro tratamiento posterior y la última es el relave.

El concentrado del proceso de concentración gravimétrica rougher es la parte valiosa, los mixtos es el producto que de material estéril y el material valioso, este producto aun sufrirá un proceso, mientras que el relave es la parte estéril y casi no contiene la materia valiosa por ende este producto es conducido a relevaras.

4.2.5. Etapa de flotación sulfuros

En esta etapa de flotación de sulfuros el objetivo es realizar una limpieza utilizando el proceso de flotación de sulfuros. La flotación de los sulfuros es uno de los procesos más selectivos para realizar la separación, la separación se produce en medios

gracias a las diferencias en las propiedades físico-químicas, este proceso se realiza por medios densos por eso es que se usan modificadores de la superficie de las partículas.

Tabla 12

Parámetros de operación en las celdas de flotación de sulfuros.

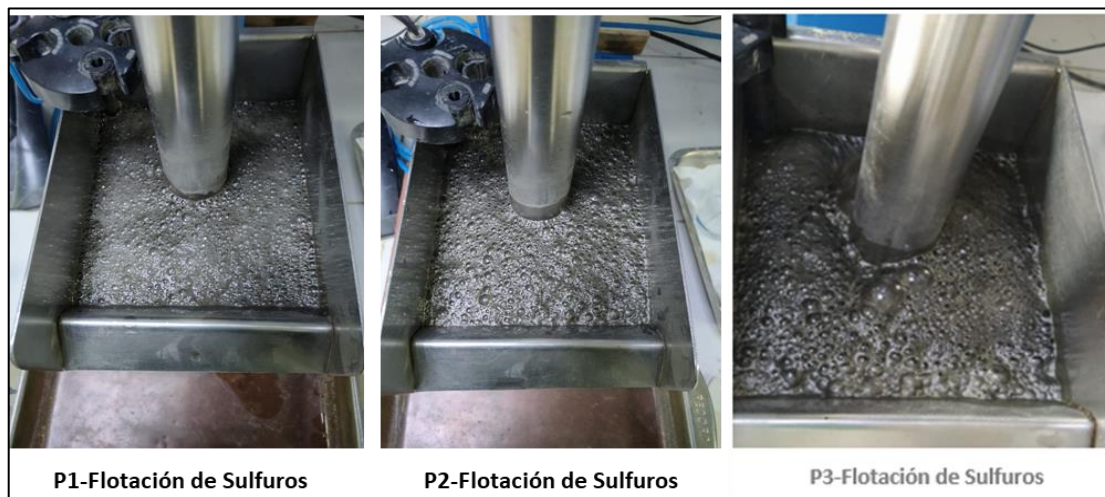
Etapa	% Sólidos	pH	Dosificación g/TMS	
			Z-11	D250
Ro Sulfuros	26	5.5	200	100

Nota: En la tabla se puede apreciar los parámetros de la dosificación de los reactivos para el proceso de flotación de sulfuros.

Interpretación de la tabla 12, El objetivo flotar los sulfuros, el porcentaje de sólidos es de 26% de sólidos, el pH de la pulpa para trabajar tiene que ser de 5.5 en medio ácido, el colector xantato Z-11 tiene que dosificarse en 200g/TMS y D250 en 100g./TMS.

Figura 30

Proceso de flotación de sulfuros.



Nota: Las tres fotografías que se muestran en la figura muestra una pulpa con espumas compuestas de sulfuros



4.2.6. Etapa de concentración gravimétrica cleaner

Esta es la etapa final de la experimentación el objetivo es aumentar el porcentaje de concentración en el producto de esta etapa de concentración gravimétrica etapa Cleaner.

Al igual que al proceso anterior, este proceso de cleaner consiste en la limpieza del concentrado y tiene como objetivo aumentar la ley del concentrado de rougher y flotación de sulfuros. La etapa cleaner es selectiva, a fin de alcanzar un producto con las exigencias del mercado.

En esta etapa se adquiere el concentrado final de la etapa de gravimetría, los parámetros de experimentación en la alimentación del cleaner se detallan a continuación:

- **Prueba 1 (estándar):** D80 de alimento Etapa de mesa vibratoria Cleaner 246 μm .
- **Prueba 2:** D80 de alimento Etapa de mesa vibratoria Cleaner 166 μm .
- **Prueba 3:** D80 de alimento de mesa vibratoria Cleaner 186 μm .

Las dos primeras pruebas son similares el circuito del proceso, la diferencia está en la prueba P-3 en el circuito de esta prueba se implementó un molino de bolas antes de la flotación de sulfuros y después de ese proceso el mineral ingrese a la etapa de concentración cleaner.

Para realizar estas pruebas finales de concentración en la mesa cleaner se tomó parámetros mecánicos de operación de la mesa cleaner los mismos para los tres experimentos que se presenta la en la siguiente tabla:

Tabla 13

Parámetros de operación de la mesa Vibratoria Cleaner.

		CLEANER
< Inclinación	EJE “X”	2
	EJE “Y”	4
Flujo de agua	ALIMENTO (L/min)	2
	LAVADO (L/min)	8
Alim. Vibratorio	FRECUENCIA (Hz)	6.5

Nota: la mesa cleaner tiene una inclinación de 2 en el eje “x” y 4 en el eje “y”, también detalla el flujo de agua consumido.

Figura 31

Etapa de concentración Cleaner, final del experimento.



Nota: la figura muestra tres fotografías del proceso de limpieza cleaner para probar la veracidad de las pruebas.

Tabla 14

Análisis de la granulometría de alimentación a mesa vibratoria cleaner

Malla	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE ALIMENTO MESAS CLEANER														
	PRUEBA-1					PRUEBA-2					PRUEBA-3				
	Abertura (μm)	Peso (g)	% Retenido Parcial	% Acumulado Pasante	D80	Peso (g)	% Retenido Parcial	% Acumulado Pasante	D80	Peso (g)	% Retenido Parcial	% Acumulado Pasante	D80		
12	1700	0.00	0.00	100.00	0	0.00	0.00	100.00	0	0.00	0.00	100.00	0		
18	1000	0.00	0.00	100.00	0	0.00	0.00	100.00	0	0.00	0.00	100.00	0		
20	850	0.00	0.00	100.00	0	0.00	0.00	100.00	0	0.00	0.00	100.00	0		
30	600	0.00	0.00	100.00	0	0.00	0.00	100.00	0	0.00	0.00	100.00	0		
40	425	3.60	0.55	99.45	0	0.00	0.00	100.00	0	0.00	0.00	100.00	0		
50	300	78.90	11.99	87.47	246	3.40	0.59	99.41	0	0.90	0.14	99.86	0		
70	212	82.50	12.53	74.94	0	78.30	13.62	85.79	166	81.20	12.96	86.90	186		
100	150	81.60	12.40	62.54	0	46.90	8.16	77.63	0	105.10	16.77	70.13	0		
140	106	109.10	16.57	45.97	0	95.60	16.63	61.01	0	144.90	23.12	47.01	0		
200	75	144.60	21.97	24.00	0	155.10	26.97	34.03	0	121.60	19.40	27.60	0		
270	53	83.50	12.68	11.32	0	106.20	18.47	15.57	0	72.10	11.50	16.10	0		
325	45	25.00	3.80	7.52	0	34.30	5.97	9.60	0	20.00	3.19	12.91	0		
400	38	18.50	2.81	4.71	0	24.20	4.21	5.39	0	16.90	2.70	10.21	0		
<38		31.0	4.71	0.00		31.0	5.39	0.00		64.0	10.21	0.00			
Total		658.3	100		246 μm	575.0	100		166 μm	626.7	100		186 μm		

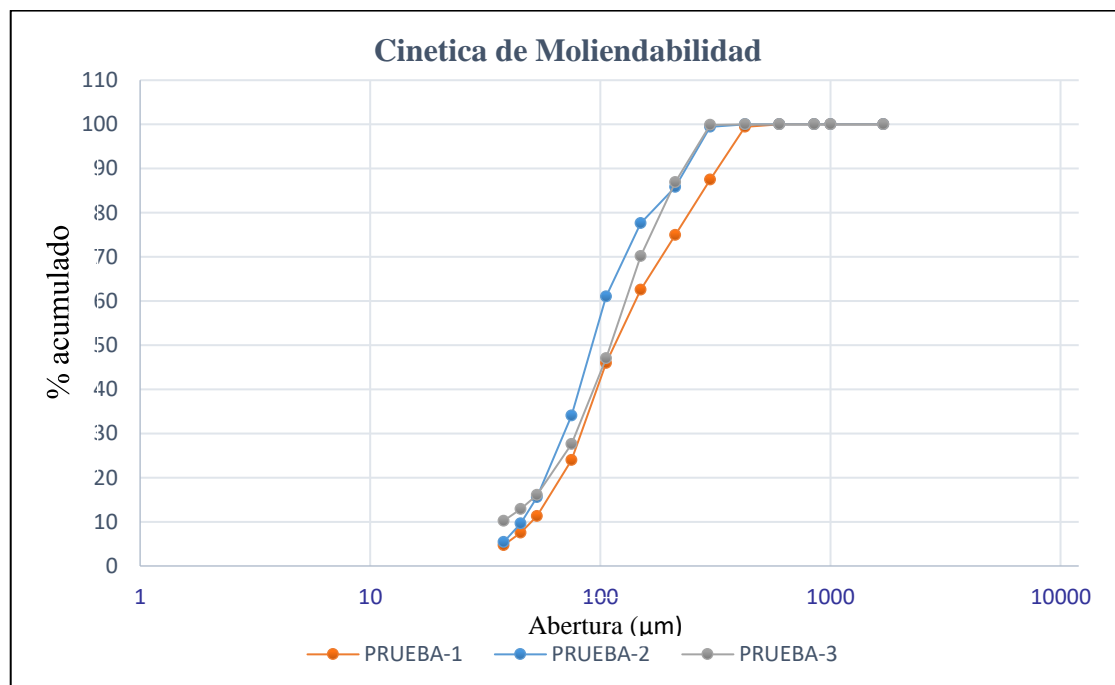
Nota: La tabla muestra el análisis granulométrico del producto de la flotación de sulfuros y esta es tomada en la alimentación de la mesa vibratoria rougher, detalla para los tres

tipos de pruebas, para las dos primeras pruebas el circuito es similar, la diferencia está en el circuito de la prueba P-3 en esta prueba se agregó al circuito un molino con el objetivo de dar una molienda al mineral antes del ingreso a flotación de sulfuros. Para llegar a la granulometría propuesta de alimentación.

Según la **tabla 14**, El peso de cada una de las muestras tomadas no son iguales porque se toma los concentrados de la etapa rougher y luego se realiza el análisis granulométrico, una vez concluida se vuelven a adicionar la muestra a cada una de las pruebas para no afectar el peso de 4500 gramos al iniciar, en donde, se obtuvieron los siguientes resultados, para la prueba P-1 la granulometría de alimentación a la mesa vibratoria cleaner es del 80% pasante a la malla 246 μm . Para la segunda prueba P-2 la granulometría de alimentación a la mesa cleaner es del 80% pasante a la malla 166 μm . Para la tercera prueba P-3 se agregó un molino antes de la flotación de sulfuros por 2 minutos de molienda, como ya se menciona más adelante esto con el objetivo de poder llegara a la granulometría propuesta en la experimentación para la tercera prueba, la granulometría alimentada a la mesa cleaner es del 80% pasante a la malla 186 μm .

Figura 32

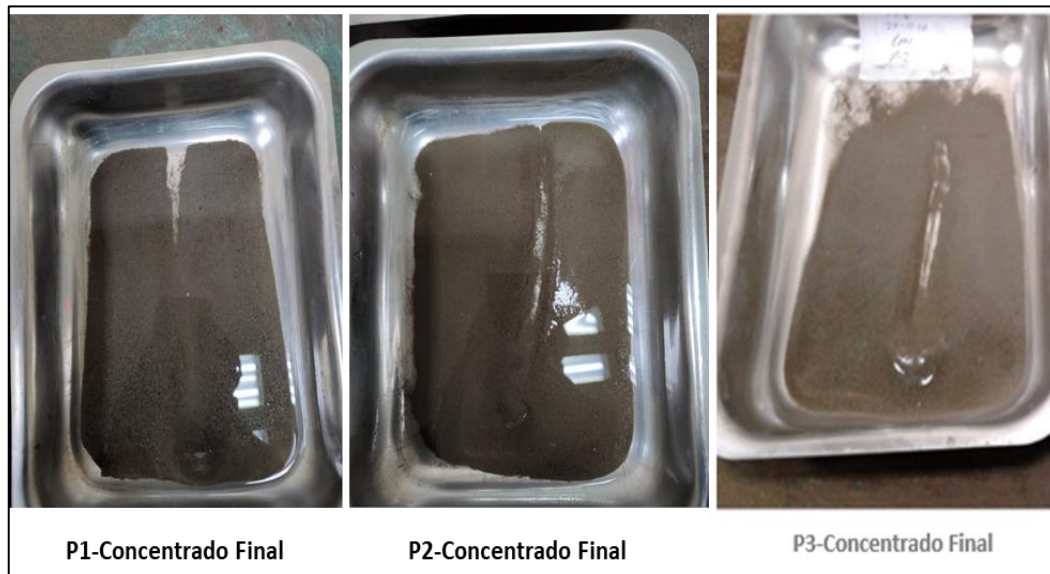
Etapas de concentración cleaner, final del experimento.



Nota: La figura muestra la representación gráfica, el % acumulado pasante en eje “y” y la abertura en μm en el eje “x”.

Figura 33

Productos de la concentración gravimétrica mesa cleaner.



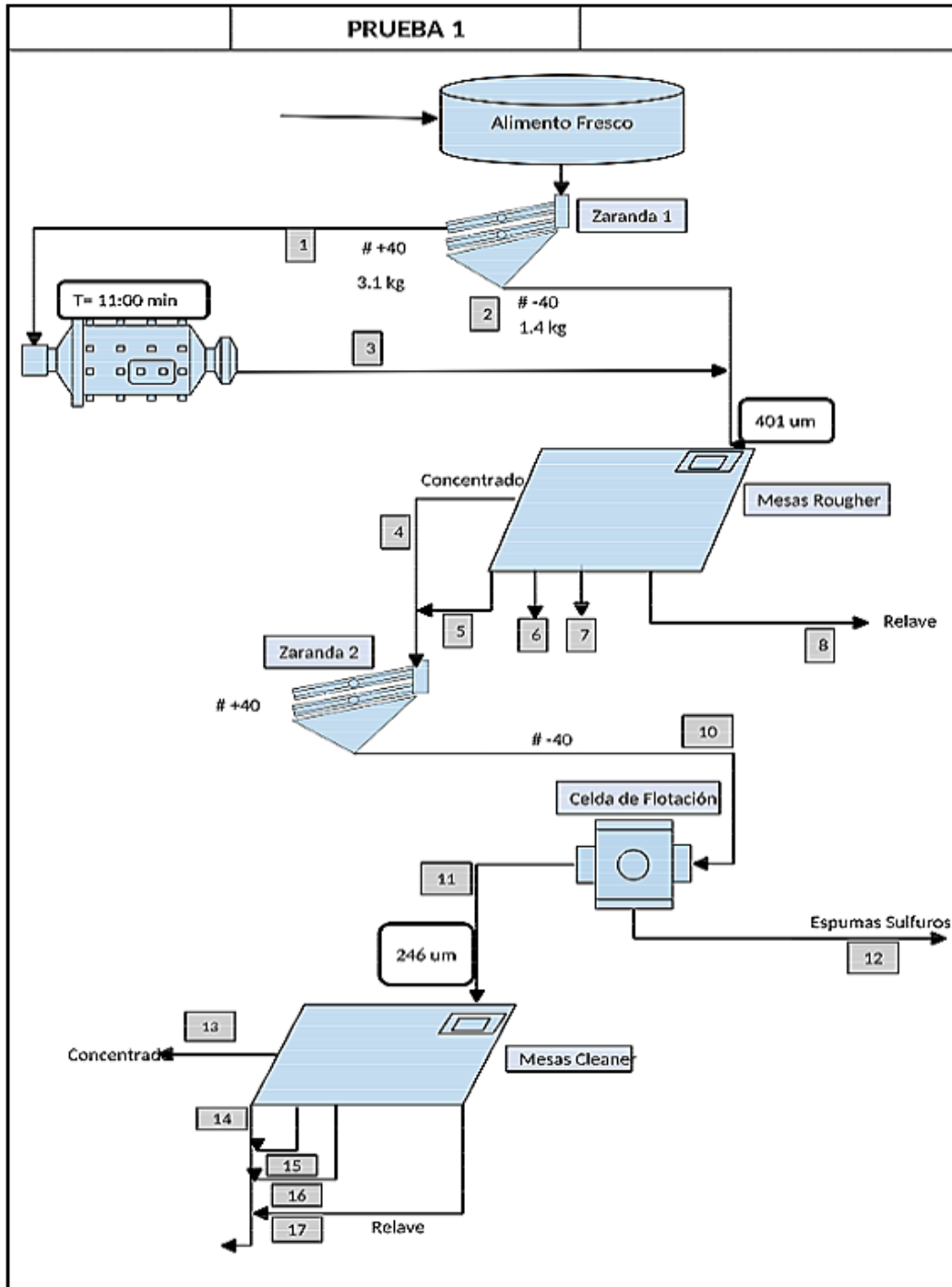
Nota: la figura muestra tres fotografías tomadas a los productos finales de la concentración gravimétrica mesa cleaner. En la primera fotografía se muestra el concentrado de la prueba P-1, en la segunda fotografía se muestra el concentrado de la prueba P-2 y finalmente la tercera fotografía es el concentrado de la prueba P-3.

El final de la experimentación concluye con la etapa de cleaner, como se planteó el objetivo es obtener mayor recuperación del estaño en esta etapa cleaner, para lo cual se varió la granulometría en dos puntos estratégicos del proceso, en la alimentación de la etapa rougher y en la alimentación de la etapa final cleaner.

Los resultados de estas pruebas se presentarán desde el ítem 4.2.6. también conocida como experimentación

4.2.7. Experimento N° P-1

Figura 34
proceso de experimentación P-1.



Interpretación de la figura 34 prueba 1: Como se puede apreciar en el diagrama el proceso empieza con la alimentación del mineral fresco al circuito de concentración gravimétrica.



Zaranda 1: seguidamente pasa a un tamizado para la selección de los grueso y finos sobre una malla 40Ty, el rechazo de esta malla es alimentados a un molino de bolas para su reducción, en la prueba realizada el peso del rechazo fue de 3.1 kilogramos y de pasante es de 1.4 kilogramos.

Molienda: esta parte del proceso juega un papel importante, aquí se dio una molienda de 11 minutos para llegar a la granulometría propuesta de experimentación antes de la alimentación a la mesa rougher.

Mesa rougher: el minero alimentado a este proceso es de una granulometría $401\mu\text{m}$ procedentes de los pasantes del tamizado y producto de la molienda. La concentración gravimétrica mesa rougher tiene 5 productos, el producto 8 representa el relave y los demás son concentrados las cuales son alimentado a un tamizado.

Zaranda 2: en esta parte del proceso se vuelve a realizar un tamizado en la malla 40Ty del concentrado obtenido de la meza rougher.

Celda de flotación: el producto del tamizado es alimentado a la celda de flotación, en esta etapa del proceso se realiza la flotación acondicionando a la parte sulfurada del mineral de esta manera se elimina los sulfuros del concentrado.

Mesa cleaner: el concentrado libre de sulfuros de la flotación es alimentado a la etapa de concentración gravimétrica mesa cleaner con una granulometría de $246\mu\text{m}$, teniendo como producto final el concentrado y relave, este proceso es la parte final del experimento.

Tabla 15

Resultados del experimento número P-1.

Producto	Peso		% Sn	%S	Contenido Metálico		% de Distribución	
	(g)	%			(g)		Sn	S
			Sn	S	Sn	S		
Concentrado Cleaner	110.7	2.55	46.56	0.01	51.54	0.01	58.31	0.10
Mxto-1 Cleaner	249.4	5.74	5.55	0.01	13.84	0.02	15.66	0.22
Mixto-2 Cleaner	277.0	6.38	0.64	0.01	1.77	0.03	2.01	0.25
Espumas Sulfuros	33.6	0.77	1.75	27.50	0.59	9.24	0.67	82.45
Retenido 425 µm	192.6	4.43	5.20	0.71	10.02	1.37	11.33	12.20
Mixto-2 Rougher	1002.4	23.08	0.24	0.01	2.41	0.10	2.72	0.89
Mixto-3 Rougher	1541.9	35.50	0.23	0.01	3.55	0.15	4.01	1.38
Relave Rougher	936.1	21.55	0.50	0.03	4.68	0.28	5.30	2.51
Cabeza Calculada	4343.7		2.03	0.26				
Cabeza Ensayada	4500.0		2.19	0.27				

Nota: la tabla muestra un resumen del balance de todo el circuito de la primera prueba P-1.

Interpretación de la tabla 15: para realizar esta prueba se tuvo una muestra de 4500 gramos de mineral con una ley 2.19% de estaño, en donde el concentrado final en la etapa de concentración cleaner se obtuvo el 58.31% de recuperación, con un 2.55% del peso total con 46.56% de estaño, con un contenido metálico de 51.54 gramos de estaño.

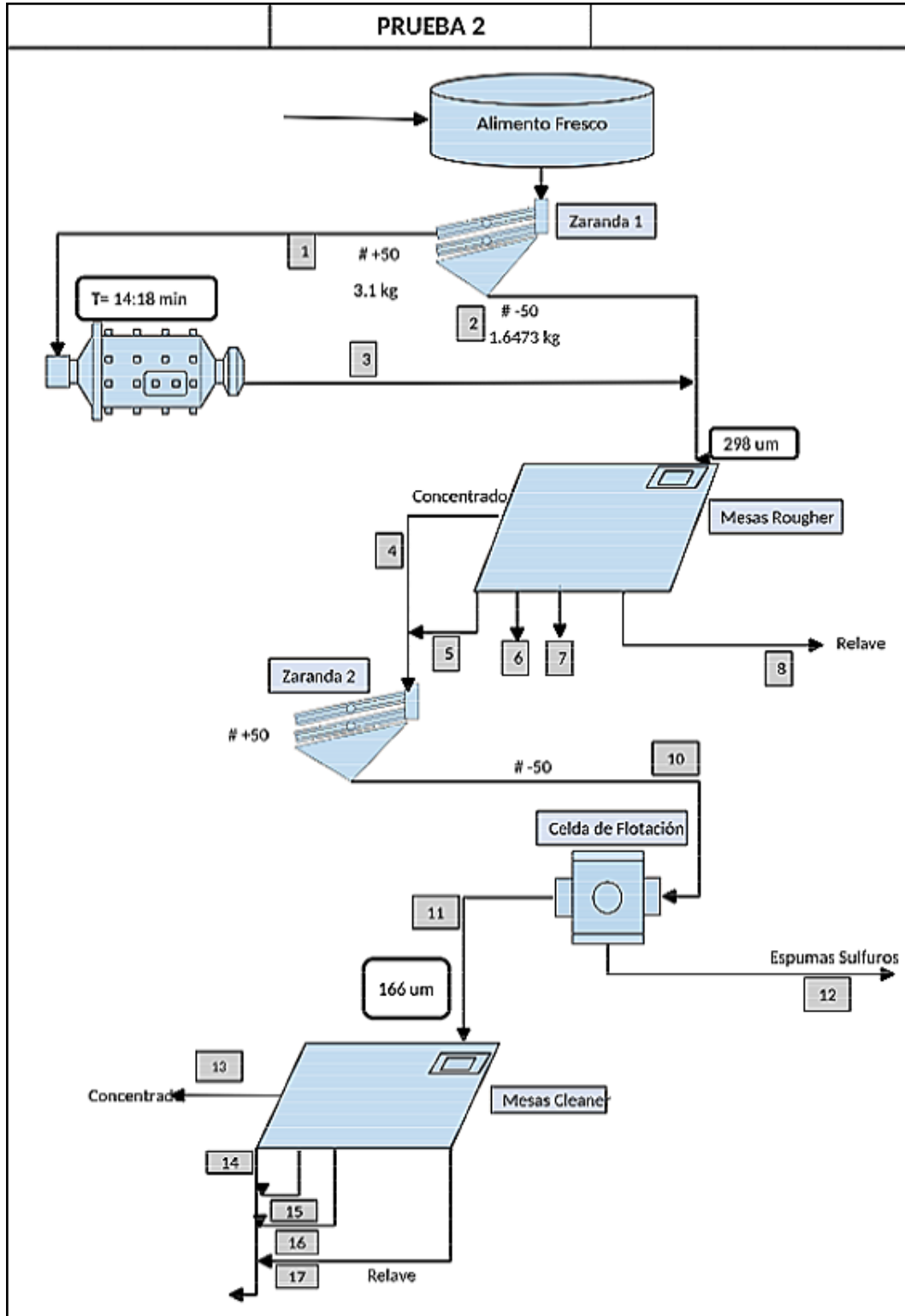
En los relaves están compuesto por dos etapas del proceso en mesa rougher con un peso del 21.55% del peso total con una ley 0.5% de estaño y en el relave de la flotación los sulfuros la cual representa un 0.77% del peso total con un 1.75% de estaño.

El resto de los productos que no aparecen como relave esencialmente no son relaves son alimentados al proceso que sigue o llevados a otro tipo de procesos.

4.2.8. Experimento N° P-2

Figura 35

Proceso de experimentación P-2.





Interpretación de la figura 35 prueba 2: Como se puede apreciar en el diagrama el proceso empieza con la alimentación del mineral fresco al circuito de concentración gravimétrica.

Zaranda 1: seguidamente pasa a un tamizado para la selección de los grueso y finos sobre una malla 40Ty, 3.1 kilogramos es el peso del rechazo del tamiz, 1.6473 kilogramos son los finos; el rechazo de esta malla es alimentados a un molino de bolas para su reducción.

Molienda: en esta parte del proceso se le da un tratamiento de reducción de tamaño por molienda a los gruesos del tamizado anterior, el tiempo de molienda es de 14 minutos y 18 segundos, el producto será alimentado la mesa rougher junto con los finos del tamizado.

Mesa rougher: esta es la etapa de concentración gravimétrica en mesa rougher el alimento tiene una granulometría de 298 μ m el cual tiene 5 productos cuatro de ellas es concentrado y una se va al relave.

Zaranda 2: los cuatro productos de la mesa rougher son alimentados a esta etapa de tamizado sobre la malla 50Ty, posteriormente es alimentado a la siguiente etapa.

Celda de flotación: en esta etapa del proceso se realiza la eliminación de los sulfuros modificando su superficie y posterior flotado, obteniendo como producto un concentrado y un relave.

Mesa cleaner: esta etapa es la parte final del proceso y de la prueba, la alimentación es de una granulometría 166 μ m, y como productos se obtiene un concentrado y cuatro productos como relave

Tabla 16

Experimento número P-2.

Producto	Peso		% Sn	%S	Contenido		% de	
	(g)	%			Metálico (g)		Distribución	
			Sn	S	Sn	S		
Concentrado Cleaner	116.0	2.67	48.73	0.01	56.53	0.01	63.24	0.14
Mxto-1 Cleaner	169.9	3.91	4.58	0.01	7.78	0.02	8.71	0.20
Mixto-2 Cleaner	290.2	6.69	0.43	0.01	1.25	0.03	1.40	0.35
Espumas Sulfuros	31.6	0.73	1.65	17.9 0	0.52	5.66	0.58	67.32
Retenido 300 µm	173.1	3.99	6.98	1.03	12.08	1.78	13.52	21.22
Mixto-2 Rougher	928.7	21.40	0.20	0.01	1.86	0.09	2.08	1.11
Mixto-3 Rougher	1714.9	39.51	0.21	0.01	3.60	0.17	4.03	2.04
Relave Rougher	915.5	21.09	0.63	0.07	5.77	0.64	6.45	7.63
Cabeza Calculada	4339.9		2.06	0.19				
Cabeza Ensayada	4500.0		2.07	0.25				

Nota: la tabla muestra los resultados de la prueba numero dos P-2.

Interpretación de la tabla 16: como se aprecia en la tabla la prueba fue corrida con 4500 gramos de muestra con una cabeza ensayada de 2.07% de estaño, la recuperación obtenida en la etapa final de la prueba en mesa cleaner se obtuvo una recuperación de 63.24% de estaño, con un contenido metálico de 56.53% de estaño.

En los relaves se aprecia un total de dos relaves de la etapa concentración rougher y en la etapa de flotación de sulfuros; las características del relave de rougher es un 21.09% de peso con un 0.63% de estaño, y las características del relave de flotación son las siguientes, con un 0.73% de peso y 1.65% de estaño.

Al igual que en la primera prueba los productos que no están considerados como relave son alimentados al proceso siguiente o llevados a otros tipos de procesos.



Interpretación de la figura 36 prueba 3: Como se puede apreciar en el diagrama de la prueba 3 el proceso empieza con la alimentación del mineral fresco al circuito de concentración gravimétrica.

Zaranda 1: seguidamente pasa a un tamizado para la selección de los grueso y finos sobre una malla 40Ty, el rechazo de esta malla es alimentados a un molino de bolas para su reducción, el peso del rechazo del tamiz es de 3.1 kilogramos y el peso del pasante es 1.4 kilogramos.

Molienda 1: esta parte del proceso juega un papel importante, el molino de encarga de reducir el tamaño del rechazo del tamiz, posteriormente el producto será alimentado junto con los finos del tamiz a la mesa de concentración rougher.

Mesa rougher: el proceso de concentración gravimétrica de mesa rougher es alimentado con un mineral de granulometría 380 μm , el producto de la mesa de concentración rougher son cinco y solo uno es relave, el concentrado de este proceso es llevado a una segunda molienda para reducir aún más su granulometría.

Molienda 2: esta etapa del proceso es la que diferencia del tipo de circuito de las pruebas anteriores, incluyendo una segunda etapa de molienda a la salida de la mesa de concentración rougher por un tiempo de 2 minutos.

Zaranda 2: el producto de la segunda molienda se pasa por un tamiz 50Ty.

Celda de flotación: en esta etapa del proceso se procede a flotar todos los sulfuros acondicionando su superficie, de esta manera se eliminan los sulfuros para que el concentrado proceda con la etapa final de cleaner.

Mesa cleaner: es la etapa final del proceso y los resultados se verán a continuación.

Tabla 17*Resultados de experimento número P-3.*

Producto	Peso		% Sn	%S	Contenido		% de	
	(g)	%			Metálico (g)		Distribución	
					Sn	S	Sn	S
Concentrado Cleaner	88.3	2.00	51.54	0.09	45.51	0.08	56.34	0.80
Mxto-1 Cleaner	356.9	8.10	1.53	0.16	5.46	0.57	6.76	5.76
Mixto-2 Cleaner	152.7	3.47	5.59	0.01	8.54	0.02	10.57	0.15
Espumas Sulfuros	32.4	0.74	2.07	15.00	0.67	4.86	0.83	49.01
Retenido 300 µm	127.3	2.89	7.10	0.93	9.04	1.18	11.19	11.94
Mixto-2 Rougher	895.9	20.34	0.37	0.01	3.31	0.09	4.10	0.90
Mixto-3 Rougher	1148.0	26.07	0.23	0.09	2.64	1.03	3.27	10.42
Relave Rougher	1602.5	36.39	0.35	0.13	5.61	2.08	6.94	21.01
Cabeza Calculada	4404.0		1.83	0.23				
Cabeza Ensayada	4500.0		2.19	0.27				

Nota: la tabla muestra los resultados de todo el proceso del circuito denominado P-3.

Interpretación de la tabla 17, como se puede apreciar en la tabla la recuperación obtenida fue de 56.34% de recuperación, con un 51.54% de estaño, con un contenido metálico de 45.51 gramos, estos resultados fueron obtenidos en la etapa final de la prueba, en la etapa de limpieza cleaner.

También se obtuvo dos relaves importantes como son, relave de la etapa de concentración gravimétrica rougher con 36.39% en peso total, con 0.35% de estaño, y 5.61% de contenido metálico de estaño; el relave de las celdas de flotación tiene un peso de 0.74% del peso total, con un 2.07% de estaño, y 0.67 gramos de contenido metálico.

Al igual que en todas las pruebas los que no están considerado como relave son alimentados al siguiente proceso o llevados a otros procesos.

4.3. VALOR ÓPTIMO DE GRANULOMETRÍA

Tabla 18

Resumen de los experimentos corridos.

Prueba	D80 (μm)		% Rec Sn		% Sn Concentrado	
	Rougher	Cleaner	Rougher	Cleaner	Rougher	Cleaner
Prueba 1	401	246	87.97	58.31	13.43	46.56
Prueba 2	298	166	87.44	63.24	13.25	48.73
Prueba 3	380	186	85.68	56.34	11.14	51.54

Nota: la tabla muestra el resumen de los resultados de las tres pruebas.

Interpretación: según el resumen de la tabla 18, se llegó a los siguientes resultados:

Prueba 1 (estándar):

- D80 de alimento Etapa Rougher 401 μm , se obtuvo 87.97% de recuperación.
- D80 de alimento Etapa Cleaner 246 μm . Se obtuvo 58.31% de recuperación.

Prueba 2:

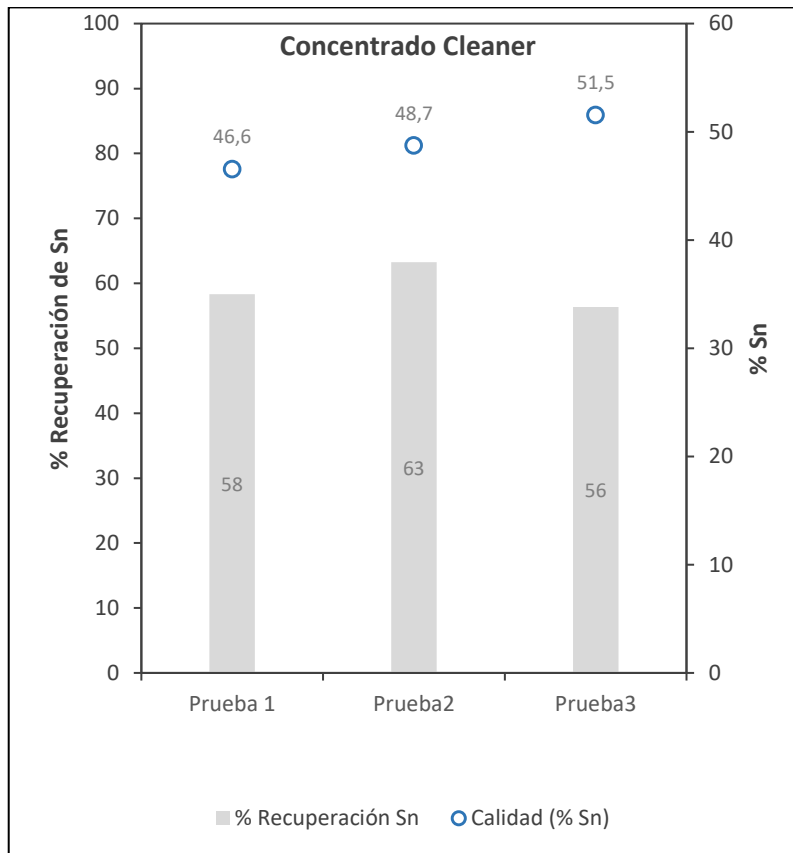
- D80 de alimento Etapa Rougher 298 μm , se obtuvo 87.44% de recuperación.
- D80 de alimento Etapa Cleaner 166 μm , se obtuvo **63.24%** de recuperación.

Prueba 3:

- D80 de alimento Etapa Rougher 380 μm , se obtuvo 85.68% de recuperación.
- D80 de alimento Etapa Cleaner 186 μm , se obtuvo 56.34% de recuperación.

La recuperación más alta obtenida en la concentración cleaner es en la prueba número 2 con **63.24%** de recuperación.

Figura 37
Gráfico del resumen de experimentación.



Nota: la figura muestra la representación gráfica de la tabla 13, en el eje "y" el % de recuperación del estaño, en el eje "x" las pruebas corridas.

Interpretación:

Según la figura 37 la prueba que obtuvo el más alto de recuperación es la segunda prueba P-2, con un 63.24% de recuperación y la más baja la prueba P-3 con 56% de recuperación.

Tabla 19

Reporte diario de la recuperación del circuito de concentración gravimétrica del mes de marzo (post-test).

FECHA	H.O.	TRATAMIENTO CANCHA 1												BALANCE DIA									
		1ER. TURNO						2DO. TURNO						TRATAMIENTO			PROD. GRAV.						
		TMH	H1	TMS	%S	%Sn	TMH	H1	TMS	%S	%Sn	TMH	H1	TMS	%S	%Sn	TMF	TMS	% Sn	TMF	REC		
21	ma	1594	2.20	1558.932	3.15	0.44	1584	2.32	1547.251	3.34	0.56	1578	2.26	3106.183	3.24	0.50	3106	3.24	100.785	140.648	43.29	60.886	60.41
21	mi	1614	2.80	1568.808	3.21	0.77	1608	2.39	1569.569	3.17	0.90	3222	2.60	3138.377	3.19	0.84	3138	3.19	100.114	147.522	42.22	62.287	62.22
21	ju	1587	2.53	1546.849	3.03	1.08	1620	2.37	1581.606	3.12	1.27	3207	2.45	3128.455	3.08	1.18	3128	3.08	96.216	140.323	43.87	61.559	63.98
22	vi	1575	2.39	1537.358	3.38	1.35	1620	2.65	1577.070	3.29	1.11	3195	2.52	3114.428	3.33	1.23	3114	3.33	103.848	139.493	44.85	62.565	60.25
22	sá	1620	2.23	1583.874	3.19	0.94	1613	2.26	1576.546	3.20	1.00	3233	2.24	3160.420	3.19	0.97	3160	3.19	100.975	138.915	44.48	61.796	61.20
22	do	1617	2.03	1584.175	3.06	1.12	1620	2.56	1578.528	3.14	0.94	3237	2.30	3162.703	3.10	1.03	3163	3.10	98.042	136.544	43.05	58.779	59.95
22	lu	1606	2.22	1570.347	2.98	0.83	1620	2.44	1580.472	3.01	0.81	3226	2.33	3150.819	3.00	0.82	3151	3.00	94.369	141.657	40.88	57.911	61.37
22	ma	1617	2.35	1579.001	2.89	0.75	1620	2.57	1578.366	2.94	0.76	3237	2.46	3157.367	2.91	0.75	3157	2.91	92.037	134.970	40.43	54.567	59.29
22	mi	1715	2.59	1670.582	2.34	0.77	1625	2.84	1578.850	2.48	0.74	3340	2.71	3249.432	2.41	0.76	3249	2.41	78.247	116.693	40.90	47.732	61.00
22	ju	1419	2.39	1385.086	2.17	0.90	1605	1.92	1574.184	2.37	0.88	3024	2.14	2959.270	2.28	0.89	2959	2.28	67.365	96.534	40.71	39.296	58.33
23	vi	1415	2.30	1382.455	2.02	0.72	1609	2.13	1574.728	2.06	0.57	3024	2.21	2957.183	2.04	0.64	2957	2.04	60.365	86.452	41.21	35.629	59.02
23	sá	1593	2.69	1550.148	3.10	0.73	1596	2.38	1558.015	3.13	0.61	3189	2.53	3108.164	3.12	0.67	3108	3.12	96.820	133.447	43.80	58.444	60.36
23	do	1593	2.59	1551.741	3.01	0.47	1596	2.67	1553.387	3.05	0.48	3189	2.63	3105.128	3.03	0.48	3105	3.03	94.086	135.999	42.71	58.092	61.74
23	lu	1605	2.39	1566.641	3.16	0.47	1596	2.64	1553.866	3.21	0.68	3201	2.51	3120.506	3.18	0.57	3121	3.18	99.385	144.174	43.33	62.467	62.85
23	ma	1590	2.20	1555.020	3.29	1.02	1587	2.12	1553.356	3.39	0.66	3177	2.16	3108.376	3.34	0.84	3108	3.34	103.819	151.710	42.77	64.883	62.50
23	mi	1601	2.33	1563.697	2.89	0.81	1596	1.88	1565.995	3.02	0.62	3197	2.11	3129.692	2.96	0.71	3130	2.96	92.484	130.747	44.09	57.643	62.33
23	ju	1606	1.90	1575.486	3.53	0.49	1601	2.28	1564.497	3.70	0.54	3207	2.09	3139.983	3.61	0.51	3140	3.61	113.501	161.482	42.46	68.561	60.41
24	vi	1602	1.92	1571.242	2.94	0.47	1601	2.47	1561.455	3.19	0.56	3203	2.19	3132.697	3.06	0.51	3133	3.06	96.005	144.255	40.77	58.811	61.26
24	sá	1615	2.50	1574.625	2.86	0.50	1624	2.95	1576.092	3.03	0.62	3239	2.73	3150.717	2.95	0.56	3151	2.95	92.790	145.377	39.64	57.631	62.11
24	do	1610	1.87	1579.893	2.97	0.72	1615	2.40	1576.240	3.12	0.69	3225	2.14	3156.133	3.04	0.71	3156	3.04	96.102	152.230	38.70	58.918	61.31

24	lu	21-mar	24.00	1609	2.30	1571.993	2.63	0.57	1598	2.91	1551.498	3.31	0.70	3207	2.60	3123.491	2.97	0.63	3123	2.97	92.698	142.043	39.28	55.797	60.19
24	ma	22-mar	24.00	1580	2.32	1543.344	3.18	0.75	1604	2.47	1564.381	3.26	0.90	3184	2.40	3107.725	3.22	0.83	3108	3.22	100.077	159.661	39.07	62.374	62.33
24	mi	23-mar	24.00	1580	2.34	1543.028	3.49	0.76	1604	2.61	1562.136	2.56	0.58	3184	2.48	3105.164	3.02	0.67	3105	3.02	93.842	146.804	38.05	55.865	59.53
24	ju	24-mar	24.00	1503	2.77	1461.367	3.76	0.63	1599	2.65	1556.627	2.49	0.79	3102	2.71	3017.993	3.10	0.71	3018	3.10	93.707	146.836	38.74	56.887	60.71
25	vi	25-mar	24.00	1500	2.62	1460.700	2.96	0.82	1598	2.50	1558.050	2.57	0.83	3098	2.56	3018.750	2.76	0.83	3019	2.76	83.279	126.416	39.01	49.318	59.22
25	sá	26-mar	24.00	1595	2.39	1556.880	2.53	0.90	1596	2.60	1554.504	3.11	0.97	3191	2.50	3111.384	2.82	0.93	3111	2.82	87.734	138.522	38.33	53.099	60.52
25	do	27-mar	24.00	1605	2.59	1563.431	3.08	0.73	1603	2.99	1555.070	3.14	0.89	3208	2.79	3118.501	3.11	0.81	3119	3.11	96.983	144.697	39.56	57.245	59.03
25	lu	28-mar	24.00	1600	2.84	1554.560	2.34	0.79	1593	2.50	1553.175	2.39	1.28	3193	2.67	3107.735	2.36	1.03	3108	2.36	73.498	117.940	38.97	45.965	62.54
25	ma	29-mar	24.00	1502	2.92	1458.142	2.01	0.91	1603	2.98	1555.231	2.08	0.62	3105	2.95	3013.372	2.05	0.76	3013	2.05	61.657	100.624	37.99	38.227	62.00
25	mi	30-mar	24.00	1555	2.75	1512.238	2.07	0.69	1605	2.79	1560.221	3.03	0.74	3160	2.77	3072.458	2.56	0.72	3072	2.56	78.578	123.314	39.18	48.316	61.49
25	ju	31-mar	24.00	1608	3.24	1555.901	3.32	0.87	1605	2.80	1560.060	3.55	0.87	3213	3.02	3115.961	3.44	0.87	3116	3.44	107.038	160.075	40.29	64.498	60.26

Nota.de elaboración Minsur.

Interpretación de la tabla 19, esta tabla es un reporte diario de todo el mes de marzo, se aplicó la granulometría óptima determinada en

laboratorio metalúrgico en el circuito de concentración gravimétrica, se refleja en la columna de recuperación un aumento de promedio anterior de recuperación 50.4% a un promedio de 59.90% de recuperación.



4.4. DISCUSION DE RESULTADOS

A partir estos hallazgos logrados, se acepta la hipótesis general que si es beneficioso la optimización de la granulometría en la etapa rougher para mejorar la concentración del estaño en la etapa cleaner en laboratorio metalúrgico de la Unidad Minera San Rafael Minsur.

Este resultado guarda semejanza con lo que concluyo Vilcapoma & Chávez (2012). En su tesis experimental de pregrado titulado, “Prueba experimentales a nivel de laboratorio de concentración gravimétrica y flotación de minerales de oro en la planta concentradora "Caselita" en Condorama - Cuzco.” (tesis de grado) Universidad Nacional del Centro del Perú, que concentración gravimétrica en las pruebas experimentales el concentrador falcón dio buenos resultados.

De la misma manera el autor Canal (2018). Titulado, “Simulación del proceso de flotación inversa de concentrados de minerales de Wolframio y Pirita”, (tesis doctoral) Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, que los concentrados minerales de wolframio en mesas gravimétricas para incrementar el grado de WO₃ con una granulometría de la muestra es 100 % pasante malla 20 y molida a 64.8 % pasante malla 200 (75 μ). Obtuvo como valor optimo mayor recuperación de 89.43 % de pirita para una prueba central. Con los resultados experimentales y ajuste mediante mínimos cuadrados se obtiene el modelo matemático. Con los valores óptimos de 30.43 % de sólidos, 8.23 g/TM de colector y 8.90 de pH se simula la flotación. El incremento de WO₃, es alrededor de 12 puntos, alcanzando el mejor valor 49.14 %.

De igual manera en la tesis de grado de Diaz (2015). Titulado, “Evaluación del tamaño de partícula en el proceso de flotación para la recuperación de Oro Grueso”, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, obtuvo Las recuperaciones de oro y



plata manipulando las granulometrías de la concentración gravimétrica, recuperación logrados en sus pruebas metalúrgicas del estudio de factibilidad del proyecto. obteniendo concentraciones de 88.4% de este oro que recircula, el cual es un resultado muy superior a la gravimetría de 27.57% del oro recirculante.

También en la tesis de grado de Ponce (1986). Titulado, “Estudio metalúrgico por flotación de los sulfuros de plata de la unidad minera San Juan Lucanas”, Universidad Nacional de Ingeniería, concluye que: aplicando la variación de la concentración gravimétrica logro 89.43 % de pirita para una prueba central. Con los resultados experimentales y ajuste mediante mínimos cuadrados se obtiene el modelo matemático. Con los valores óptimos de 30.43 % de sólidos, 8.23 g/TM de colector y 8.90 de pH se simula la flotación. El incremento de WO₃, es alrededor de 12 puntos, alcanzando el mejor valor 49.14 %.

De la misma forma en la tesis de grado de Diaz (2015). Titulado, “Evaluación del tamaño de partícula en el proceso de flotación para la recuperación de Oro Grueso”, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, modifíco la granulometría de la flotación flash, obteniendo recuperaciones de 88.4% de este oro que recircula, el cual es un resultado muy superior a la gravimetría de 27.57% del oro recirculante.



V. CONCLUSIONES

- En la presente investigación se logró establecer los procesos de preparación mecánica del mineral antes de la etapa rougher, el tiempo de molienda son optimas y se logró incrementar de 14 minutos a 18 segundos.
- En la presente investigación se determinó la granulometría fueron optimas del mineral casiterita, en la etapa rougher que mejoró el porcentaje de concentración en la etapa cleaner, en donde: se obtuvo 63.24% de recuperación con un D80 de 298 μm de granulometría en la alimentación a la mesa rougher y con un D80 de 166 μm de granulometría en la alimentación a mesa cleaner. Con esto se concluye que la optimización de la granulometría en el proceso de concentración gravimétrica es muy importante ya que de ella depende la mejora de la recuperación del estaño en la planta de concentración gravimétrica de la Unidad Minera San Rafael Minsur.



VI. RECOMENDACIONES

- Se debe ejecutar el muestreo del mineral en la faja, alimentación al molino con todos los equipos de protección personal cumpliendo los estándares y Pests de operación de muestreo. Para realizar la preparación mecánica, cuarte se debe de tener cuidado de no contaminar la muestra con mineral de alta ley.
- En el proceso de molienda del Over del tamizado primario se debe de tener en cuenta el tiempo exacto de molienda, si el tiempo es poco puede que el mineral siga grueso, si el tiempo de la molienda es más entonces pude que la granulometría del mineral sea muy fina.
- También se recomienda que los equipos estén en buen estado y operando de buena manera y finalmente se recomienda ser constante con la optimización de la granulometría, para tener una mayor exactitud del valor óptimo.



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Blogger. (10 de 02 de 2022). PROCESAMIENTO DE MINERALES, todo sobre procesamiento, molienda, flotación, separación, actualidad minera. 2010 procesamiento de minerales. Obtenido de <http://procesaminerales.blogspot.com/2012/05/tecnicas-de-muestreo-de-minerales.html>
- Canal, A. (2018). Simulación del proceso de flotación inversa de concentrados de minerales de Wolframio y Piritita [tesis doctoral, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. Arequipa: Repositorio UNAS-Institucional. Obtenido de <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/9284>
- Carbajal, C. & Chávez, A. . (2015). estudio del concentrador gravimétrico helicoidal hecho en fibra de vidrio y sus parámetros de funcionamiento. Arequipa.
- Carbotecnia. (14 de febrero de 2022). Centro de aprendizaje, ¿Qué es la granulometría? Consultado 14 de febrero 2022. Obtenido de Granulometría [blog de la web] : <https://www.carbotecnia.info/aprendizaje/filtracion-de-agua-liquidos/granulometria-o-numero-de-malla/>
- Ciencias N. . (28 de Enero de 2022). Propiedades del estaño Consultado el 28 de enero 2022. Obtenido de [Artículo de página web]. : <https://www.caracteristicass.de/estano/>
- Coila R. & León D. . (2010). Muestreo superficial y tipos de muestra,. Puno : [articulo, Universidad Nacional del Altiplano Puno].



- Ecured E. . (2020). Granulometría, [blog de la web] Definición de la granulometría. Consultado el 23 de enero 2022. Obtenido de <https://www.ecured.cu/Granulometr%C3%ADa>
- Gilchrist J. . (1989). METALURGIA EXTRACTIVA - PROCESOS DE EXTRACCION. San Luis Potosí.: Pergamon Press.
- Graus S. (2013). "Optimización". En: Significados.com. Consultado: 17 de marzo de 2022. Obtenido de <https://www.significados.com/optimizacion>
- Guez, E. (2018). Memoria anual 2018 - Minsur. San Rafael - Minsur.
- luis, & Díaz J. (2015). Evaluación del tamaño de partícula en el proceso de flotación para la recuperación de Oro Grueso [tesis de grado, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. . Arequipa: Repositorio UNAS-Institucional. Obtenido de <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/3356>
- Michaud D. . (2016). Grado de liberación de partículas. Metallurgist. Obtenido de <https://www.911metallurgist.com/metalurgia/grado-de-liberacion-de-particulas/>
- Morales D. (2013). Recuperación individual de concentrados gravimétricos de un mineral aurífero [informe técnico Universidad Nacional de Ingeniería]. Lima: Repositorio institucional UNI. Obtenido de <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/10835>
- Oxford U. (2021). Definición de estaño [Oxford University Press]. Obtenido de [http://www.ingenieria.uaslp.mx/Metalurgia/Documents/APUNTES/RESUMEN ES-PROCESOS%20DE%20EXTRACCION.pdf](http://www.ingenieria.uaslp.mx/Metalurgia/Documents/APUNTES/RESUMEN%20ES-PROCESOS%20DE%20EXTRACCION.pdf)
- Ponce P. . (1989). Estudio metalúrgico por flotación de los sulfuros de plata de la unidad minera San Juan Lucanas [tesis de grado, Universidad Nacional de Ingeniería].



Zárate G. . (2010). Consideraciones Generales en Muestreo de Materiales a Granel. A publicarse en *Minerales*.



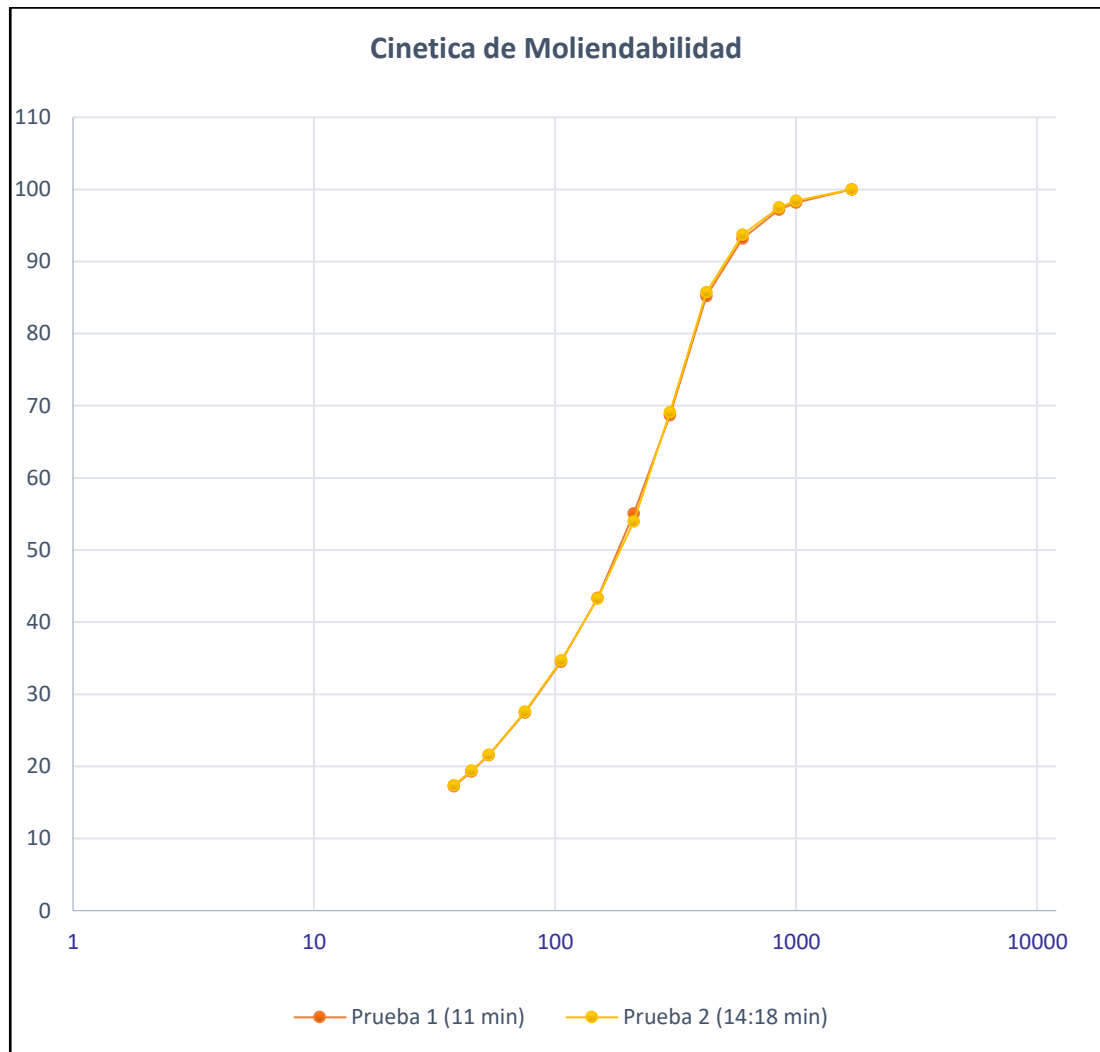
ANEXOS

ANEXO 1. Replica de molienda en alimentación a rougher.

REPLICA MOLIENDA ANALISIS GRANULOMETRICO DE ALIMENTO MESAS ROUGHER									
		Prueba 1 (11 min)				Prueba 2 (14:18 min)			
Malla	Abertura (μm)	Peso (g)	% Retenido Parcial	% Acumulado Pasante	D80	Peso (g)	% Retenido Parcial	% Acumul ado Pasante	D80
12	1700		0.00	100.00	0		0.00	100.00	0
18	1000	10.40	1.82	98.18	0	8.20	1.59	98.41	0
20	850	5.70	1.00	97.18	0	4.70	0.91	97.51	0
30	600	22.70	3.98	93.19	0	19.60	3.79	93.72	0
40	425	45.50	7.98	85.21	384	41.20	7.96	85.75	380
50	300	94.10	16.51	68.70	0	86.10	16.64	69.11	0
70	212	77.70	13.63	55.07	0	78.40	15.16	53.95	0
100	150	66.90	11.74	43.33	0	55.40	10.71	43.24	0
140	106	50.20	8.81	34.53	0	44.30	8.56	34.68	0
200	75	40.40	7.09	27.44	0	36.80	7.11	27.57	0
270	53	33.50	5.88	21.56	0	30.80	5.95	21.61	0
325	45	12.90	2.26	19.30	0	11.40	2.20	19.41	0
400	38	11.80	2.07	17.23	0	10.60	2.05	17.36	0
	<38	98.2	17.23	0.00		89.8	17.36	0.00	
Total		570.0	100		384 μm	517.3	100		380 μm

Nota. La tabla es el resultado de las réplicas de las pruebas corridas P-1 y P-2 en la alimentación de la etapa de concentración rougher. Como medio de comprobación a las pruebas reales.

ANEXO 2. Gráfico de réplica de molienda en alimentación a rougher.



Nota.de elaboración propia.

En el gráfico se aprecia la réplica de la cinética de molienda para ambas pruebas P-1 y P-2. En la alimentación de la etapa de concentración gravimétrica rougher



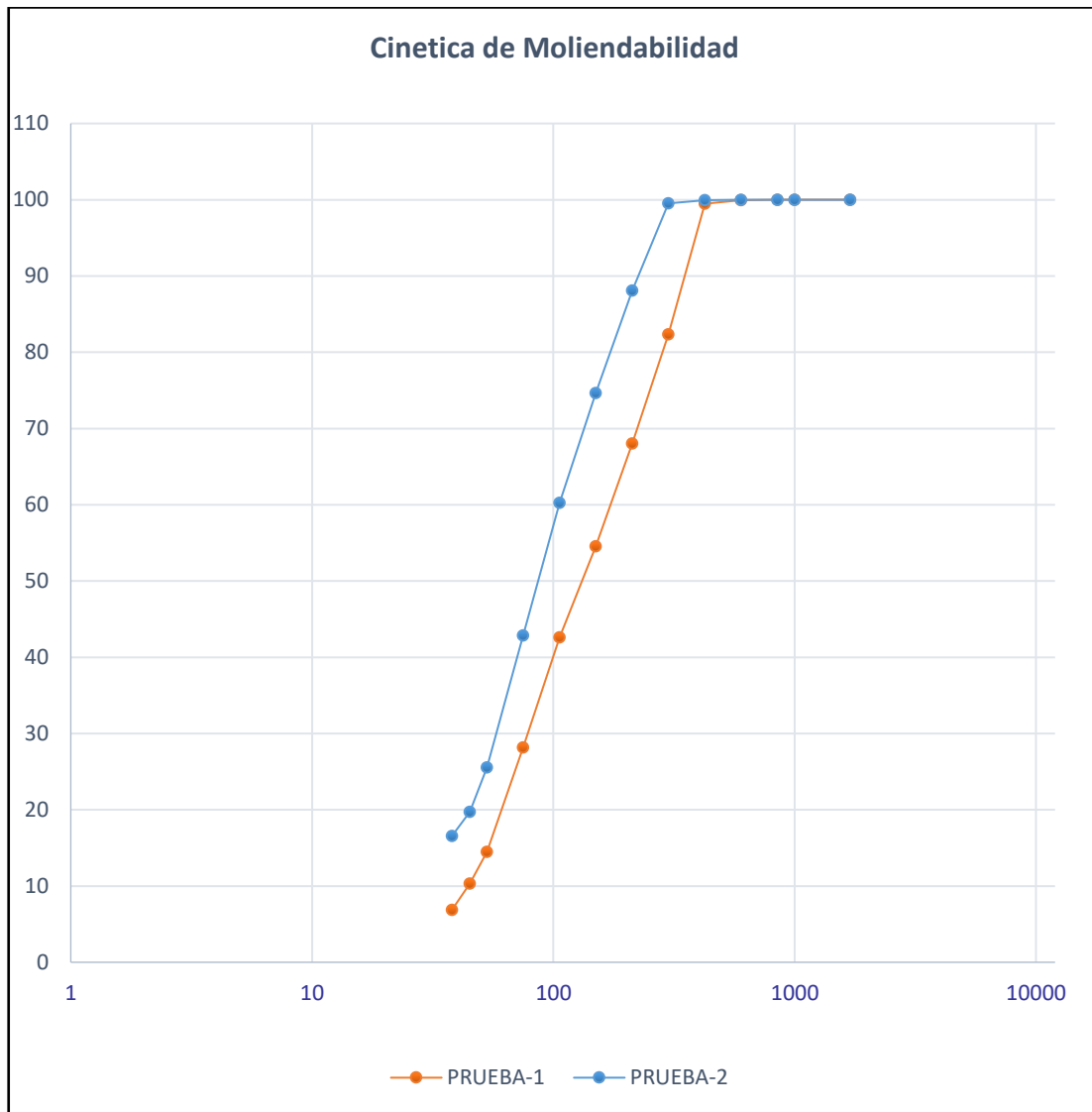
ANEXO 3. Replica de molienda en alimentación a cleaner.

REPLICA MOLIENDA ANALISIS GRANULOMETRICO DE ALIMENTO MESAS CLEANER									
PRUEBA-1					PRUEBA-2				
Malla	Abertura (μm)	Peso (g)	% Retenido Parcial	% Acumulado Pasante	D80	Peso (g)	% Retenido Parcial	% Acumulado Pasante	D80
12	1700		0.00	100.00	0		0.00	100.00	0
18	1000		0.00	100.00	0		0.00	100.00	0
20	850		0.00	100.00	0		0.00	100.00	0
30	600	0.20	0.06	99.94	0		0.00	100.00	0
40	425	1.60	0.46	99.48	0	0.30	0.08	99.92	0
50	300	59.70	17.16	82.32	285	1.50	0.39	99.53	0
70	212	49.70	14.29	68.04	0	44.10	11.45	88.08	173
100	150	46.90	13.48	54.56	0	51.80	13.45	74.64	0
140	106	41.60	11.96	42.60	0	55.50	14.41	60.23	0
200	75	50.20	14.43	28.17	0	67.00	17.39	42.83	0
270	53	47.70	13.71	14.46	0	66.60	17.29	25.55	0
325	45	14.40	4.14	10.32	0	22.40	5.82	19.73	0
400	38	12.00	3.45	6.87	0	12.20	3.17	16.56	0
	<38	23.9	6.87	0.00		63.8	16.56	0.00	0
Total		347.9	100		285 μm	385.2	100		173 μm

Nota.de elaboración propia.

La tabla muestra los resultados de las réplicas de las pruebas corridas antes de la alimentación de la etapa de concentración cleaner.

ANEXO 4. Gráfico de réplica de molienda en alimentación a rougher.



Nota.de elaboración propia.

El anexo 04 muestra el gráfico de la tabla del anexo 03, la cinética de molienda en antes de ingresar el mineral a la etapa de concentración cleaner.

ANEXO 5. Réplica del experimento número P-1.

Producto	Replica de P-1							
	Peso		% Sn	%S	Contenido Metálico (g)		% de Distribución	
	(g)	%			Sn	S	Sn	S
Concentrado Cleaner	134.6		39.60	0.01	53.30	0.01	60	0.20
Mxto-1 Cleaner	146.3		9.17	0.15	13.42	0.22	15.06	3.25
Mixto-2 Cleaner	49.3		0.64	0.01	0.32	0.00	0.35	0.07
Mixto-3 Cleaner	9.2		2.96	0.26	0.27	0.02	0.31	0.35
Espumas Sulfuros	27.4		1.73	19.40	0.47	5.32	0.53	78.77
Retenido 425 µm	156.2		5.53	0.50	8.64	0.78	9.70	11.57
Mixto-2 Rougher	480.5		0.26	0.01	1.25	0.05	1.40	0.71
Mixto-3 Rougher	916.3		0.29	0.01	2.66	0.09	2.98	1.36
Relave Rougher	2501.6		0.35	0.01	8.76	0.25	9.83	3.71
Cabeza Calculada	4421.4		2.01	0.15	89.08	6.75		

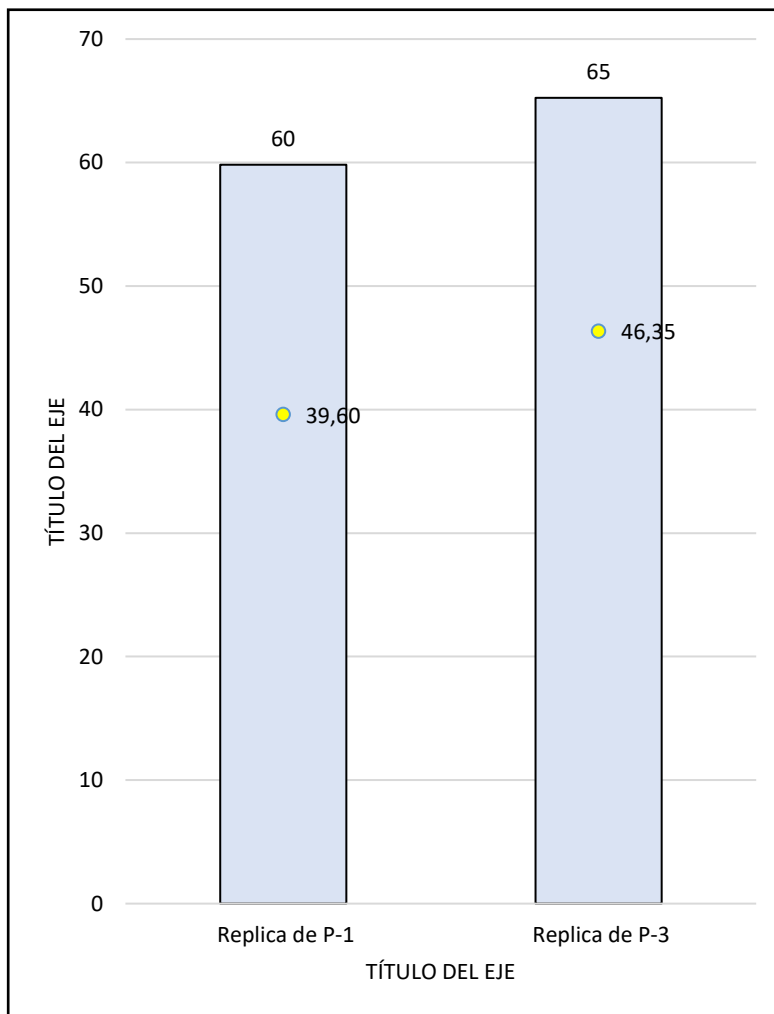
Nota.de elaboración propia.

ANEXO 6. Réplica del experimento número P-3.

Producto	Replica de P-3							
	Peso		% Sn	%S	Contenido Metálico (g)		% de Distribución	
	(g)	%			Sn	S	Sn	S
Concentrado Cleaner	126.6		46.35	0.01	58.68	0.01	65	0.13
Mxto-1 Cleaner	154.8		5.12	0.01	7.93	0.02	8.81	0.16
Mixto-2 Cleaner	63.0		1.06	0.01	0.67	0.01	0.74	0.06
Mixto-3 Cleaner	24.9		4.33	0.22	1.08	0.05	1.20	0.56
Espumas Sulfuros	33.3		2.90	21.60	0.97	7.19	1.07	73.82
Retenido 300 µm	121.8		7.06	0.78	8.60	0.95	9.56	9.75
Mixto-2 Rougher	576.2		0.33	0.01	1.90	0.06	2.11	0.59
Mixto-3 Rougher	1090.8		0.21	0.01	2.29	0.11	2.55	1.12
Relave Rougher	2241.8		0.35	0.06	7.85	1.35	8.72	13.80
Cabeza Calculada	4433.2		2.03	0.22	89.95	9.74		

Nota.de elaboración propia.

ANEXO 7. Gráfico de resultados de réplica de experimentación de P-1 y P-2.



Nota.de elaboración propia.

El gráfico del anexo 07 muestra la recuperación del estaño en la etapa cleaner, con estas replicas se puede comprobar que la prueba numero dos P-2 es la que más recuperación de estaño presenta.

ANEXO 8. Fotografías de los equipos utilizados





ANEXO 9. Fotografías de la preparación de muestras.



Muestreo Faja JM-02



Muestreo Faja JM02



Homogenizado de muestras



Homogenizado de Muestras



Cuarteo Conico Muestras Finas



Cuarteo en Rifles Muestra

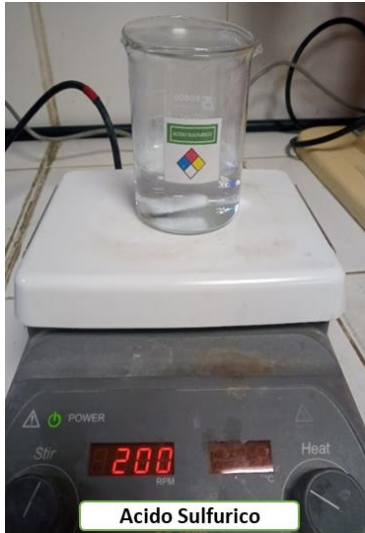


Pesado Analisis Granulometrico



Tamizado Analisis Granulometrico





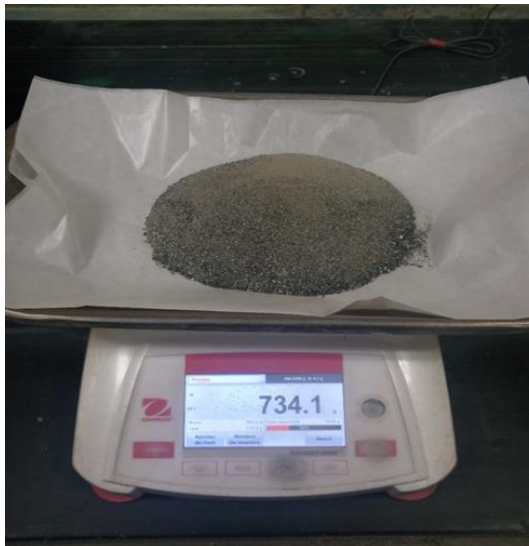
Acido Sulfurico



Dowfroth-250

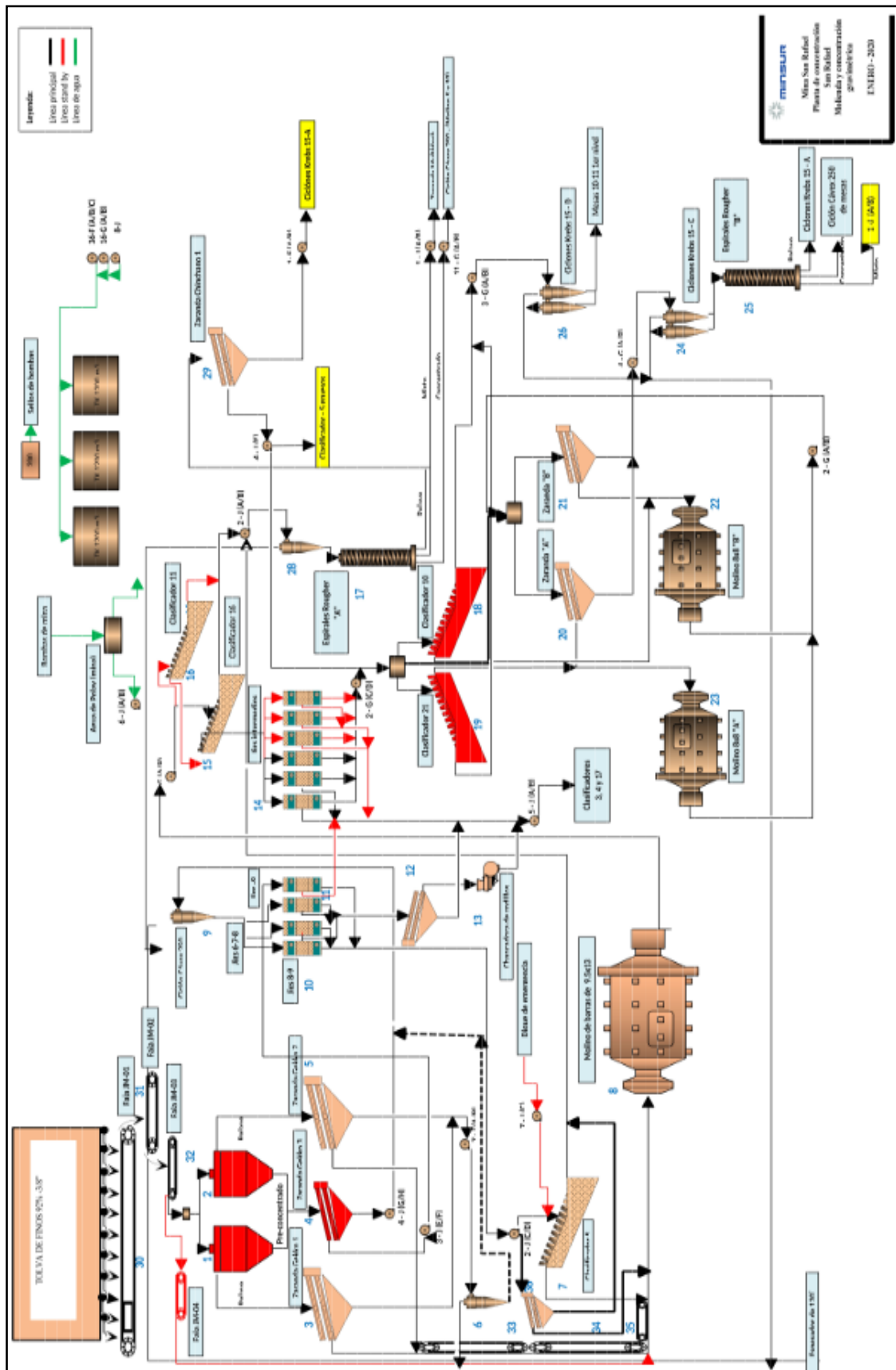


Xantato Z-11

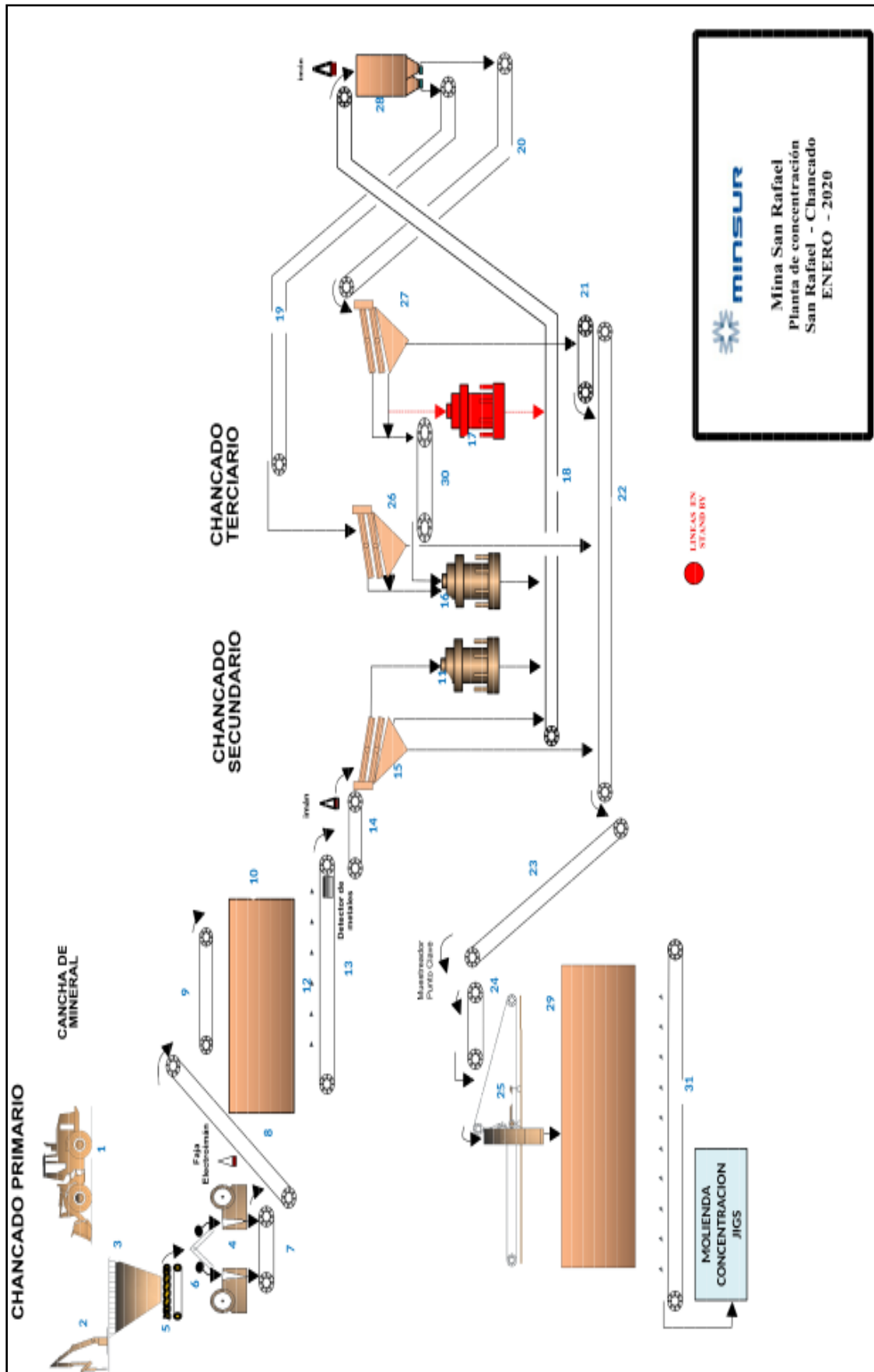


Equipo de Laboratorio

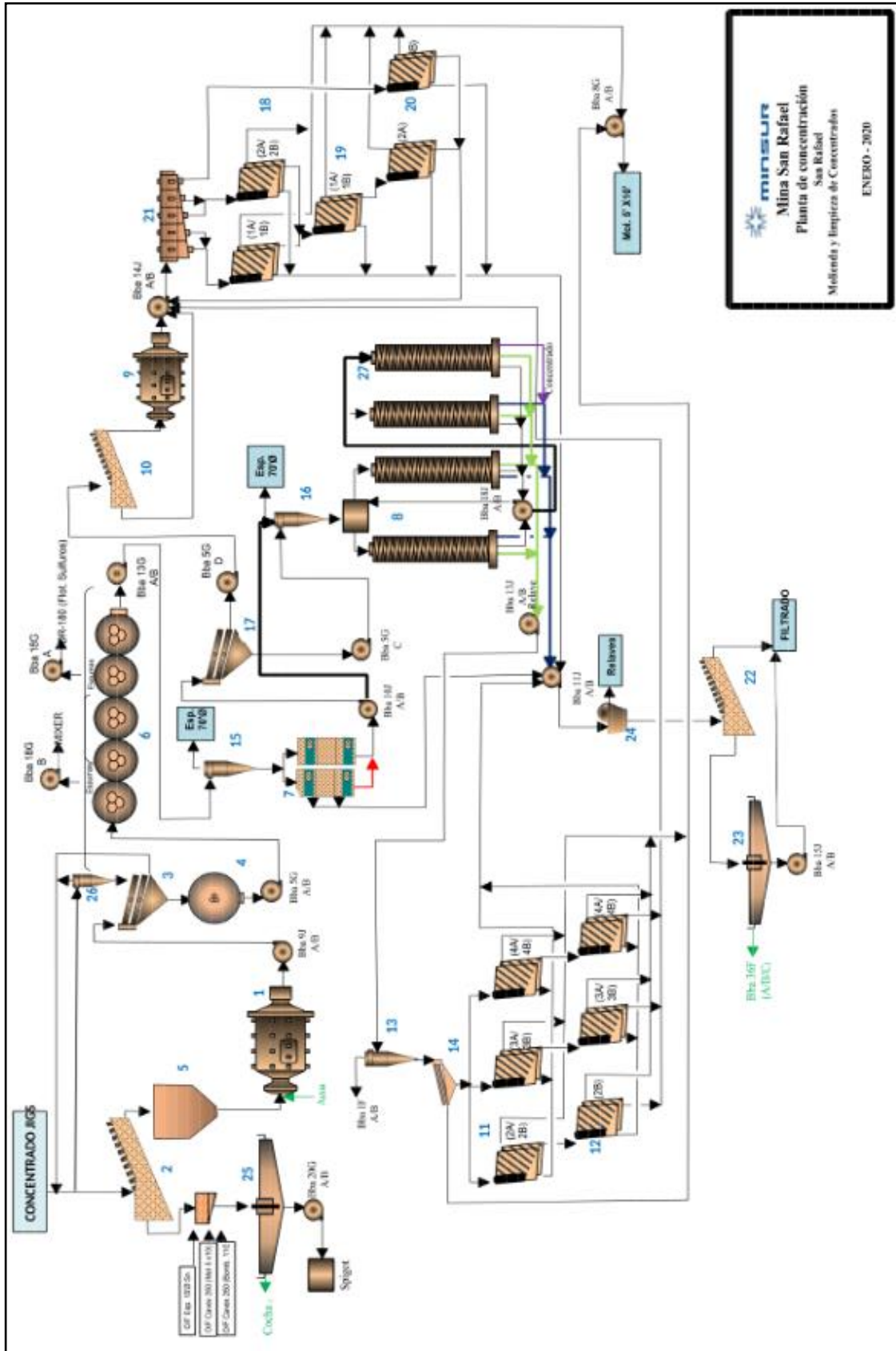
ANEXO 10. Molienda y concentración gravimétrica.



ANEXO 11. Planta de chancado de mineral



ANEXO 13. Molienda y limpieza de concentrado



ANEXO 14. Planta de flotación

