

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA METALÚRGICA Y DE MATERIALES



**OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE RECUPERACIÓN DEL MINERAL
DE ESTAÑO EN MESAS GRAVIMÉTRICAS PARA LA EMPRESA
MINERA “AGUADEMINA”**

(Proyecto de grado para optar el grado al título de Ingeniero Metalúrgico)

PRESENTADO POR: Roly Vladimir Aguayo Huarachi

TUTOR: Ing. Pedro Lagrava Burgoa

La Paz – Bolivia

2024



**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE INGENIERIA**



LA FACULTAD DE INGENIERIA DE LA UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS AUTORIZA EL USO DE LA INFORMACIÓN CONTENIDA EN ESTE DOCUMENTO SI LOS PROPÓSITOS SON ESTRICTAMENTE ACADÉMICOS.

LICENCIA DE USO

El usuario está autorizado a:

- a) Visualizar el documento mediante el uso de un ordenador o dispositivo móvil.
- b) Copiar, almacenar o imprimir si ha de ser de uso exclusivamente personal y privado.
- c) Copiar textualmente parte(s) de su contenido mencionando la fuente y/o haciendo la cita o referencia correspondiente en apego a las normas de redacción e investigación.

El usuario no puede publicar, distribuir o realizar emisión o exhibición alguna de este material, sin la autorización correspondiente.

TODOS LOS DERECHOS RESERVADOS. EL USO NO AUTORIZADO DE LOS CONTENIDOS PUBLICADOS EN ESTE SITIO DERIVARA EN EL INICIO DE ACCIONES LEGALES CONTEMPLADAS EN LA LEY DE DERECHOS DE AUTOR.

Dedicatoria

Dedico este proyecto de grado a Dios, porque sin su ayuda nunca lo hubiera alcanzado.

Asimismo, lo dedico a mi madre y padre por apoyarme incondicionalmente durante todo este tiempo de mi formación y haberme permitido lograr alcanzar el grado de Ingeniero, orgulleciendo a toda mi familia por ser el primer profesional.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, deseo expresar mi sincero agradecimiento a Dios por haber estado presente en cada una de las situaciones desafiantes y caóticas que atravesé a lo largo de este camino, hasta alcanzar finalmente esta meta.

Es fundamental expresar mi más profundo reconocimiento al Ingeniero Pedro Lagraba Burgoa, quien brindó tanto la oportunidad como una ayuda invaluable durante todo el proceso de elaboración de mi tesis. Su profundo conocimiento y amplia experiencia en el campo fueron los pilares que me permitieron cumplir con los rigurosos estándares académicos y presentar un trabajo de la más alta calidad ante la universidad.

Quiero extender mi gratitud hacia los miembros de los tribunales que me guiaron a lo largo del proceso de presentación de mi tesis. Sus valiosos comentarios y sugerencias desempeñaron un papel fundamental en la mejora y perfeccionamiento de mi trabajo, posibilitando una presentación sumamente efectiva.

Además, no puedo pasar por alto el reconocimiento a los dedicados profesionales de la Empresa Minera AguadeMina, cuyo apoyo y sabiduría en los aspectos prácticos de la Metalurgia contribuyeron de manera significativa a mi formación como futuro profesional. La experiencia compartida y la dedicación demostrada fueron esenciales para mi crecimiento.

En resumen, deseo renovar mis más sinceros agradecimientos al Ingeniero Pedro Lagraba Burgoa y a la Empresa Minera "AguadeMina" por su apoyo inestimable y las enseñanzas brindadas a lo largo de todo el proceso que implicó la realización de mi proyecto de grado. Su contribución ha dejado una huella imborrable en mi formación y en el logro de esta importante etapa académica.

OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE RECUPERACIÓN DEL MINERAL DE ESTAÑO EN MESAS GRAVIMÉTRICAS PARA LA EMPRESA MINERA “AGUADEMINA”

Univ. Roly Vladimir Aguayo Huarachi

RESUMEN

La minería es una de las principales actividades económicas en Bolivia, y el estaño ha sido históricamente uno de los principales productos de exportación del país. En la actualidad el precio del Estaño ha alcanzado nuevos récords históricos, lo que ha dado la posibilidad de procesarlo.

El proyecto está centrado en el desarrollo de una planta de procesamiento de casiterita para la Empresa Minera "AguadeMina", bajo ese panorama la empresa carece de pruebas metalúrgicas previas. Para subsanar se realizó una caracterización general del mineral y pruebas para la determinación de los parámetros de operación óptimos mediante modelación matemática (diseño experimental) para las mesas gravimétricas.

Los resultados obtenidos brindan a la empresa una base sólida para operar la planta con parámetros bien establecidos y permitiendo simulaciones de venta de concentrados. Sin embargo, la implementación demostró ser comercializable el concentrado como producto, pero no factible económicamente.

La evaluación financiera a cinco años reveló pérdidas operativas, especialmente relacionadas con los finos, lo que lleva a la conclusión de que las operaciones de concentración para el mineral de la mina "Salvadora-Racacha" no son viables. En respuesta, se recomienda la adopción de equipos de centrifugación de partículas finas como alternativa para mejorar la eficiencia y rentabilidad, optimizando la gestión de recursos y asegurando la sostenibilidad a largo plazo de la planta de tratamiento.

Palabras Claves: *Estaño, Economía Boliviana, Casiterita, Procesamiento, Mesas Gravimétricas, Evaluación Financiera, Equipos Centrifugos.*

INDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO I - EL PROBLEMA	3
1.1. Antecedentes	3
1.2. Planteamiento del problema	4
1.2.1. Descripción del Problema	4
1.2.1.1. Problema Principal.....	4
1.3. Justificación	5
1.3.1. Justificación Técnica	5
1.3.2. Justificación Económica	5
1.4. Objetivos	5
1.4.1. Objetivo General	5
1.4.2. Objetivos Especificos.....	5
1.5. Hipótesis	5
CAPITULO II - ASPECTOS GENERALES	6
2.1. Ubicación y acceso	6
2.1.1. Mina “Salvadora-Racacha”	6
2.1.2. Empresa Minera “AguadeMina”	6
CAPITULO III - MARCO TEORICO	8
3.1. Fundamentos teóricos.....	8
3.1.1. Estaño.....	8
3.1.2. Aplicaciones y usos del estaño	9
3.1.3. El Estaño presente en la naturaleza	10
3.1.3.1. La casiterita	10
3.1.3.2. Tipo de depósito	11
3.1.4. Aspectos técnicos	12
3.1.4.1. Procesamiento del mineral	12
3.1.4.2. Concentración gravimétrica	13
3.1.4.3. Tipos de concentración gravimétrica	14
3.1.4.4. Tipos de mesas gravimétricas	18
3.1.4.5. Fundamentos de la concentración en mesas	20
3.1.4.6. Modelación matemática	23
3.1.4.7. Variables operativas	26
3.1.4.8. Ventajas y desventajas.....	28

3.1.4.9.	Proceso de obtención del concentrado casiterita	29
3.1.5.	Aspectos económicos	31
3.1.5.1.	Producción de concentrado del estaño.....	31
3.1.5.2.	Precio del estaño	31
3.1.5.3.	Consumo del estaño a nivel mundial	32
3.1.5.4.	Tendencia mundial del estaño	33
CAPITULO IV - PARTE EXPERIMENTAL.....		35
4.1.	Tipo de investigación	35
4.2.	Muestra del mineral utilizado	35
4.2.1.	Preparación de la muestra	36
4.3.	Equipos y materiales	37
4.4.	Variables de estudio.....	37
4.4.1.	Variables independientes.....	37
4.4.2.	Variables dependientes	37
4.4.3.	Factores controlados que intervienen.....	37
4.5.	Prueba preliminar.....	38
4.5.1.	La estrategia de optimización para la concentración de Sn	40
CAPITULO V - RESULTADOS DE LA CARACTERIZACION		42
1.1.	Análisis del mineral	42
1.1.1.	Diagnóstico de la caracterización del mineral.....	42
1.1.1.1.	Caracterización mineralógica	42
1.1.1.2.	Caracterización física	47
1.1.1.3.	Caracterización química	60
CAPITULO VI - DISEÑO EXPERIMENTAL.....		63
6.1.	Etapa 1 – Selección de la variable influyente	64
6.2.	Etapa 2 – Diseño hexagonal (optimización).....	66
6.2.1.	Rango -48# + 65#	67
6.2.2.	Rango -65# + 150#	69
6.2.3.	Rango -150 #	72
CAPITULO VII - EVALUACION TECNICA Y ECONOMICA		75
7.1.	Resultados del balance metalúrgico y económica	78
7.1.1.	Balance metalúrgico	78
7.1.2.	Análisis económico	79
7.1.2.1.	Valor del mineral.....	79
7.2.	Evaluación económica	82

7.2.1.	Programa de producción.....	82
7.2.2.	Costos totales del procesamiento del mineral	83
7.2.2.1.	Costo de inversión	83
7.2.3.	Ingresos y costos	84
7.2.3.1.	Ingresos	84
7.2.3.2.	Costos de operación.....	84
7.2.3.3.	Costo de depreciación.....	85
7.2.3.4.	Análisis económico.....	85
CAPITULO VIII - CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		86
8.1.	Conclusiones	86
8.2.	Recomendaciones	88
8.3.	Bibliografía	89
ANEXO I – CALCULOS ADICIONALES		1
1.1.	Cálculos previos para el molino de laboratorio	1
1.2.	Cinética de la molienda.....	5
1.3.	Calculo para una operación perfecta	12
ANEXO II - DISEÑO EXPERIMENTAL FACTORIAL Y HEXAGONAL		13
2.1.	Etapa 1 – Selección de la variable significativa	13
2.2.	Etapa 2 – Diseño hexagonal.....	15
ANEXO III - ESTUDIO ECONÓMICO-FINANCIERO		24
1.1.	Evaluación operativa.....	24
1.2.	Análisis financiero	26
1.2.1.	Cuantificación de los ingresos.....	27
1.2.2.	Costos generales de la planta	28
1.2.3.	Costos de operación	32
1.2.4.	Evaluación económica	36
ANEXO IV		39
4.1.	CARACTERIZACION MINERALOGICA, FISICA Y QUIMICA.....	39
4.1.1.	Caracterización mineralógica	39
4.1.2.	Caracterización física	45
4.1.3.	Caracterización química.....	54
4.2.	Pruebas adicionales.....	57

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Valores del precio del estaño de 1980-2022, elaboración propia.....	3
Figura 2 Ubicación satelital de la empresa minera “aguademina”, reproducida de internet.7	
Figura 3 Información general del estaño, reproducida de (trujillo cisenardo & trujillo cisenardo, 2020) ^[4]	8
Figura 4 Propiedades químicas del estaño, reproducida de (trujillo cisenardo & trujillo cisenardo, 2020) ^[4]	8
Figura 5 Propiedades físicas del estaño, reproducida de (trujillo cisenardo & trujillo cisenardo, 2020) ^[4]	9
Figura 6 Esquema de separación en sistema de concentración gravimétrica, reproducida del internet.....	13
Figura 7 Descripción grafica del equipo dyna whirlpool, reproducida de (Pavez, 2015) ^[7]	14
Figura 8 Esquemática de la separación de 2 partículas en un jig, reproducida del internet	15
Figura 9 Equipo de concentrador centrifugo knelson, reproducida del internet.....	15
Figura 10 Equipo de concentrador centrifugo falcon, reproducida del internet.....	15
Figura 11 Equipo de separador espiral, reproducida del internet.....	16
Figura 12 Mesa vibratoria y sus respectivas partes, reproducida de (Rivera parra, 2017) ^[9]	17
Figura 13 Aplicación de diferentes equipos según el rango de tamaño.....	18
Figura 14 Mesa de concentración tipo wilfley, reproducida del internet.....	18
Figura 15 Mesa de concentración tipo deister, reproducida del internet.....	19
Figura 16 Diferentes tipos de mesas, reproducida de (Aguilar asanza & Corella merizalde, 2016) ^[7]	19
Figura 17 Influencia de la lámina fluyente sobre el desplazamiento de las partículas, reproducida del internet.....	20
Figura 18 Distribución de las partículas por lamina fluyente, reproducida del internet.....	20
Figura 19 Principio del funcionamiento del rifle, reproducida del internet.....	21
Figura 20 Esquema de la zona de estratificación y de la sedimentación obstaculizada, reproducida del internet.....	21
Figura 21 Esquema descriptivo del reordenamiento de las partículas, reproducida del internet.....	22
Figura 22 Esquema de la estratificación, reproducida del internet.....	22
Figura 23 Perfil de velocidad de un fluido en un plano inclinado, elaboración previa.....	23
Figura 24 Esquema de las fuerzas que interactúan en un plano inclinado, elaboración propia.....	23
Figura 25 Esquema de fuerzas que influyen en la partícula, elaboración propia.....	25
Figura 26 Diagrama de flujo para el procesamiento de estaño, reproducida de (911 metallurgist, 2018) ^[13]	30
Figura 27 Producción del concentrado del estaño, elaboración propia.....	31
Figura 28 Precio del estaño, elaboración propia.....	32
Figura 29 Consumo mundial del sn de 1980-2020, reproducida de (ministerio de minería y metalurgia, 2020) ^[15]	32
Figura 30 El precio del estaño de 1980-2022 y su respectiva tendencia, elaboración propia.....	34
Figura 31 Esquema del muestreo en la playa de recepción.....	35
Figura 32 Flujograma de la preparación de la muestra para el estudio, elaboración propia	36

Figura 34 Esquema de un diseño experimental hexagonal, reproducida del internet	41
Figura 35 Diagrama esquemático del gemscan, elaborada por cimmm.....	43
Figura 36 Espectro químico registro por el método field scan, elaborado por cimmm	44
Figura 37 Descripción modal de todos los minerales presentes en la muestra de la mina "salvadora-racacha"	46
Figura 38 Análisis granulométrico de la muestra proveniente de la mina.....	48
Figura 39 Clasificación de los compuestos según su tamaño, elaborada de cimmm.....	51
Figura 40 Microanálisis químico de la muestra de la mina "salvadora-racacha"	52
Figura 41 Clasificación de la partícula de la casiterita, elaborada por cimmm	53
Figura 42 Clasificación de la partícula de la estannita, elaborada por cimmm	53
Figura 43 Clasificación de la partícula de casiterita, elaborada por cimmm	54
Figura 44 Clasificación de la partícula estannita, reproducida de cimmm	54
Figura 45 Grado de liberación de la casiterita (sno ₂) asociada a la pirita (fes ₂), elaborado por CIMM	55
Figura 46 Grado de liberación de la casiterita (sno ₂) asociada a la pirita (fe ₂ o ₃), elaborado por CIMM	56
Figura 47 Grado de liberación de la casiterita (sno ₂) asociada al cuarzo (fe ₂ o ₃), elaborado por CIMM	57
Figura 48 Grado de liberación de la casiterita (sno ₂) asociada a cuarzo (sio ₂), hematita (fe ₂ o ₃), oligoclasa ((naca)(sial) ₄ o ₈), ortoclasa (kalsi ₃ o ₈), chamosita ((fe ²⁺ mgfe ³⁺) ₅ al(alsi ₃ o ₁₀)(oh,o) ₈), acmita (nafe ³⁺ si ₂ o ₆) y cristobalita (sio ₂), elaborado por CIMM	58
Figura 49 Grado de liberación de la estannita (Cu ₂ fesns ₄) asociada a la cuarzo (Sio ₂), hematita (fe ₂ o ₃) y goetita (α-feo(oh)), elaborada por cimmm	59
Figura 50 Diagrama de pareto de efectos estandarizados	65
Figura 51 Grafica de efectos principales para respuesta.....	66
Figura 52 Grafica de superficie de recuperación vs frecuencia; amplitud para -48#+65#	68
Figura 53 Grafica del contorno de recuperación vs frecuencia; amplitud para -48#+65#.	68
Figura 54 Optimizador de respuesta para -48#+65#	69
Figura 55 Grafica de superficie de recuperación vs frecuencia; amplitud para -65#+150#	70
Figura 56 Grafica del contorno de recuperación vs frecuencia; amplitud para -65#+150#	71
Figura 57 Optimizador de respuesta para -65#+150#	71
Figura 59 Grafica de superficie de recuperación vs frecuencia; amplitud para -150#	73
Figura 60 Grafica del contorno de recuperación vs frecuencia; amplitud para -150#.....	73
Figura 61 Optimizador de respuesta para -150#	74
Figura 62 Flujograma en bloque de la empresa minera "aguademina"	75
Figura 63 Flujograma pictórico de la empresa minera "aguademina".....	77
Figura 64 Esquema operacional posterior a la optimización	78
Figura 65 Estructura general de los costos	83

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Aleaciones del estaño y sus aplicaciones, elaboración propia	10
Tabla 2 Pesos específicos de algunos minerales, elaboración propia	13
Tabla 3 Descripción de la capacidad en mesas según el tamaño de partícula, reproducida de (quiroy nuñez, 2017) ^[9]	28
Tabla 4 Distribución del estaño a -48# (aproximadamente el 80% ppa)	38
Tabla 5 Balance metalúrgico para la prueba preliminar de -48#+65#	39
Tabla 6 Balance metalúrgico para la prueba preliminar de -65#+150#	39
Tabla 7 Balance metalúrgico para la prueba preliminar de -150#	39
Tabla 8 Organización de las pruebas para la etapa 1	40
Tabla 9 Organización de pruebas en la etapa 2, optimización en diseño hexagonal	41
Tabla 10 Elementos determinados por fluorescencia de rayos x, elaborado cim	42
Tabla 11 Cuantificación de todos los minerales presentes, elaborada por cim	45
Tabla 12 Distribución granulométrica del mineral proveniente de la mina “salvadora-racacha”	47
Tabla 13 Determinación del peso específico del mineral.....	49
Tabla 14 Grado de liberación del estaño presente en la muestra de la mina “salvadora-racacha”	59
Tabla 15 Distribución de partículas por tamaños y leyes para el mineral sn, previo al chancado	60
Tabla 16 Distribución de partículas por tamaños y leyes para el mineral sn, posterior a la molienda	60
Tabla 17 Análisis químico del mineral de estaño.....	61
Tabla 18 Conjunto de pruebas en la etapa 1, selección de la variable influyente	64
Tabla 19 Análisis de varianza del diseño experimental	64
Tabla 20 Conjunto de pruebas en la etapa 2, diseño experimental hexagonal para -48#+65#	67
Tabla 21 Parámetros óptimos para -48#+65#	69
Tabla 22 Conjunto de pruebas en la etapa 2, diseño experimental hexagonal para -65#+150#.....	69
Tabla 23 Parámetros óptimos para -65#+150#	72
Tabla 24 Conjunto de pruebas en la etapa 2, diseño experimental hexagonal para -150#.....	72
Tabla 25 Parámetros óptimos para -150#	74
Tabla 26 Resumen de los parámetros óptimos para cada rango	74
Tabla 27 Balance metalúrgico global posterior a la optimización	78
Tabla 28 Programa de operación de la empresa minera “aguademina”.....	79
Tabla 29 Programa de producción real del concentrado y segunda.....	80
Tabla 30 Programa de producción ideal del concentrado.....	81
Tabla 31 Valor del mineral de la operación ideal y real	81
Tabla 32 Programa de producción del concentrado y segundo sn.....	82
Tabla 33 Costo total de inversión de la planta	83
Tabla 34 Total de ingresos anuales.....	84
Tabla 35 Resumen del costo de operación anual.....	84
Tabla 36 Depreciación anual en los 5 años del proyecto	85
Tabla 37 Indicadores financieros	85

INDICE DE FOTOGRAFIAS

Fotografía 1 Ubicación satelital de la mina “salvadora-racacha”, reproducida de google maps.	6
Fotografía 2 Laboratorio metalúrgico de la empresa minera “aguademina”, elaboración propia	7
Fotografía 3 Metal de estaño en forma de lingote (propiedad de la colección privada pedro lagrava b.), elaboración propia.....	9
Fotografía 4 Casiterita del distrito de huanuni. la segunda corresponde a una casiterita conocida tipo riñón, la tercera es un rodado. (colección privada de pedro lagrava b.)11	
Fotografía 5 Distribución de rangos de tamaños del mineral de la mina “salvadora-racacha”	47
Fotografía 6 Matraz aforado para la determinación de peso específico	49
Fotografía 7 Mesa gravimétrica tipo deister nº5, elaboración propia	63

INDICE DE FIGURA ANEXA

Figura anexa 1 Distribución granulométrica (g.g.s.) para la alimentación	6
Figura anexo 2 Distribución granulométrica de (g.g.s.) para la molienda de 5 min	7
Figura anexo 3 Distribución granulométrica de (g.g.s.) para la molienda de 10 min	8
Figura anexo 4 Distribución granulométrica de (g.g.s.) para la molienda de 15 min	9
Figura anexa 5 Distribución granulométrica de (g.g.s.) para la molienda de 20 min	10
Figura anexo 6 Determinación del modelo matemático por regresión polinómica	11
Figura anexo 7 Esquema operacional ideal.....	12
Figura anexo 8 Espectro de aegirina, reproducida de icmm.....	39
Figura anexo 9 Espectro de apatito, reproducida de icmm.....	39
Figura anexo 10 Espectro de baritina, reproducida de icmm´	40
Figura anexo 11 Espectro de calcopirita, reproducida de icmm	40
Figura anexo 12 Espectro de casiterita, reproducida de icmm	40
Figura anexo 13 Espectro de esfalerita, reproducida de icmm.....	41
Figura anexo 14 Espectro de galena, reproducida de icmm.....	41
Figura anexo 15 Espectro de goetita, reproducida de icmm.....	41
Figura anexo 16 Espectro de hematita, reproducida de icmm.....	42
Figura anexo 17 Espectro de ilmenita, reproducida de icmm	42
Figura anexo 18 Espectro de la chamosita, reproducida de icmm	42
Figura anexo 19 Espectro de ortoclasa, reproducida de icmm	43
Figura anexo 20 Espectro de pirita, reproducida de icmm.....	43
Figura anexo 21 Espectro de rutilo, reproducida de icmm.....	43
Figura anexo 22 Espectro de valentinita, reproducida de icmm	44
Figura anexo 23 Espectro de cincita, reproducida de icmm	44
Figura anexo 24 Espectro de esfalerita, reproducida de icmm.....	44
Figura anexo 25 Distribución de rangos de tamaños del mineral de la mina “salvadora-racacha”	46

Figura anexo 26 Análisis granulométrico de la muestra proveniente de la mina	47
Figura anexo 27 Grado de liberación de la casiterita (SnO_2) asociada al cuarzo (SiO_2), elaborada por icmm	48
Figura anexo 28 Grado de liberación de la casiterita (SnO_2) asociada a la hematita (Fe_2O_3), elaborada por icmm	48
Figura anexo 29 Grado de liberación de la casiterita (SnO_2) asociada a la oligoclasa (naca)(sial) $_{408}$, elaborada por icmm	49
Figura anexo 30 Grado de liberación de la casiterita (SnO_2) asociada a la ortoclasa (KAlSi_3O_8), elaborada por icmm	50
Figura anexo 31 Grado de liberación de la casiterita (SnO_2) asociada a la chamosita $((\text{Fe}^{2+}\text{mgFe}^{3+})_5\text{Al}(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH},\text{O})_8)$, elaborada por icmm	50
Figura anexo 32 Grado de liberación de la casiterita (SnO_2) asociada a la acmita ($\text{NaFe}^{3+}\text{Si}_2\text{O}_6$), elaborada por icmm	51
Figura anexo 33 Grado de liberación de la casiterita (SnO_2) asociada a la cristobalita (SiO_2), elaborada por icmm	51
Figura anexo 34 Grado de liberación de la estannita ($\text{Cu}_2\text{FeSnS}_4$) asociada al cuarzo (SiO_2), elaborada por icmm	52
Figura anexo 35 Grado de liberación de la estannita ($\text{Cu}_2\text{FeSnS}_4$) asociada a la hematita (Fe_2O_3), elaborada por icmm	53
Figura anexo 36 Grado de liberación de la estannita ($\text{Cu}_2\text{FeSnS}_4$) asociada a la goetita (α - $\text{Fe}(\text{OH})$), elaborada por icmm	53
Figura anexo 37 Resultados del laboratorio químico para los diferentes tamaños, previo al chancado	54
Figura anexo 38 Resultados del laboratorio químico para los diferentes tamaños, posterior a la molienda.....	55
Figura anexo 39 Resultados del laboratorio químico del mineral de la mina “salvadora- racacha”	56
Figura anexo 40 Resultados del laboratorio químico para las pruebas preliminares	57
Figura anexo 41 Resultados del laboratorio químico para el diseño experimental, etapa de variable significativa parte 1.....	58
Figura anexo 42 Resultados del laboratorio químico para el diseño experimental, etapa de variable significativa parte 2.....	59
Figura anexo 43 Resultados del laboratorio químico para el diseño experimental, etapa de variable significativa parte 3.....	60
Figura anexo 44 Resultados del laboratorio químico para el diseño experimental, etapa de diseño hexagonal para -48#+65# (parte 1).....	61
Figura anexo 45 Resultados del laboratorio químico para el diseño experimental, etapa de diseño hexagonal para -48#+65# (parte 2).....	62
Figura anexo 46 Resultados del laboratorio químico para el diseño experimental, etapa de diseño hexagonal para -48#+65# (parte 3).....	63
Figura anexo 47 Resultados del laboratorio químico para el diseño experimental, etapa de diseño hexagonal para -65#+150# (parte 1).....	64
Figura anexo 48 Resultados del laboratorio químico para el diseño experimental, etapa de diseño hexagonal para -65#+150# (parte 2).....	65
Figura anexo 49 Resultados del laboratorio químico para el diseño experimental, etapa de diseño hexagonal para -65#+150# (parte 3).....	66

Figura anexo 50 Resultados del laboratorio químico para el diseño experimental, etapa de diseño hexagonal para -150# (parte 1).....	67
Figura anexo 51 Resultados del laboratorio químico para el diseño experimental, etapa de diseño hexagonal para -150# (parte 2).....	68
Figura anexo 52 Resultados del laboratorio químico para el diseño experimental, etapa de diseño hexagonal para -150# (parte 3).....	69
Figura anexo 53 Resultados del laboratorio químico para la evaluación técnica	70

INDICE DE TABLA ANEXA

Tabla anexo 1 Distribución del tamaño de bolas para el molino de bolas	4
Tabla anexo 2 Resultados de los cálculos para el molino del laboratorio	5
Tabla anexo 3 Distribución del collar de bolas para el molino del laboratorio	5
Tabla anexo 4 Análisis granulométrico de la alimentación	6
Tabla anexo 5 Análisis granulométrico de la molienda para 5 min	7
Tabla anexo 6 Análisis granulométrico de la molienda para 10 min	8
Tabla anexo 7 Análisis granulométrico de la molienda para 15 min	9
Tabla anexo 8 Análisis granulométrico de la molienda para 20 min	10
Tabla anexo 9 Resumen de los resultados de los 80% ppa vs tiempo.....	11
Tabla anexo 10 Conjunto de pruebas para la selección de la variable significativa	13
Tabla anexo 11 Balance metalúrgico para la prueba 1 de la selección de la variable significativa	13
Tabla anexo 12 Balance metalúrgico para la prueba 2 de la selección de la variable significativa	14
Tabla anexo 13 Balance metalúrgico para la prueba 3 de la selección de la variable significativa	14
Tabla anexo 14 Balance metalúrgico para la prueba 4 de la selección de la variable significativa	14
Tabla anexo 15 Balance metalúrgico para la prueba 5 de la selección de la variable significativa	14
Tabla anexo 16 Balance metalúrgico para la prueba 6 de la selección de la variable significativa	15
Tabla anexo 17 Balance metalúrgico para la prueba 7 de la selección de la variable significativa	15
Tabla anexo 18 Balance metalúrgico para la prueba 8 de la selección de la variable significativa	15
Tabla anexo 19 Conjunto de pruebas del diseño experimental hexagonal para -48#+65# ...	16
Tabla anexo 20 Balance metalúrgico para la prueba 1 del diseño experimental hexagonal para -48#+65#	16
Tabla anexo 21 Balance metalúrgico para la prueba 2 del diseño experimental hexagonal para -48#+65#	16
Tabla anexo 22 Balance metalúrgico para la prueba 3 del diseño experimental hexagonal para -48#+65#	17

Tabla anexo 23 Balance metalúrgico para la prueba 4 del diseño experimental hexagonal para -48#+65#	17
Tabla anexo 24 Balance metalúrgico para la prueba 5 del diseño experimental hexagonal para -48#+65#	17
Tabla anexo 25 Balance metalúrgico para la prueba 6 del diseño experimental hexagonal para -48#+65#	17
Tabla anexo 26 Balance metalúrgico para la prueba 7 del diseño experimental hexagonal para -48#+65#	18
Tabla anexo 27 Balance metalúrgico para la prueba 8 del diseño experimental hexagonal para -48#+65#	18
Tabla anexo 28 Conjunto de pruebas del diseño experimental hexagonal para -65#+150#.	18
Tabla anexo 29 Balance metalúrgico para la prueba 1 del diseño experimental hexagonal para -65#+150#	19
Tabla anexo 30 Balance metalúrgico para la prueba 2 del diseño experimental hexagonal para -65#+150#	19
Tabla anexo 31 Balance metalúrgico para la prueba 3 del diseño experimental hexagonal para -65#+150#	19
Tabla anexo 32 Balance metalúrgico para la prueba 4 del diseño experimental hexagonal para -65#+150#	19
Tabla anexo 33 Balance metalúrgico para la prueba 5 del diseño experimental hexagonal para -65#+150#	20
Tabla anexo 34 Balance metalúrgico para la prueba 6 del diseño experimental hexagonal para -65#+150#	20
Tabla anexo 35 Balance metalúrgico para la prueba 7 del diseño experimental hexagonal para -65#+150#	20
Tabla anexo 36 Balance metalúrgico para la prueba 8 del diseño experimental hexagonal para -65#+150#	20
Tabla anexo 37 Conjunto de pruebas del diseño experimental hexagonal para -150#	21
Tabla anexo 38 Balance metalúrgico para la prueba 1 del diseño experimental hexagonal para -150#	21
Tabla anexo 39 Balance metalúrgico para la prueba 2 del diseño experimental hexagonal para -150#	21
Tabla anexo 40 Balance metalúrgico para la prueba 3 del diseño experimental hexagonal para -150#	22
Tabla anexo 41 Balance metalúrgico para la prueba 4 del diseño experimental hexagonal para -150#	22
Tabla anexo 42 Balance metalúrgico para la prueba 5 del diseño experimental hexagonal para -150#	22
Tabla anexo 43 Balance metalúrgico para la prueba 6 del diseño experimental hexagonal para -150#	22
Tabla anexo 44 Balance metalúrgico para la prueba 7 del diseño experimental hexagonal para -150#	23
Tabla anexo 45 Balance metalúrgico para la prueba 8 del diseño experimental hexagonal para -150#	23
Tabla anexo 46 Programa de producción completa del concentrado y segundo sn.....	27
Tabla anexo 47 Programa producción detallada durante los primeros 5 años	27

Tabla anexo 48 Inversión de máquinas y equipos.....	29
Tabla anexo 49 Inversión de equipos para servicios y talleres.....	30
Tabla anexo 50 Inversión de infraestructura.....	30
Tabla anexo 51 Capital de operación	31
Tabla anexo 52 Resumen de los costos de inversión y capital de trabajo	31
Tabla anexo 53 Depreciación anual de los equipos	32
Tabla anexo 54 Costo de mano de obra directa	32
Tabla anexo 55 Costo de mano de obra indirecta	33
Tabla anexo 56 Costo de la materia prima	33
Tabla anexo 57 Costo materiales e insumos	34
Tabla anexo 58 Costo mantenimiento, accesorios y repuestos.....	34
Tabla anexo 59 Costo general administrativo.....	35
Tabla anexo 60 Resumen de todos los costó de operación	35
Tabla anexo 61 Flujo de cada proyectada.....	36
Tabla anexo 62 Calculo de valor actual neto (van).....	37
Tabla anexo 63 Calculo de la tasa interna de retorno (tir).....	37
Tabla anexo 64 Calculo del beneficio costo (b/c)	38
Tabla anexo 65 Calculo del periodo de recuperación del capital.....	38
Tabla anexo 66 Distribución granulométrica del mineral proveniente de la mina “salvadora- racacha”	46

INTRODUCCIÓN

La minería es una de las principales actividades económicas en Bolivia, y el estaño ha sido históricamente uno de los principales productos de exportación del país. Sin embargo, la industria minera boliviana ha enfrentado desafíos significativos en las últimas décadas, incluyendo la caída de los precios del estaño y la falta de inversión en infraestructura y tecnología.

En este contexto, el presente proyecto de grado se enfoca en la construcción de una planta de tratamiento de casiterita por concentración gravimétrica para la Empresa Minera "AguadeMina", con una capacidad operativa de 30 TMD. Este proyecto de grado destaca la carencia de pruebas metalúrgicas, para subsanar este vacío, se realizaron pruebas metalúrgicas y se emplearon técnicas de modelación matemática (diseño experimental) para definir los parámetros de operación óptimos para aprovechar al máximo sus capacidades.

El objetivo principal de este trabajo es la determinación de los parámetros operacionales óptimos para la concentración en mesas gravimétricas del mineral de estaño extraído de la mina "Salvadora-Racacha" procesado en la planta de concentración de la Empresa "AguadeMina". Para lograr este objetivo, se llevaron a cabo pruebas metalúrgicas y se emplearon técnicas de modelación matemática (diseño experimental) para definir los parámetros de operación óptimos para la planta de tratamiento de casiterita por concentración gravimétrica. Los resultados obtenidos en la etapa 1 (selección de la variable significativa) del diseño experimental fueron que la amplitud y la frecuencia de golpe tienen mayor influencia en comparación con el caudal de agua (lavado). Por otro lado, en la etapa 2 (diseño hexagonal) se relacionó en rangos de trabajo, con el objetivo de maximizar la recuperación para cada rango de trabajo, los cual se obtuvieron los siguientes parámetros operacionales óptimos; -48#+65# (amplitud de 20.4545 mm y frecuencia en 243.5000 RPM), -65#+150# (amplitud de 17.4621 mm y frecuencia en 304.1162 RPM) y -150# (amplitud de 11.3636 mm y frecuencia en 319.1263 RPM)

Los parámetros obtenidos en el estudio del diseño experimental, permito a la empresa patrocinante iniciar las operaciones de la planta sobre parámetros ya establecidos, empezando por la molienda a 48# (80% P.P.A.) y en la clasificación en rangos de -(48#+65#), (-65#+150#) y (-150#). Además, se desarrolló una evaluación técnica y económica, estos valores obtenidos bajo la operación en planta, se obtuvo que la recuperación técnica global de 14.66 % y una recuperación económica global del 17.55%, concluyéndose en esta sección que los resultados no son alentadores, aun así, con la implementación de los parámetros de operación óptimos.

La relevancia de este trabajo reside en la imperativa mejora de la competitividad de la Empresa Minera "AguadeMina" y el aprovechamiento de perspectivas prometedoras. La construcción de una planta de tratamiento de casiterita por concentración gravimétrica implica costos significativos, tanto de inversión como de operación. En este contexto, se llevó a cabo una evaluación financiera a cinco años, considerando ingresos basados en la cotización del mercado nacional, ya que el estaño se comercializa estratégicamente a empresas nacionales por directrices gubernamentales. Los indicadores financieros, incluyendo VAN, TIR, B/C y PRC, concluyeron que las operaciones de concentración para el mineral de la mina "Salvadora-Racacha" no son viables económicamente, principalmente debido a las pérdidas operativas asociadas con los finos.

En resumen, este proyecto proporciona una visión integral de la situación actual y potencial del estaño en Bolivia. Los resultados indican que la operación de la Empresa Minera "AguadeMina" no es factible desde una perspectiva técnica y económica. Se recomienda la implementación de equipos centrífugos para mejorar la recuperación de material en las colas, sujeto a futuros estudios. Las secciones siguientes detallarán los antecedentes, la revisión de la literatura, la metodología, los resultados y las conclusiones de este trabajo.

CAPITULO I - EL PROBLEMA

1.1. Antecedentes

Conforme a la investigación realizada por Zuazo (2017)^[1], resulta evidente en la historia de Bolivia que, durante el período de la plata y antes del auge del gas natural, la producción de estaño ha desempeñado un papel fundamental en la economía del país, representando la principal fuente de ingresos durante más de un siglo, desde 1910 hasta la década de los 70.

Zuazo (2017)^[1], destaca el posicionamiento de Bolivia como el segundo productor mundial de estaño, después de Malasia. A pesar de las adversidades en el mercado internacional, caracterizadas por las bajas cotizaciones del estaño entre los años 1985 y 1992, la explotación de este recurso no se vio interrumpida hasta que el mercado internacional colapsó debido al exceso de oferta generado por las reservas acumuladas por Estados Unidos. Esta situación desencadenó una pronunciada caída en el precio del estaño, llegando a alcanzar tan solo los 2 \$/lb fina en 1991.

Sin embargo, en los últimos dos años, se ha observado un incremento progresivo en el precio internacional del estaño, registrando un promedio de alrededor de 14.53 \$/lb fina en el año 2022. En la gestión del 2023 se registró un descenso a un valor de 11.73 \$/lb fina, tal como se refleja en la figura 1. Este repunte en la gestión 2022 en el precio representa una señal alentadora para la industria minera boliviana y sugiere un panorama favorable para el sector.

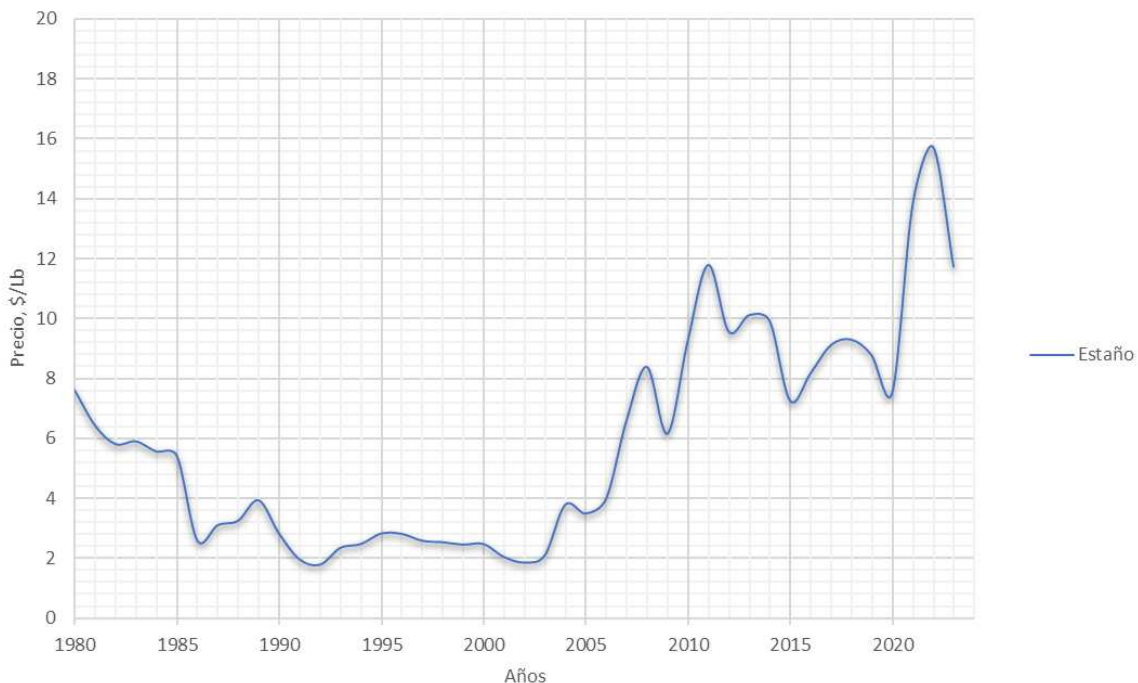


Figura 1 Valores del precio del estaño de 1980-2023, elaboración propia.

El estudio llevado a cabo por Mordor Intelligency (2022)^[2] y el artículo de Corner (2022)^[3] señalan que se prevé un crecimiento continuo en el precio del estaño, con una tasa de crecimiento anual compuesta igual o superior al 2.5% hasta el año 2027. Estas proyecciones brindan oportunidades significativas para el crecimiento y desarrollo de las empresas ya establecidas en el sector minero, así como para la creación de nuevas compañías en la industria. Es en este contexto que la Empresa Minera "AguadeMina", patrocinante de este proyecto, ha dado inicio a la construcción de una planta de concentración gravimétrica con una capacidad de 30 toneladas por día (TPD), en busca de capitalizar las perspectivas favorables del mercado del estaño y fortalecer su posición en la industria minera boliviana.

1.2. Planteamiento del problema

1.2.1. Descripción del Problema

Este proyecto de grado destaca la carencia de pruebas metalúrgicas esenciales en la planificación y construcción de una planta de tratamiento de casiterita por concentración gravimétrica, con una capacidad de 30 toneladas por día (TPD) destinada a la Empresa Minera "AguadeMina". La falta de la caracterización del mineral y la determinación de los parámetros operativos, plantea interrogantes cruciales en el proceso. La capacidad instalada de la planta se ha determinado basándose en la producción de la Mina "La Salvadora-Racacha", situada en la provincia Los Andes de Pucarani y propiedad de la empresa. Además, se contempla la posibilidad de suministro adicional de mineral proveniente de la Empresa Minera Claudio Felipez, ubicada en Milluni.

A pesar de avanzar en la construcción de la planta siguiendo un flujo estándar para este tipo de minerales, no se han realizado pruebas metalúrgicas en las mesas gravimétrica y tampoco se ha determinado sus respectivos parámetros operativos. Es imperativo llevar a cabo una caracterización completa del mineral, incluyendo pruebas preliminares de molienda, distribución de finos y un estudio detallado de las variables de operación, especialmente en el caso de las mesas de concentración gravimétrica.

La falta de estas pruebas genera incertidumbre en la eficiencia del proceso de concentración gravimétrica y en la optimización de la recuperación de minerales valiosos. Para asegurar la efectividad y rentabilidad de la planta, se vuelve esencial realizar las pruebas necesarias que validen y ajusten los parámetros de operación, teniendo en cuenta las características específicas del mineral y las condiciones particulares de la operación.

1.2.1.1. Problema Principal

El problema principal de este proyecto de grado radica en la carencia crucial de pruebas metalúrgicas en la construcción de una planta de tratamiento de casiterita por concentración gravimétrica para la Empresa Minera "AguadeMina". La ausencia de la caracterización del mineral y los parámetros operativos, junto con la incertidumbre en la eficiencia del proceso de concentración gravimétrica, plantea un desafío significativo en la optimización de la recuperación de minerales valiosos. La necesidad apremiante de realizar pruebas se manifiesta como un aspecto crucial para garantizar la efectividad y rentabilidad de la planta, considerando las particularidades del mineral y las condiciones específicas de la operación.

1.3. Justificación

1.3.1. Justificación Técnica

En este proyecto se dirige a abordar una carencia importante en la implementación del proyecto de construcción de la planta de concentración gravimétrica de casiterita. En particular, la ausencia de estudios metalúrgicos en la fase de mesas gravimétricas representa un vacío crítico que afecta directamente la obtención de parámetros de operación esenciales para el éxito del proceso. Para superar esta limitación, se llevarán a cabo pruebas metalúrgicas y se aplicarán técnicas de modelación matemática, como el diseño experimental, con el objetivo de definir de manera precisa los parámetros de operación óptimos para maximizar así el rendimiento.

1.3.2. Justificación Económica

La justificación económica de este proyecto de construcción de la planta de concentración gravimétrica de casiterita para la Empresa Minera "AguadeMina" se fundamenta en la necesidad de asegurar la rentabilidad y sostenibilidad a largo plazo. La inversión en la realización de pruebas metalúrgicas y la aplicación de modelación matemática busca maximizar la eficiencia operativa, optimizar la calidad del concentrado y reducir pérdidas, contribuyendo así a un rendimiento económico óptimo.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

- ❖ Determinar los parámetros operacionales óptimos para la concentración en mesas gravimétricas del mineral de estaño extraído de la mina "Salvadora-Racacha" para su procesamiento en la planta de concentración de la Empresa Minera "AguadeMina".

1.4.2. Objetivos Específicos

- ❖ Caracterizar física, química y mineralógicamente el mineral de la Mina "Salvadora-Racacha".
- ❖ Diseñar y ejecutar diseños experimentales de primer y segundo orden, utilizando modelos matemáticos, para evaluar las variables operativas (frecuencia, amplitud de golpe y caudal de agua), de los cuales se medirán como variables respuesta la ley del concentrado y la recuperación.
- ❖ Identificar las condiciones operativas en las mesas que maximicen las leyes y recuperaciones, buscando un rendimiento técnico y económico óptimo."

1.5. Hipótesis

"Se pueden obtener concentrados de buena calidad, utilizando mesas gravimétricas para el mineral de la mina "Salvadora-Racacha", perteneciente de la Empresa Minera "AguadeMina", aplicando las variables de operación como: caudal de agua, amplitud y frecuencia de golpe."

CAPITULO II - ASPECTOS GENERALES

2.1. Ubicación y acceso

2.1.1. Mina "Salvadora-Racacha"

La Empresa Minera "AguadeMina", propietaria de la mina "Salvadora-Racacha", se encuentra en el Departamento de La Paz, específicamente en la provincia de Los Andrés, localizada en la localidad de Pucarani. La mina se encuentra colindante con el campamento La Unión y Laguna Tuní, como se puede apreciar en la fotografía satelital. Para llegar a la mina desde la ciudad de La Paz, es necesario recorrer una distancia de aproximadamente 70.6 km, lo cual toma alrededor de 5 horas. Dado que la mina está situada en la cordillera real, el clima predominante en esta zona oscila entre -4° y 8° Celsius.

La explotación del yacimiento se llevará a cabo mediante el método de mina dentro, con una operación diaria aproximada de 30 TM (toneladas métricas). El objetivo principal de esta operación es abastecer la planta de procesamiento de minerales de la empresa.



Fotografía 1 Ubicación satelital de la Mina "Salvadora-Racacha", reproducida de Google maps.

2.1.2. Empresa Minera "AguadeMina"

La Empresa Minera "AguadeMina" se encuentra en el camino a Laja, en el sector de la comunidad Sequejauira, del Municipio de Viacha del Departamento de La Paz, como se observa en la figura 2.

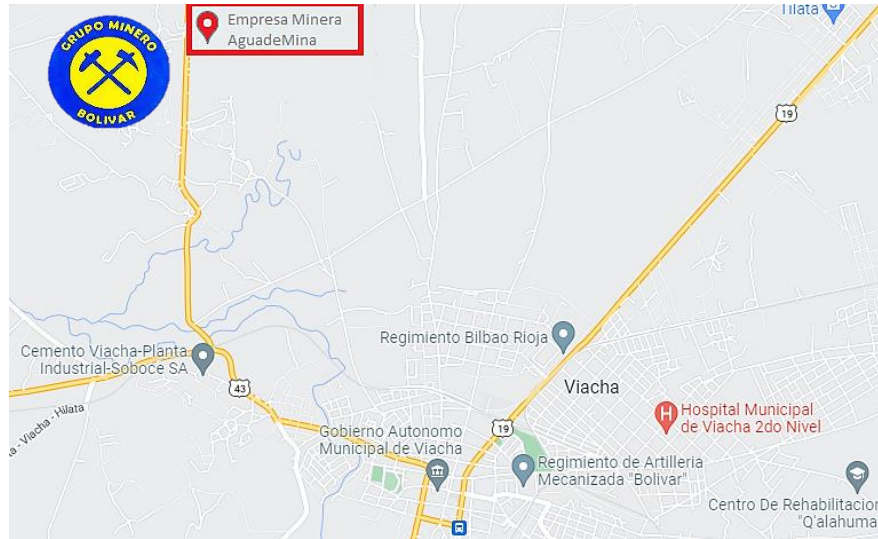


Figura 2 Ubicación satelital de la Empresa Minera “AguadeMina”, reproducida de internet.

La actividad que realiza es la comercialización de minerales, procesamiento y exportación de concentrados de Pb-Ag, Cu y Zn.

Le empresa cuenta con un laboratorio metalúrgico completo consistente en: mesa gravimétrica de laboratorio tipo Deister, molino de bolas, celda de flotación, filtro de presión, acondicionadores de diferentes capacidades, tamices de la serie Tyler, balanza y otros, ver fotografía 2.



Fotografía 2 Laboratorio metalúrgico de la Empresa Minera “AguadeMina”, elaboración propia

CAPITULO III - MARCO TEORICO

3.1. Fundamentos teóricos

3.1.1. Estaño

Es comúnmente un metal de color blanco plateado, pero que a temperaturas por debajo de los 13°C se transforma en un polvo de color grisáceo amorfo conocido como el estaño gris. Podemos descartar que este metal es altamente dúctil y maleable, resistente a la corrosión y fatiga.

Trujillo Cisenardo & Trujillo Cisenardo (2020)^[4], describe las propiedades físicas y químicas, ver figura .

Información general

-	Nombre, símbolo, número	:	Estaño, Sn, 50
-	Serie química	:	Estaño, Sn, 50
-	Grupo, período, bloque	:	14, 5, p
-	Densidad	:	7310kg/m ³
-	Apariencia	:	Gris Plateado brillante metálico

Figura 3 Información general del Estaño, reproducida de (Trujillo Cisenardo & Trujillo Cisenardo, 2020)^[4]

Propiedades atómicas

-	Radio medio	:	145 pm
-	Radio atómico(calc)	:	145 pm (Radio de Bohr)
-	Radio covalente	:	180 pm
-	Radio de van der Waals	:	217 pm
-	Configuración electrónica	:	[Kr]4d ¹⁰ 5s ²
-	Electrones por nivel de energía	:	4,2
-	Estado(s) de oxidación	:	2
-	Estructura cristalina	:	Tetragonal

Figura 4 Propiedades químicas del Estaño, reproducida de (Trujillo Cisenardo & Trujillo Cisenardo, 2020)^[4]

Propiedades: físicas

- Estado ordinario	:	Sólido
- Punto de fusión	:	505,08 K
- Punto de ebullición	:	2875 K
- Entalpía de vaporización	:	295,8 kJ/mol
- Entalpía de fusión	:	7,029 kJ/mol
- Presión de vapor	:	5,78 x 10 Pa a 505 K

Figura 5 Propiedades físicas del Estaño, reproducida de (Trujillo Cisenardo & Trujillo Cisenardo, 2020)^[4]



Fotografía 3 Metal de Estaño en forma de lingote (propiedad de la colección privada Pedro Lagrava B.), elaboración propia

3.1.2. Aplicaciones y usos del estaño

Hoy en día el estaño es utilizado en diferentes aplicaciones, el cual podríamos mencionar en los siguientes puntos:

1. Para aleación con metales

Estas aleaciones tienen diferentes propiedades mecánicas, dependiendo de su composición, el cual se podrá observar en la siguiente tabla:

Tabla 1 Aleaciones del estaño y sus aplicaciones, elaboración propia

Aleación	Composición	Aplicaciones
Bronce (Aleación de cobre y estaño)	Cobre (Cu): 80% Estaño (Sn): 2%-20%	Campanas, engranajes, esculturas, etc.
Metal de Soldar (Aleación de estaño y plomo)	Estaño (Sn): 60% Plomo (Pb): 30%	Para soldaduras blandas
Metal de imprenta (Aleación de estaño, plomo y antimonio)	Estaño (Sn): 40% Plomo (Pb): 50% Antimonio (Sb): 10%	Para cojinetes
Aleaciones antifricción (Aleación de cobre, antimonio y plomo añadido al estaño)	Estaño (Sn): 15% Plomo (Pb): 80% Antimonio (Sb): 5%	Para cojinetes y rodamientos
Aleaciones de bajo punto de fusión (bismuto, cadmio y plomo al estaño)	Estaño (Sn)-Plomo: 60% Bismuto (Bi): 25%-30% Cadmio (Cd): 30%	Fabricación de fusibles eléctricos y en la industria aeroespacial, espadas

2. Usos del estaño en la industria alimenticia

Una de las particularidades del estaño es que se transforma en un excelente protector de otros metales. Por ejemplo, es utilizado para recubrir el acero y el hierro, especialmente en la fabricación de latas de conserva.

3. Usos del estaño en la industria del vidrio

La industria de fabricación de vidrios y cristales es de las que más se beneficia de las características del estaño. De hecho, este elemento químico es vital para disminuir la fragilidad de los productos.

4. Y otros

Podríamos mencionar otras aplicaciones como: pigmentos, dentífricos, tapas de vino, fungicidas, teñido de textiles, esmaltes de cerámicos, etc.

3.1.3. El Estaño presente en la naturaleza

El principal mineral de estaño (Sn) es la casiterita (SnO_2), pero algunos derivados del estaño se producen a partir de minerales de sulfuro tales como estannito ($\text{Cu}_2\text{FeSnS}_4$), abramovita ($\text{Pb}_2\text{SnInBiS}_7$), cilindrita ($\text{FePb}_3\text{Sn}_4\text{Sb}_2\text{S}_{14}$) y otros.

3.1.3.1. La casiterita

La casiterita tiene la siguiente composición química (SnO_2), con un porcentaje de 78.6% de estaño y 21.4% de oxígeno; es de color negro parduzco, el color de su raya es blanca, de intensidad submetálico mate, grado de transparencia translúcido, tenacidad quebradiza con una dureza promedio de 6.5 en la escala Mohos y su gravedad específica media es 6.9 g/cm³. Cristaliza en forma de prisma y bipirámide tetragonal, de tenacidad frágil.



Fotografía 4 Casiterita del distrito de Huanuni. La segunda corresponde a una casiterita conocida tipo riñón, la tercera es un rodado. (Colección privada de Pedro Lagrava B.)

Sus características y ocurrencias se encuentran en: vetas, cortando el granito, en depósitos fluviales que van acompañando con wolframita, sedita, molibdenita y otros.

La casiterita no es muy escasa, su presencia es abundante. Sin embargo, lleva tiempo e inversión encontrarlo y procesarlo. Esta es una consideración clave en la fuerte tendencia alcista actual de los precios.

3.1.3.2. Tipo de depósito

En el artículo de Red de metales no ferrosos de Shanghai (2019)^[5], señala los principales tipos de depósito primarios de estaño, los cuales son:

- **Depósito de pegmatita que contiene estaño**, es principalmente pequeño y mediano, con baja ley de estaño, pero el mineral es fácil de separar y la tasa de recuperación es alta. Distribuido principalmente en África, Brasil, Australia y otros lugares. Alrededor del 10 por ciento de la producción mundial de estaño proviene de tales depósitos.
- **Depósitos de venas de casiterita-cuarzo**, son principalmente pequeños y medianos, algunos grandes y algunos súper grandes. Este tipo de depósito tiene una alta ley de mineral, fácil separación y tasa de recuperación del 70% al 80%. La mayoría de los depósitos se pueden extraer a cielo abierto. Distribuido principalmente en el sudeste asiático y Europa.
- **Depósitos de sulfuro de casiterita**, en su mayoría grandes y medianos, algunos súper grandes. El mineral contiene 0.2% y 1.5% de estaño, la mayoría de los cuales son minería subterránea, el proceso de procesamiento de minerales es complejo y la tasa de recuperación es baja (generalmente del 30% al 60%). Tales depósitos se distribuyen principalmente en China, Bolivia y las zonas costeras del noreste de Rusia.
- **Depósitos de estaño de arena**, generalmente pequeños y medianos, pero también grandes y súper grandes. El mineral contiene 0.05% y 0.3% de estaño, en su mayoría minería abierta, el proceso de procesamiento de minerales es simple y la tasa de recuperación es generalmente del 50% al 95%. Distribuido principalmente en el sudeste asiático, África Central y Sudáfrica, Australia y otros lugares.

3.1.4. Aspectos técnicos

3.1.4.1. Procesamiento del mineral

Bustamante, Rúa Et al (2007)^[6], describe que el procesamiento del mineral o concentración de minerales es la operación en la cual se eleva el tenor o ley (en porcentaje) de una mena o mineral determinado, mediante el uso de equipos de separación, produciéndose así la segregación de 2 o más especies mineralógicas y generar una corriente enriquecida en un mineral de interés. Para ello, se pueden implementar 2 métodos de separación, así:

a. Métodos que emplean diferentes propiedades físicas o volumétricas de las sustancias minerales.

El grupo de tecnologías que asocia a estos métodos se caracterizan por ser fuertemente dependientes del tamaño de partícula y las propiedades diferenciales que generan la separación, pueden ser:

- Diferencia de velocidad de sedimentación, a través de la diferencia de densidad de los sólidos (concentración gravimétrica)
- Diferencias de movimiento en un campo magnético de intensidad variable, a través de la diferencia de la susceptibilidad magnética de los minerales (concentración magnética)
- Quedarse adherido o saltar de una placa metálica, por diferencias en la conductividad eléctrica cuando las partículas están dentro de un campo eléctrico (concentración eléctrica)

b. Métodos que usan propiedades físico-químicas de superficie.

Se podría mencionar los siguientes:

- La adsorción o no de agua en la superficie del sólido, por lo tanto, los que adsorban agua se humectaran (hidrofilicos) y otros que no se humectan (hidrofóbicos), serán rechazados por el medio acuoso y serán arrastrados por el medio acuoso (flotación)
- Adsorción selectiva de un tensoactivo de tal manera que se produzca una aglomeración selectiva un mineral o varios minerales y mantener dispersos a los demás minerales acompañantes, lo cual es muy útil en procesamiento de minerales de tamaño de grano ultrafinos (entre 10 a 1 μm) y coloides ($<1 \mu\text{m}$) (floculación selectiva).

Con todo lo mencionado anteriormente, en objetivo de procesamiento del mineral o concentración del mineral es incrementar el tenor o ley, para posterior pasar a otra etapa dentro de la cadena productiva minera.

3.1.4.2. Concentración gravimétrica

Bustamante, Rúa Et al (2007)^[6], menciona que la concentración gravitacional puede definirse como la separación de 2 o más especies de diferentes pesos específicos (diferente densidad), causada por el movimiento relativo bien sea en un medio acuoso o en aire debido a la respuesta de los sólidos a las fuerzas: gravitacionales, de arrastres y empuje.

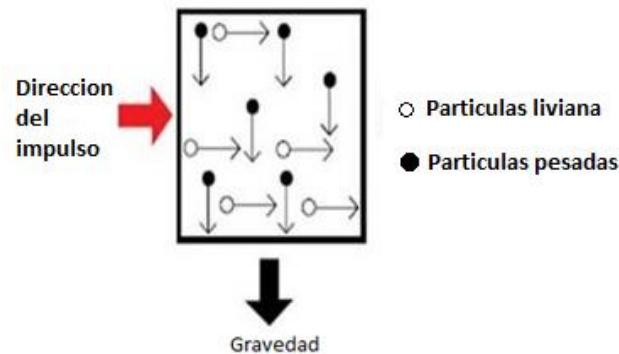


Figura 6 Esquema de separación en sistema de concentración gravimétrica, reproducida del internet

Asimismo, podríamos resaltar que la concentración gravimétrica se utiliza para la separación de minerales con marcada diferencia entre las densidades del mineral y la ganga.

Tabla 2 Pesos específicos de algunos minerales, elaboración propia

Mineral	P. específico
Pirita	4.95 - 5.10
Calcopirita	4.19
Casiterita	6.98 - 7.01
Oro	19.32
Plata	10.49
Arsenopirita	5.90 - 6.20
Cuarzo	2.65

En la tabla 2, se observa los pesos específicos de algunos metales. De la misma tabla se puede inferir que la casiterita puede ser separada del cuarzo aprovechando esa diferencia en sus pesos específicos y con respecto a la pirita, existe una separación parcial, debido a que la diferencia no es de gran significancia.

3.1.4.3. Tipos de concentración gravimétrica

Dentro de la concentración gravimétrica existe diferentes tipos de concentración gravimétrica, el cual podemos mencionar:

1. Separación por medio densos

El proceso de Separación por medio denso se basa en separar una mezcla de dos productos (mineral y ganga), teniendo en cuenta la diferencia en la gravedad específica de ambos al estar sumergidos en un líquido pesado o una suspensión de sólidos (magnetita) que tiene una gravedad específica intermedia entre esos dos materiales. La ganga que sobrenada se conoce como Float y el producto que se hunde Sink. Este tipo de proceso se conoce como Sink & Float, es ideal para granulometría gruesa. En la figura 7 se puede apreciar este tipo de equipo.

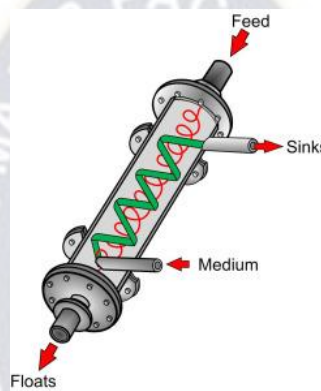


Figura 7 Descripción grafica del equipo Dyna Whirlpool, reproducida de (Pavez, 2015)^[7]

2. Jigs

El proceso de jigs permite separar los componentes de un mineral de acuerdo a su peso específico, en un medio acuoso que alterna la sedimentación libre y la sedimentación obstaculizada, gracias a la pulsación del líquido producida por diferentes medios. Este tipo de concentración es ideal para granulometría gruesa, en la figura 8 se muestra esquemáticamente la separación en estos equipos.

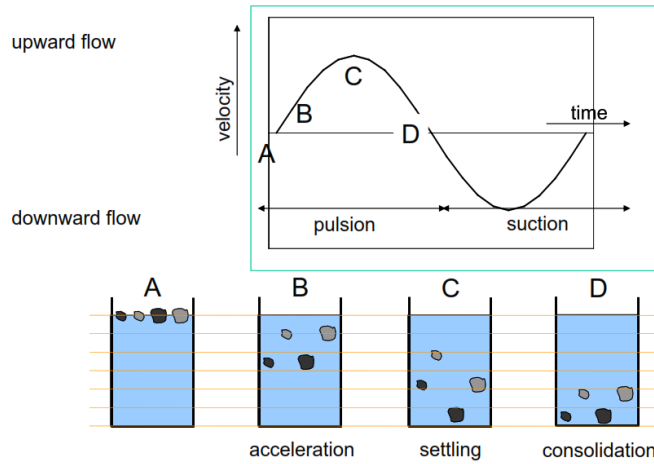


Figura 8 Esquemática de la separación de 2 partículas en un jig, reproducida del internet

3. Concentrador centrífugo

El proceso concentrador centrífugo separa minerales mediante la rotación a gran velocidad, creándose una fuerza centrífuga que incrementa el peso relativo de los diferentes minerales, además se emplea presión de agua (lecho fluidizado) para producir una competencia de fuerzas. Este tipo de concentración es ideal para granulometría fina. Entre estos equipos tenemos el concentrador centrífugo Knelson o Falcon, ver figura 9 y 10, respectivamente.

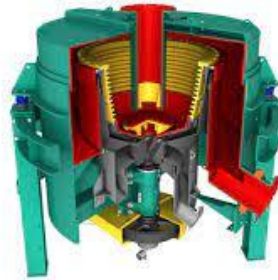


Figura 9 Equipo de concentrador centrífugo Knelson, reproducida del internet



Figura 10 Equipo de concentrador centrífugo Falcon, reproducida del internet

4. Espirales

El concentrador de espiral consiste en una canaleta helicoidal con cuatro a siete vueltas. Su funcionamiento puede ser comparado con el de una batea cónica, donde las partículas livianas se mueven por la acción del agua hacia el borde y las partículas pesadas se concentran en el centro. Se puede considerar al concentrador de espiral como una serie de bateas superpuestas y conectadas. En la industria se conocen como espirales helicoidales, ver figura 11.



Figura 11 Equipo de separador Espiral, reproducida del internet

5. Mesas gravimétricas

Las mesas concentradoras son equipos que consiste en una superficie plana sobre la cual se han colocado listones de madera o de fibra de vidrio reforzada de altura variable. Su funcionamiento se basa en el movimiento oscilatorio horizontal bajo una inclinación, donde se van separando minerales de pesos específicos livianos con respecto a pesados.

Aguilar Asanza & Corella Merizalde (2016)^[7], comenta que la mesa concentradora es una máquina de gran ayuda para la pequeña minería, adicionalmente contribuye con el medio ambiente por su tecnología de no utilizar ningún químico para la concentración del material, es una máquina que ayuda a separar las partículas o arenas basada en la diferencia de pesos específicos, ver figura 12.

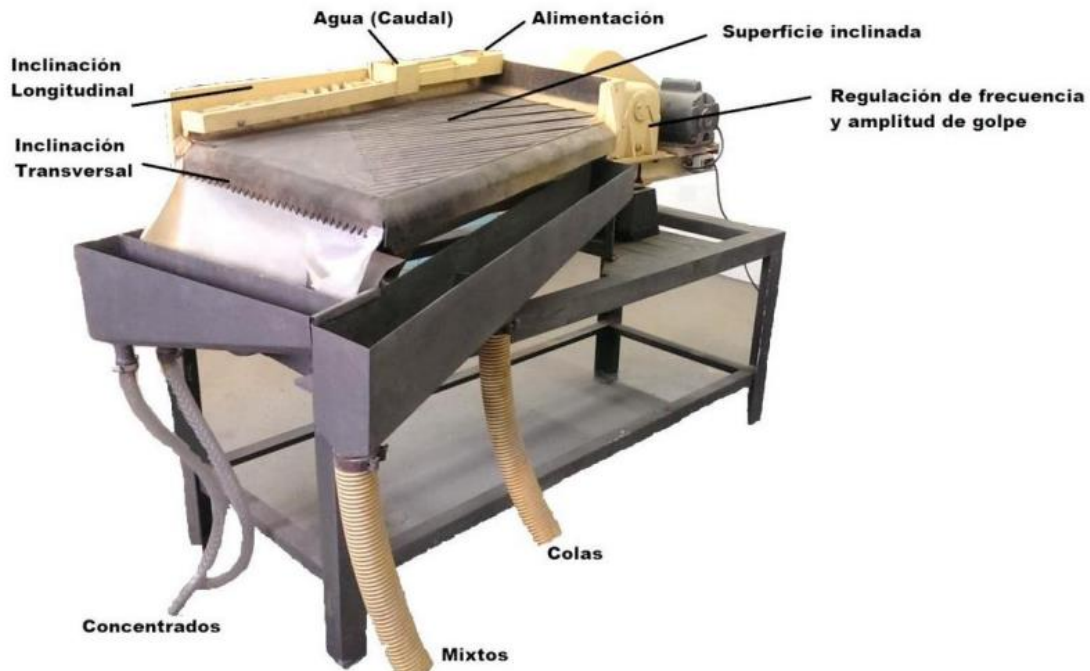


Figura 12 Mesa vibratoria y sus respectivas partes, reproducida de (Rivera Parra, 2017)^[9]

A lo largo del borde superior del tablero existe un distribuidor de agua de lavado, con dispositivos que permiten regular el reparto de agua para graduar junto con: el caudal de entrada y la inclinación; la intensidad de la corriente transversal de agua.

La descarga de los productos es recogida en canales paralelos al borde de la mesa. Por otro lado, la efectividad de todas las mesas depende de la homogeneidad del material de la alimentación fluctuación altera las condiciones de transporte del agua hacia afuera de la corriente. (Callata C., 2014)^[8].

Como se observó anteriormente, existe una variedad de equipos que permiten separar minerales. Según Quiroz Nuñez, (2017)^[9], resaltar que cada método tendrá un rango de recuperación, con respecto al tamaño de partícula, como se observa en la figura 13.

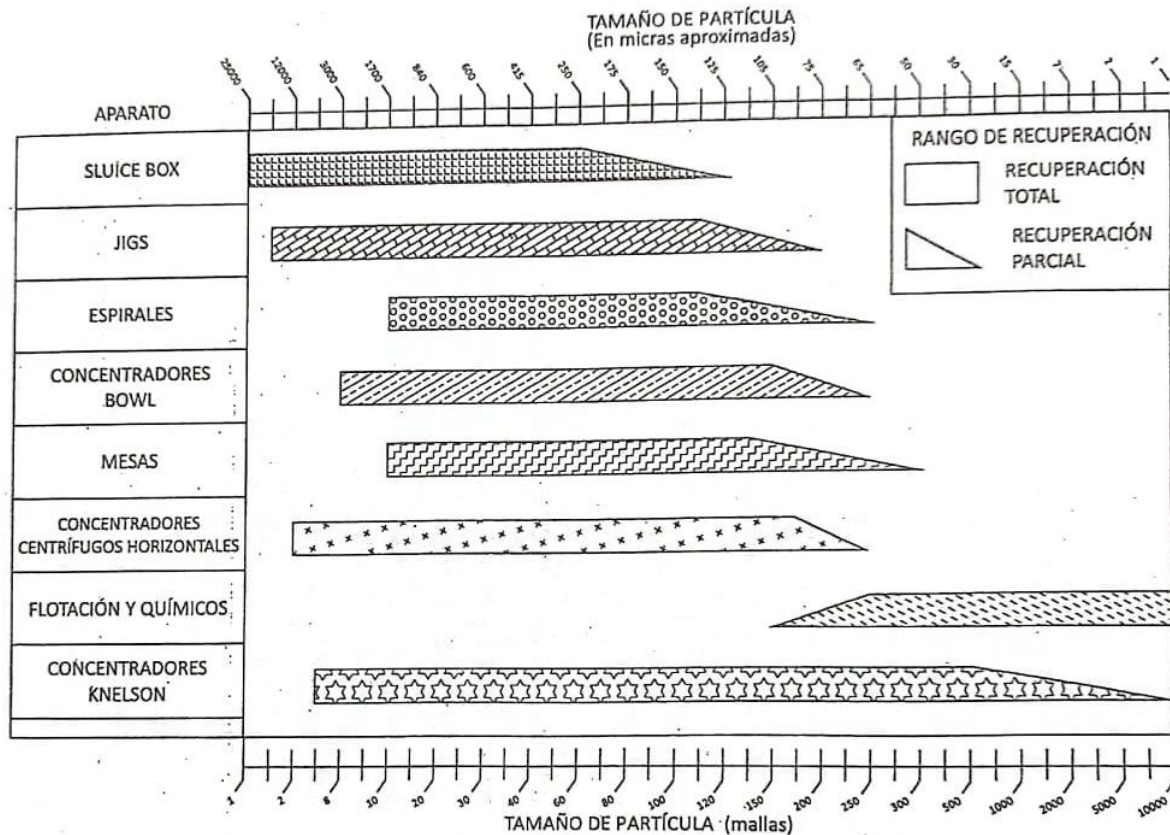


Figura 13 Aplicación de diferentes equipos según el rango de tamaño

3.1.4.4. Tipos de mesas gravimétricas

3.1.4.4.1. Mesas Wilfley

Fue lanzada en 1895 y fue la primera mesa vibratoria. Después se crearon más modelos de mesas estando seguros de su eficiencia. Era y sigue siendo utilizada para la separación de minerales de diferentes densidades, utilizando la fuerza de gravedad y la fuerza centrífuga. (Aguilar Asanza & Corella Merizalde, 2016)^[7].



Figura 14 Mesa de concentración tipo Wilfley, reproducida del internet

3.1.4.4.2. Mesas Deister

Esta mesa tiene la misma funcionalidad que la mesa Wilfley, la diferencia entre estas 2 mesas es mínima, pues una diferencia principal es su mecanismo del cabezal, la geometría de su tablero y el tipo de rifle. (Aguilar Asanza & Corella Merizalde, 2016)^[7].



Figura 15 Mesa de concentración tipo Deister, reproducida del internet

3.1.4.4.3. Otros tipos de mesas

Existen otros tipos de mesas, no muy conocidas en el medio, tienen la misma funcionalidad, la única diferencia es inclinación y ubicación de sus rifles, como se puede ver en la figura 16.

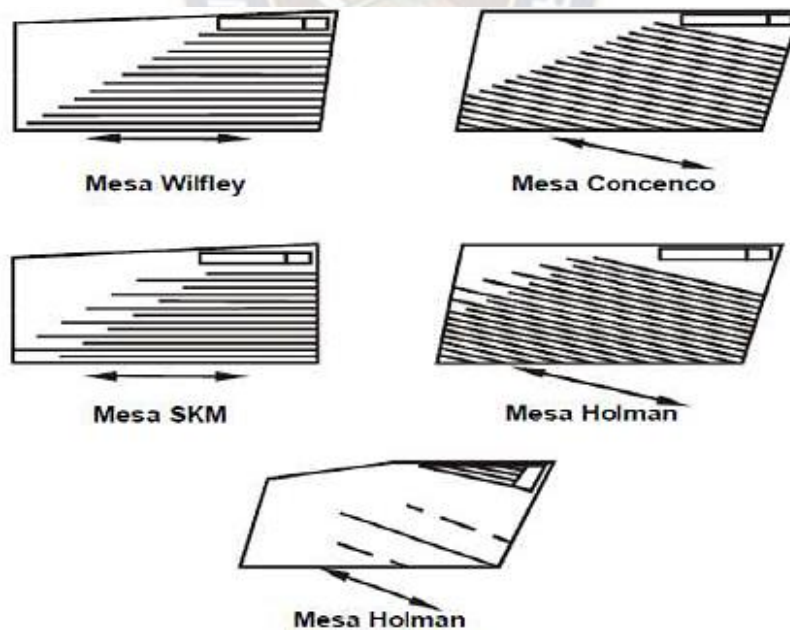


Figura 16 Diferentes tipos de mesas, reproducida de (Aguilar Asanza & Corella Merizalde, 2016)^[7]

3.1.4.5. Fundamentos de la concentración en mesas

Aguilar Asanza & Corella Merizalde (2016)^[7], describe que la separación efectuada por esta máquina, es el resultado de varios principios que actúan simultáneamente sobre la carga en la mesa. Esto se tiene debido a:

a) El fenómeno de película de flujo laminar

El resultado de la velocidad diferencial de la partícula de flujo líquido, siendo la máxima velocidad cerca del tope de la película, y casi nulo en el fondo. Este tipo de concentración da como resultado que partículas gruesas y de baja densidad sean movidas, por la capa superior de este flujo, moviéndose consecuentemente a la máxima velocidad. Por lo contrario, partículas finas de elevada densidad se presentan en el fondo de este fluido y se mueven con mínima velocidad. Las partículas gruesas de alta densidad y las finas de baja densidad se mueven a una velocidad intermedia en la mitad de la capa de la película líquida.

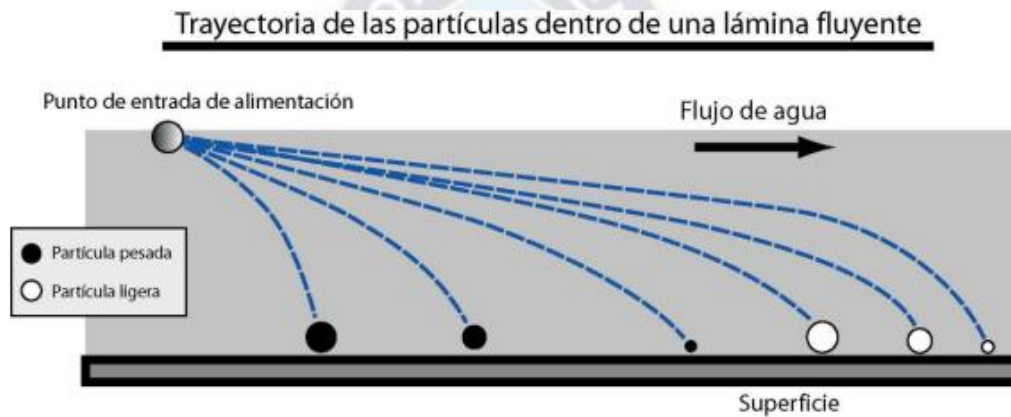


Figura 17 Influencia de la lámina fluyente sobre el desplazamiento de las partículas, reproducida del internet

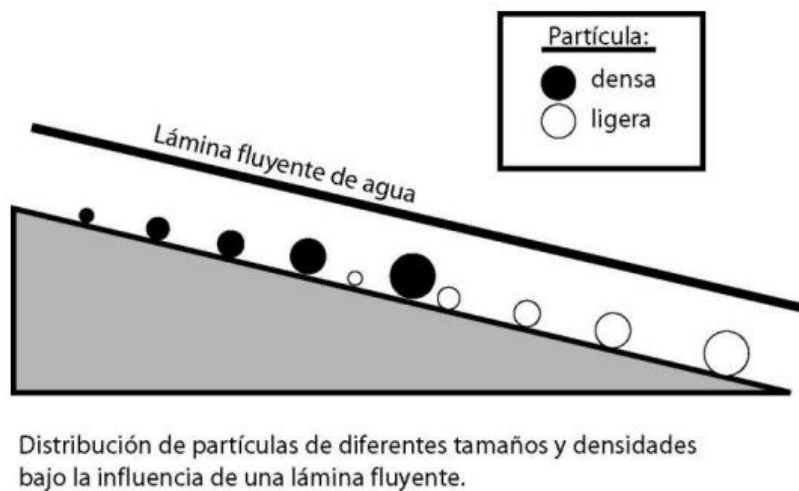


Figura 18 Distribución de las partículas por lamina fluyente, reproducida del internet

b) El principio de obstrucción al libre asentamiento de las partículas

Es un proceso de selección debido a la gravedad específica de las partículas que están sobre la mesa cuando la suspensión de partículas densamente empaquetadas se concentra sobre los rifles y son suspendidas verticalmente por el flujo. La clasificación resultante de las partículas es similar a la obtenida por el principio anterior.

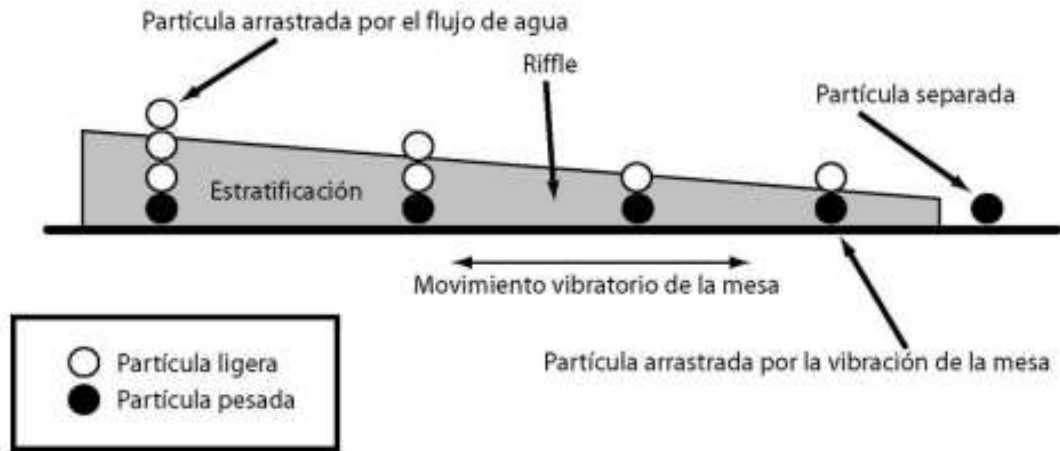


Figura 19 Principio del funcionamiento del rifle, reproducida del internet

Es importante especificar que, al momento del empaquetamiento de las partículas densas, existe 2 zonas, los cuales son:

- 1 Zona de estratificación
- 2 Zona de sedimentación obstaculizada



Figura 20 Esquema de la zona de estratificación y de la sedimentación obstaculizada, reproducida del internet

c) El reordenamiento por consolidación

Esto ocurre subsecuentemente al fenómeno de interrupción a libre asentamiento de las partículas, por el que las partículas finas continúan colándose entre los espacios porosos de las partículas más gruesas, después de que estas se han asentado.



Figura 21 Esquema descriptivo del reordenamiento de las partículas, reproducida del internet

d) La aceleración asimétrica

Este es el resultado del movimiento recíproco asimétrico impartido a la superficie de la mesa, el cual provoca un movimiento intermitente de los sólidos que descansan en la superficie de la mesa.



Figura 22 Esquema de la estratificación, reproducida del internet

Por otro lado, también Aguilar Asanza & Corella Merizalde (2016), menciona que podemos resaltar 2 fenómenos presentes en la parte de los ríffles, los cuales son:

a) **Fenómeno estratificación:** La estratificación es otro fenómeno importante en las mesas gravimétricas. Se produce cuando las partículas se separan en capas según su densidad. Las partículas más pesadas se depositan en la parte superior de la mesa, mientras que las partículas más ligeras se mueven hacia la cola de la mesa. Esto permite la separación efectiva de los minerales de diferentes densidades. (Bustamante Rúa, Et al, 2007)^[6]

b) **Fenómeno de sedimentación obstaculizada:** Este fenómeno ocurre cuando las partículas más pesadas se depositan en la parte superior de la mesa debido a la acción de la gravedad. Sin embargo, a medida que las partículas más ligeras se mueven hacia la cola de la mesa, pueden obstaculizar el movimiento de las partículas más pesadas, lo que resulta en una sedimentación obstaculizada. Esto permite la separación de los minerales más pesados de los minerales más ligeros. (Bustamante Rúa, Et al, 2007)^[6]

3.1.4.6. Modelación matemática

Bustamante, Rua Et al (2007)^[6], describe que los principios básicos de la concentración en este tipo de medio, es que el agua fluye en una superficie inclinada, en una película delgada, bajo condiciones laminares. La velocidad del fluido posee una distribución parabólica, siendo cero en el contacto con la superficie y máxima en la parte superior del capa o película o en cercanía de ella.

Bajo tales condiciones de flujo el $N_{Re} < 500$; definido este como:

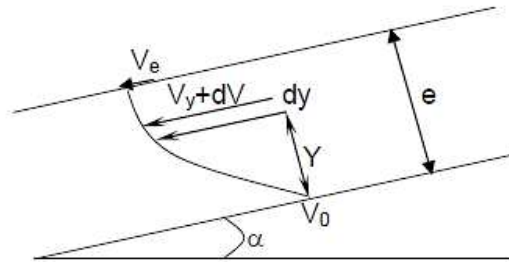


Figura 23 Perfil de velocidad de un fluido en un plano inclinado, elaboración previa.

$$N_{Re} = \frac{\rho \cdot v \cdot e}{\mu} \dots\dots(1)$$

Donde:

- ρ = Densidad del fluido (Kg/m^3)
- v = Velocidad del fluido (m/s)
- e = Espesor del capa o película (m)
- μ = Viscosidad dinamica de fluido ($\text{N} \cdot \text{s} / \text{m}^2$)

Ahora, consideremos una partícula situada en la parte interior de una superficie inclinada, sobre la cual fluye una película de agua.

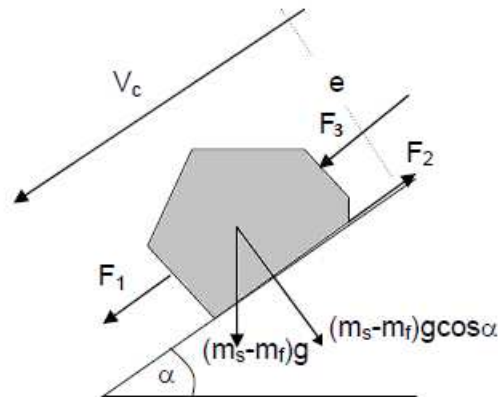


Figura 24 Esquema de las fuerzas que interactúan en un plano inclinado, elaboración propia.

Se pueden considerar hidrodinámicamente 3 fuerzas actuando sobre las partículas:

Donde:

m_s = Masa de la partícula

m_f =Masa del fluido

F_1 = Fuerza debida a la gravedad o componente de peso en el ángulo de inclinación α

$$F_1 = (m_s - m_f) \cdot g \cdot \text{sen } \alpha \dots\dots(2)$$

F_2 = Fuerza de fricción entre partícula y placa sobre la que ocurre el desplazamiento α

$$F_2 = \mu(m_s - m_f) \cdot g \cdot \text{cos } \alpha \dots\dots(3)$$

F_3 = Es la fuerza de interacción fluido-partícula o fuerza de arrastre. Esta fuerza es difícil de calcular, debido a que ella depende tanto de la forma y orientación de la partícula sino también del movimiento relativo partícula-fluido. Además, el fluido tiene una velocidad que está en función de la profundidad. De hecho, F_3 se compone de 2 fuerzas opuestas, una es la fuerza del fluido sobre la partícula actuando agua abajo y la otra es la resistencia del fluido que la partícula experimenta debido a su movimiento.

Pueden obtenerse soluciones analíticas haciendo una sumatoria de fuerzas que actúan sobre todos los elementos individuales de la partícula. Esto se puede hacer para una partícula esférica si se asume que la resistencia del fluido es la misma a través del régimen del fluido por el cual atraviesa la partícula. Esto inmediatamente excluye los regímenes newtonianos y de transición cerca a la base inferior, debido a las bajas velocidades; el régimen es de Stokes. Por ende, la ley de Stokes debe ser utilizada para una solución matemática, una suposición que es razonable, considerando las velocidades tan bajas y los tamaños finos que generalmente se involucra. Con base en las oposiciones anteriores, Gaudin (1939) desarrollo la ecuación para hallar el valor de F_3 .

Asumiendo condiciones en régimen de Stokes, la fuerza de fluido dF_3 para un elemento $rd\beta$ sobre el perímetro de la esfera es:

$$dF_3 = 6 \cdot \pi \cdot \mu \cdot (V_f - V_s) \cdot rd\beta \dots\dots(4)$$

Donde:

V_f =Velocidad el fluido en posición β

V_s =Velocidad de partícula

Como el perfil de velocidad del fluido es:

$$V_f = \frac{\rho \cdot g \cdot \text{sen } \alpha \cdot (2e - y) \cdot y}{2\mu} \dots\dots(5)$$

Considerando que $y = \Gamma + \Gamma \cos \beta$, reemplazando e integrando:

$$F_3 = -9\pi^2 \rho g \Gamma^3 \text{sen } \alpha + 12\pi^2 \rho g \Gamma^2 \text{sen } \alpha - 12\pi^2 \mu \Gamma V_s \dots\dots(6)$$

La anterior ecuación, se puede usar al derivar la ecuación de movimiento de partículas esféricas transportándose a través de una película delgada de fluido. No se debe usar como generalmente se hace, para otras formas debido a que F_3 debe ser calculado independientemente por ecuaciones apropiadas y una integración subsecuente, por lo que se sugiere métodos numéricos para hallar el balance de fuerzas a partir de las ecuaciones diferenciales de movimiento.

Para obviar el anterior problema, Gaudin (1939) introduce un coeficiente de aproximación, K , el cual para una esfera es 2π reemplazando en la ecuación y factorizando, se obtiene que:

$$F_3 = \left(6 - \frac{9}{2}\Gamma\right) \cdot \pi K \rho g \Gamma^2 \text{sen } \alpha - 6\pi K \mu \Gamma V_s \dots\dots(7)$$

Aplicando la 2^{da} ley de Newton:

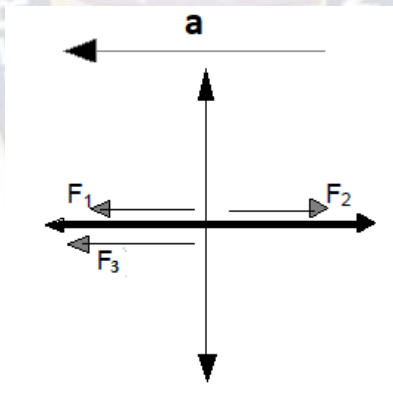


Figura 25 Esquema de fuerzas que influyen en la partícula, elaboración propia.

La sumatoria de fuerzas, con respecto a la dirección del movimiento es:

$$F_1 - F_2 + F_3 = m_s a \dots\dots(8)$$

$$(m_s - m_f) \cdot g \cdot \text{sen } \alpha - \mu (m_s - m_f) \cdot g \cdot \cos \alpha + \left(6 - \frac{9}{2}\Gamma\right) \cdot \pi K \rho g \Gamma^2 \text{sen } \alpha - 6\pi K \mu \Gamma V_s = m_s \left(\frac{dv}{dt}\right) \dots\dots(9)$$

Simplificando y sustituyendo los $m_s = \frac{4}{3}\pi\Gamma^3\rho_s$ y $m_f = \frac{4}{3}\pi\Gamma^3\rho$:

$$\left(\frac{\rho_s - \rho}{\rho_s}\right) \cdot (\sin \alpha - \mu \cos \alpha) \cdot g + \frac{9}{2} \cdot \frac{K \rho g \sin \alpha}{\Gamma \rho_s} - \frac{27}{8} \cdot \frac{K \rho g \sin \alpha}{\rho_s} - \frac{9}{2} \cdot \frac{K \mu V_s}{\Gamma^2 \rho_s} = \frac{dv}{dt} \dots\dots(10)$$

En la derivada de la anterior ecuación se asume que la fuerza de fricción está actuando completamente. Esto no puede ser así como y no habrá movimiento cuando el termino $(\sin \alpha - \mu \cos \alpha)$ se tome positivo, cuando $\frac{dv}{dt} = 0$, la condición limite se deriva:

$$\text{ctg } \alpha = \left[\frac{9K\rho}{2(\rho_s - \rho)\Gamma} - \frac{27K\rho}{8(\rho_s - \rho)} \right] \dots\dots(11)$$

Por lo tanto, se obtiene una ecuación que relaciona el ángulo de inclinación en una superficie inclinada, el cual será afectada por la densidad de la partícula y del fluido, así mismo por el tamaño de la partícula, bajo una constante K y así también el coeficiente hidrodinámico de fricción.

3.1.4.7. Variables operativas

Gutierrez (2010)^[10], establece que la operación de la mesa depende de:

- La frecuencia de golpe
- Amplitud de golpe
- Inclinación longitudinal y transversal
- Cantidad de agua
- Características de la mena
- Densidad de las partículas útiles y de los estériles
- Forma de las partículas
- Granulometría de la alimentación

Callata C. (2014)^[8], sobre estas variables realiza los siguientes comentarios.

- **Amplitud y frecuencia de golpes:** Los golpes largos a velocidades relativamente bajas son mejores para alimentaciones gruesas, mientras que lo contrario, se utiliza en alimentación fina. Estas mesas están normalmente equipadas con mecanismos que permiten variar durante el funcionamiento sea la frecuencia y la amplitud de los golpes
- **Inclinación transversal y longitudinal:** La inclinación transversal es el desnivel que existe entre el extremo de la alimentación hasta el extremo de descarga de colas, idealmente debe ajustarse al mínimo posible para tener una buena distribución de las arenas en la cubierta (deck). La inclinación longitudinal es el desnivel existente entre el extremo de la alimentación y el extremo de descarga de concentrados, esta inclinación debe ser moderada para que las partículas de mayor densidad (sulfuros) escalen más rápidamente que las livianas (silicatos), de tal forma que haya una buena separación entre concentrados, mixtos y colas. Pero es indudable que las condiciones óptimas puedan únicamente ser determinadas en la práctica. La inclinación transversal de la bandeja puede ser modificada durante la

operación; mientras que la inclinación longitudinal se debe variar antes de poner en funcionamiento la máquina.

A. Wills & A. Finch (2016)^[11], para estas variables, establecen los siguientes parámetros operativos.

- **Amplitud y frecuencia:** Estos parámetros oscilan de 1 a 2.5 cm de amplitud de golpe y la frecuencia de 240 a 325 RPM.
- **Porcentaje de sólidos:** Este parámetro se recomienda que este entre 20 a 25% de sólidos.
- **Capacidad de tratamiento:** Este parámetro dependerá de la granulometría del mineral. Partículas de 1.5 mm (aproximadamente malla 12, serie Tyler), puede ser procesados a 2 TMH y menores a 1.5 mm hasta 1TMH, asimismo para tamaños que va de 100 um y 150 um (aproximadamente malla 150 y 100 respectivamente, ambos de la serie Tyler) pueden ser procesados a 0.5 TMH.
- **Granulometría:** Este parámetro puede estar en el rango de 3000um (6#) y 105um (150#).
- **Inclinación:** Este parámetro puede estar entre 0 a 10° de inclinación transversal.
- **Caudal de agua:** Este parámetro puede variar de pocas cantidades a casi 100 lt/min.

Asimismo, Quiroz Nuñez (2017)^[9], para el trabajo en mesas, establece los siguientes comentarios:

- **Granulometría de la alimentación:** Como en todo aparato de concentración gravimétrica, la eficiencia de las mesas cae drásticamente para una granulometría menor a -200# (-75 um). Igualmente, un mayor tamaño en la alimentación aumenta la capacidad de la mesa y la eficiencia sube considerablemente si se clasifica el alimento en rangos estrechos de tamaño de partícula, ya que las partículas densas en suspensión aumentan la densidad de pulpa lo que también el tiempo de sedimentación de los sólidos.
- **Inclinación de la mesa:** Los ángulos deben variar entre 2° y 5° pero pueden ser de cero grados. Una variación en los ángulos altera totalmente las condiciones de operación. Una operación rougher debe tener más pendiente mientras que las operaciones de limpieza deben tener menos pendiente.
- **Características de la cubierta:** Las mesas se constituyen de madera cubierta de linóleoum, goma, jebe, plástico o fiberglass. Siempre se usarán materiales de alto coeficiente de fricción.
- La disposición de los rifles depende de cada operación. Así, la operación rougher se deberá realizar preferentemente en una mesa cubierta de rifles.
- **Rango de amplitud de oscilación y velocidad de oscilación:** Estas variables tienen una gran influencia en la operación de las mesas, pero deben cumplir las siguientes condiciones: Si el material es grueso, la amplitud debe ser del orden de 1.5 a 2.5 cm y la velocidad de oscilación de 200-240 golpes/minuto con movimiento lento hacia delante y rápido retroceso. Para fino (-100#) la amplitud debe ser reducida y la frecuencia elevarse a 300 golpes/minuto.
- **Capacidad:** La capacidad de las mesas dependen de los siguientes factores:

- **Tamaño de la alimentación:** El alimento grueso permite mayor capacidad y el alimento fino la reduce.
- **Tipo de concentración que realiza la mesa:** Si se trata de un rougher, la capacidad será mayor que la de un cleaner.
- **Longitud de oscilación, número de sacudidas o golpes por minuto e inclinación de la mesa:** La capacidad se incrementará con el número de sacudidas y la longitud de oscilación.

La capacidad puede ser asumida adentro de los siguientes rangos:

Tabla 3 Descripción de la capacidad en mesas según el tamaño de partícula, reproducida de (Quiroz Nuñez, 2017)^[9].

Alimento	Capacidad
2.5 mm	100 TM/24h
0.8 mm	14 TM/24h
0.4-0.1 mm	10 TM/24H

3.1.4.8. Ventajas y desventajas

Rivera Parra (2017)^[12], comenta que las ventajas y desventajas de utilizar una mesa gravimétrica son:

Ventajas

- Descarga continua de producto
- Permite obtener toda una gama de productos (concentrado, mixtos y colas)
- Comportamiento visible del material sobre el tablero
- Costo relativamente bajo
- Gran flexibilidad
- Manejo y supervisión relativamente simple (Ton/h)
- Alta seguridad en las condiciones de trabajo
- Posibilidad de recuperar otros minerales valiosos acompañantes
- Buena recuperación y un alto índice de enriquecimiento, poco uso de agua y energía
- Posibilidad de su producción en países en desarrollo.

Desventaja

- Precio relativamente alto (en relación a su capacidad)
- Requiere alimentación constante (la posición de las cejas varía)
- Requiere supervisión continua
- Requiere motor

3.1.4.9. Proceso de obtención del concentrado casiterita

Posterior a la explotación del yacimiento, la casiterita en primera instancia pasa a una etapa de conminución (trituradores y molinos), conjuntamente con una clasificación de partículas (clasificador hidráulico, hidrociclón, akins, etc.), para luego pasar a un etapa de preconcentración o concentración gravimétrico (espiral, mesas, jigs, centrifugo nelson o falcón, etc.), el cual puede ir acompañada por procesos físico-químicos (flotación), todo esto con el objetico de obtener un producto comerciable. Asimismo, existen etapas adicionales que permitirán llevar a cabo las condiciones de operación eficiente, como se observar en la figura 26.



ESTAÑO

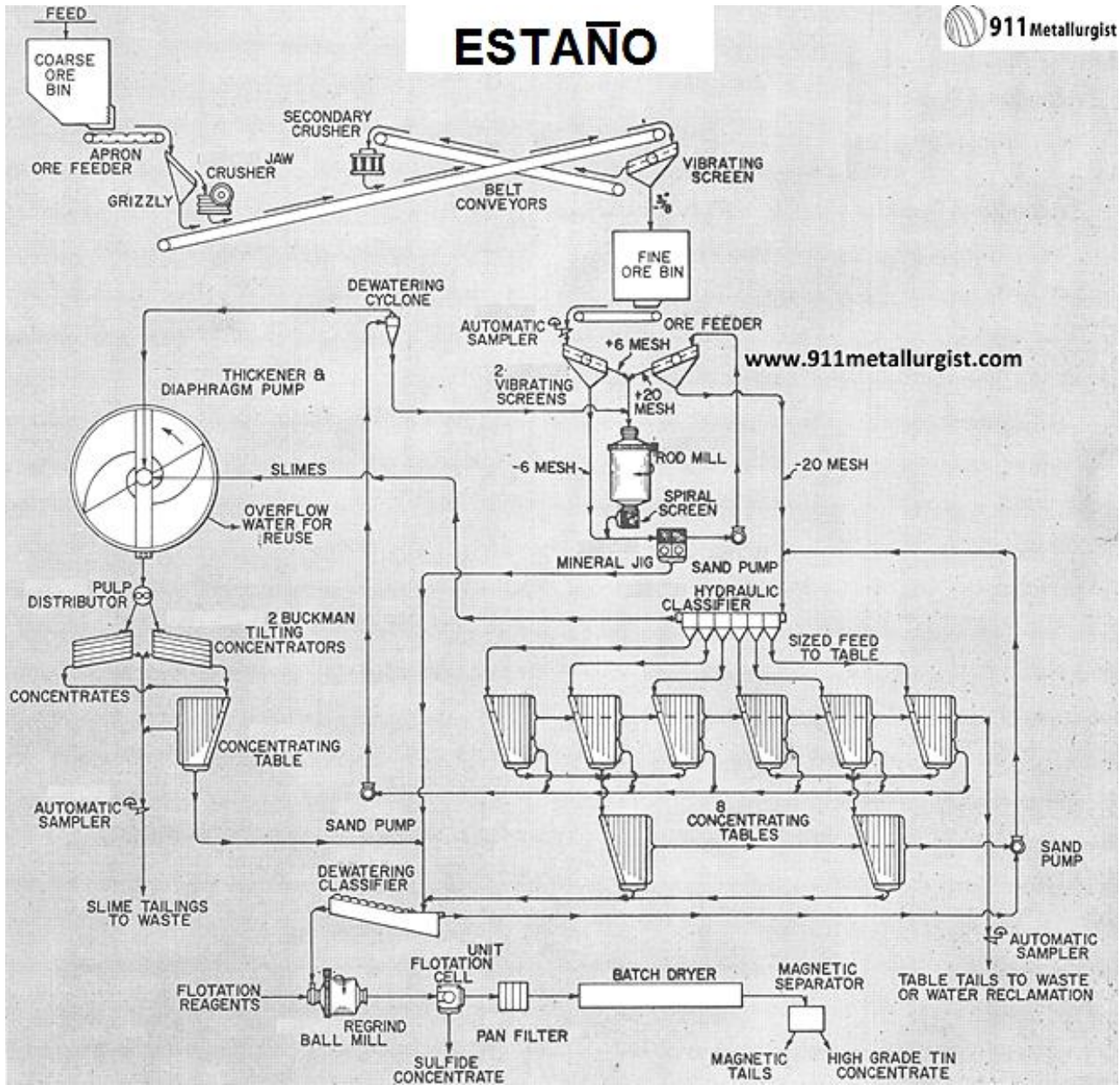


Figura 26 Diagrama de flujo para el procesamiento de Estaño, reproducida de (911 Metallurgist, 2018)^[13]

3.1.5. Aspectos económicos

3.1.5.1. Producción de concentrado del estaño

Según el boletín estadístico del tercer trimestre del Ministerio de Minería y Metalurgia (2022)^[14], se registro una producción nacional de minerales de estaño de 13200 TM finas, lo que significa una disminución del -8.4% con respecto del periodo 2021.

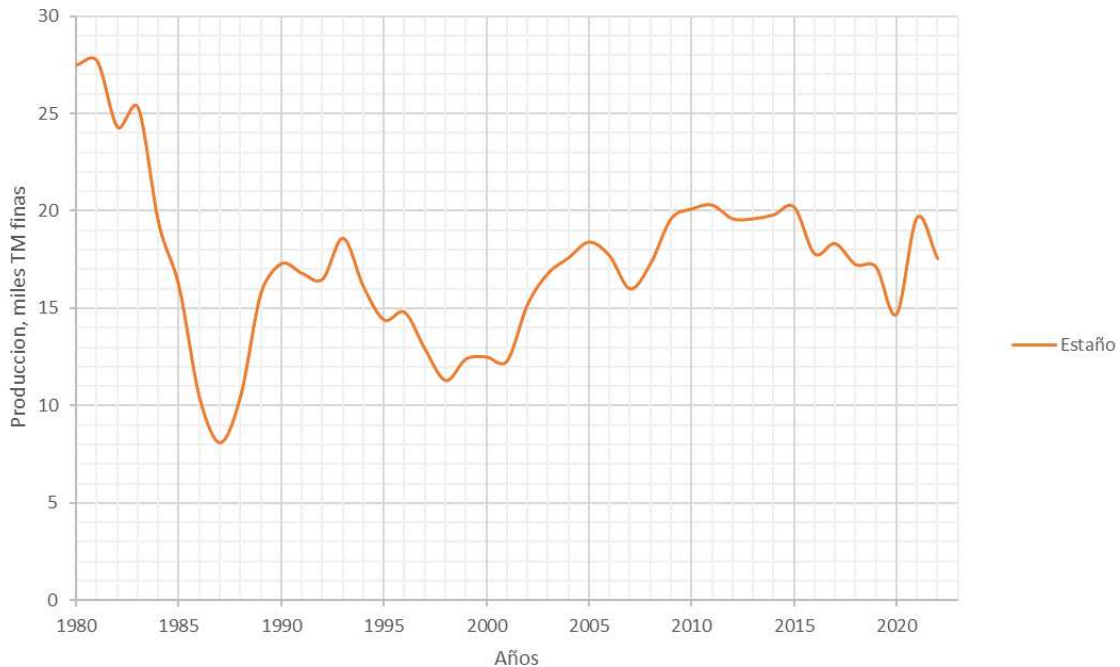


Figura 27 Producción del concentrado del estaño, elaboración propia

3.1.5.2. Precio del estaño

El precio del estaño puede cambiar a lo largo de los años debido a diferentes factores que afectan su oferta y demanda en el mercado. Estos cambios pueden estar relacionados con variables económicas, políticas y tecnológicas, entre otras. Por ejemplo, si la demanda de productos que utilizan estaño aumenta, como los dispositivos electrónicos, es probable que el precio del estaño también suba. Del mismo modo, si hay escasez de suministro debido a problemas de producción o restricciones comerciales, el precio del estaño puede aumentar. Por otro lado, si se descubren nuevos yacimientos o se desarrollan tecnologías alternativas, el suministro de estaño podría aumentar, lo que podría llevar a una disminución en su precio. En resumen, los cambios en la oferta y la demanda, así como otros factores externos, pueden influir en las fluctuaciones del precio del estaño a lo largo del tiempo.

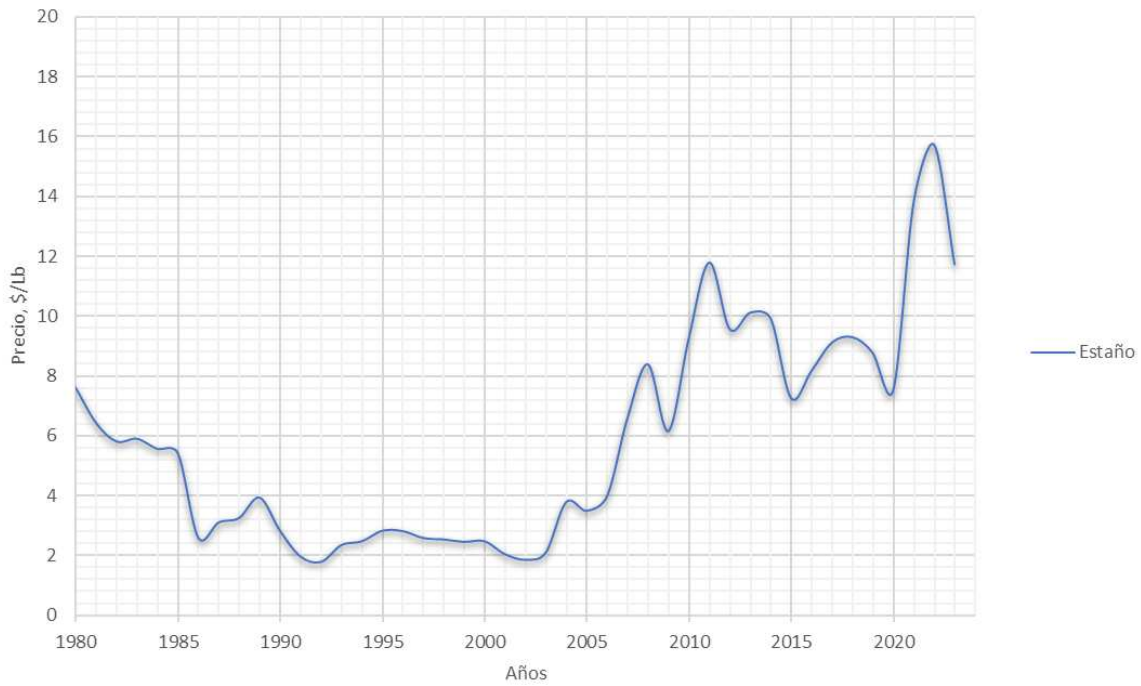


Figura 28 Precio del estaño, elaboración propia

En la gestión del 2022, se observó que los precios del estaño alcanzaron a un valor promedio de 14.53 \$/Lb fina, superando el precio anual promedio del 2021, que llegó a 14.13 \$/Lb fina.

3.1.5.3. Consumo del estaño a nivel mundial

El consumo de estaño varía en función del desarrollo económico, la evolución industrial y las necesidades de cada continente, como se puede ver en la siguiente figura 29.

Consumo mundial del estaño

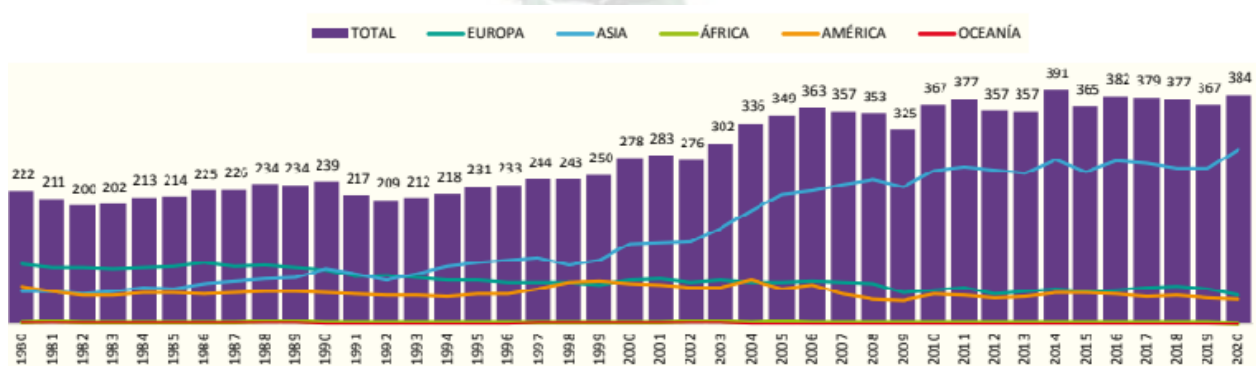


Figura 29 Consumo mundial del Sn de 1980-2020, reproducida de (Ministerio de Minería y Metalurgia, 2020)^[15]

En Asia, se incrementa por la fabricación de dispositivos electrónicos, mientras que en América del Norte se ve impulsado por la demanda de la industria automotriz y tecnológica. Europa se ve afectada por la producción de envases y productos químicos, mientras que en

América del Sur y África está relacionado con la producción y exportación de minerales. En resumen, el consumo de estaño se adapta a las demandas específicas de cada región según su desarrollo industrial y necesidades económicas.

3.1.5.4. Tendencia mundial del estaño

El mercado se vio afectado negativamente por COVID-19 en 2020. Los comerciantes de estaño han experimentado una de las restricciones más severas en el mercado de metales, ya que Covid-19 estimula un aumento en la demanda a medida que la oferta flaquea. En la primera mitad de 2021, la demanda de estaño utilizado en productos electrónicos superó la oferta, lo que provocó un aumento de precios de más del 90 % en la Bolsa de Metales de Londres. Sin embargo, se espera que el mercado crezca a un ritmo constante en el período de pronóstico (2022-2027).

Mordor Intelligence (2022)^[2], menciona que la soldadura será la aplicación de más rápido crecimiento durante el período de pronóstico (2022-2027), así también:

- El estaño es un componente importante en las soldaduras, ya que se funde y se adhiere a muchos metales base comunes a temperaturas considerablemente por debajo de sus puntos de fusión.
- La soldadura de alambre de estaño y plomo se emplea a menudo en la electrónica cuando los componentes sensibles al calor se derriten, rompen o distorsionan a altas temperaturas. La ventaja de la soldadura de estaño y plomo es su resistencia a la corrosión. También se utilizan para unir tuberías y circuitos eléctricos.
- La soldadura es una aleación de metal que sirve como conexión electromecánica entre los componentes y el sustrato y proporciona continuidad eléctrica a la placa de circuito.
- Actualmente, la industria electrónica es la principal industria de usuarios finales que utiliza mucho las soldaduras a base de estaño. La creciente demanda en la industria electrónica está impulsando la demanda de soldaduras a base de estaño.
- Las industrias electrónica y eléctrica utilizan soldaduras que contienen entre un 40 y un 70 % de estaño, lo que proporciona uniones fuertes y fiables en diversas condiciones ambientales. En la actualidad, la mayoría de los ensambladores utilizan soldaduras a base de estaño-cobre patentadas.

En base a la estimación de la Tasa de crecimiento anual compuesta (TCAC) propuesta por el estudio de Mordor Intelligence (2022)^[2], el cual especifica que será mayor a >2.5% hasta el 2027, se puede realizar la siguiente línea de tendencia del precio, ver figura 30.

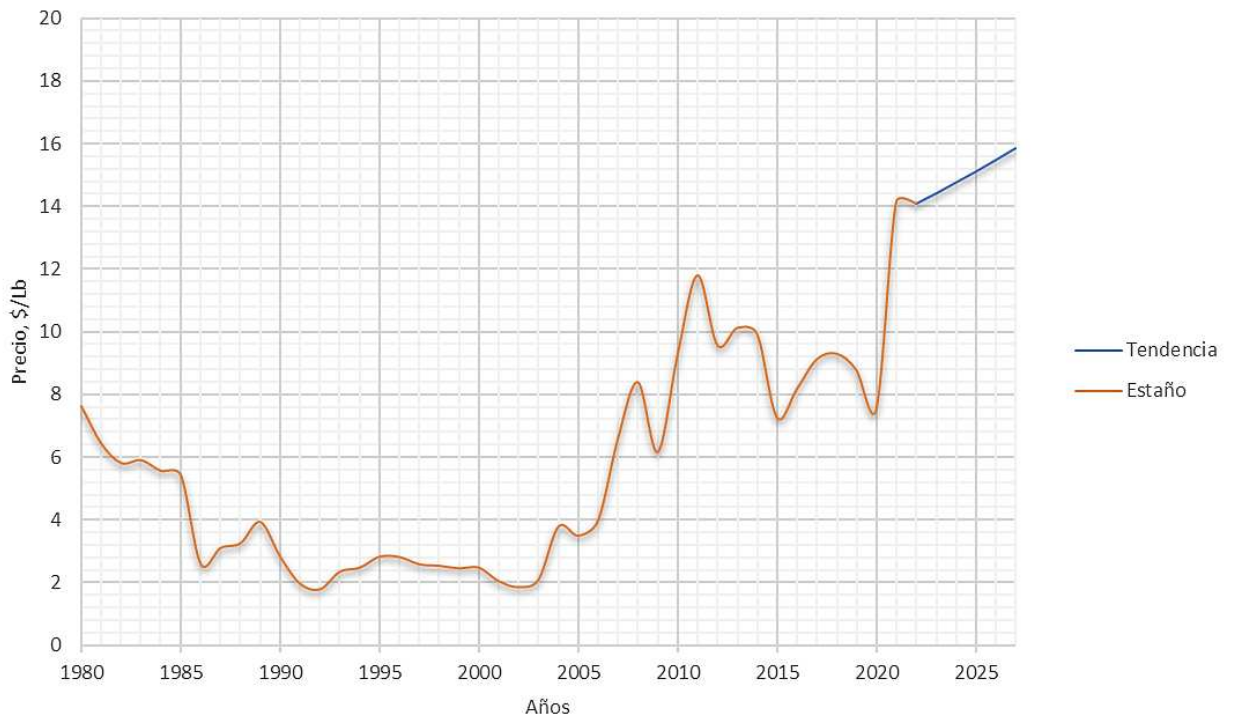


Figura 30 El precio del Estaño de 1980-2022 y su respectiva tendencia, elaboración propia

El incremento del precio del estaño bajo la tendencia, representa una oportunidad para empresas públicas y privadas. La tendencia alcista del precio ofrece potencial de crecimiento y desarrollo de nuevas plantas de procesamiento de minerales enfocadas al mineral de estaño.

CAPITULO IV - PARTE EXPERIMENTAL

4.1. Tipo de investigación

El presente proyecto se desarrolló en 2 etapas, las cuales son:

- Primera etapa de laboratorio, que tiene el propósito de determinar condiciones óptimas para la concentración del mineral del Estaño en mesas gravimétricas.
- Segunda etapa de trabajo en planta, donde se replicará los resultados de la primera etapa y se analizará la factibilidad técnica y económica de la operación.

4.2. Muestra del mineral utilizado

Para el presente estudio, se solicitó carga del mineral de Estaño, que sean representativas a la mina “Salvadora-racacha”. Posterior a la solicitud, se almaceno la carga en la playa de recepción de minerales.

Para tomar una muestra representativa del mineral de Estaño, la carga acopiada se procedió a expandir la carga para luego proceder la toma de muestras puntuales, como se muestra en la figura 31.

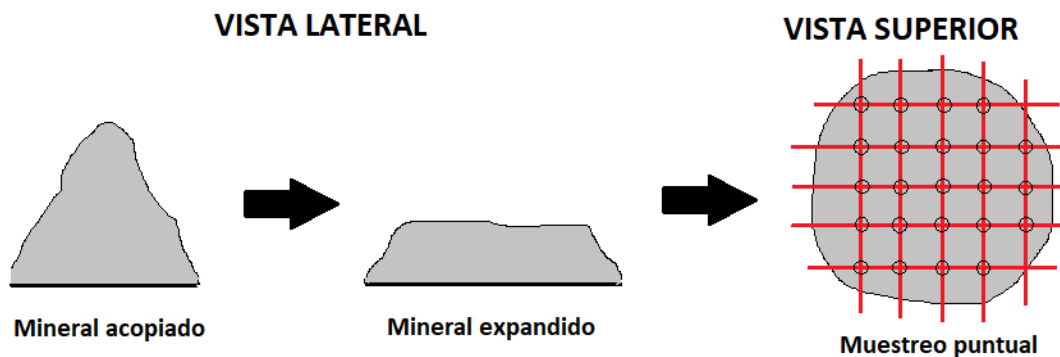


Figura 31 Esquema del muestreo en la playa de recepción

Como se ve en a la figura, en la etapa del muestreo puntual se procedió en primera instancia retirar 20 cm de la capa superior, para posterior tomar las muestras de cada punto del vértice cuadrado esquematizado, para poder obtener una muestra representativa de 1016 kg para el presente estudio.

4.2.1. Preparación de la muestra

Posterior al muestreo de la carga almacenada en la playa de recepción de Estaño, se procede a preparar la muestra, como se muestra en la figura 32.

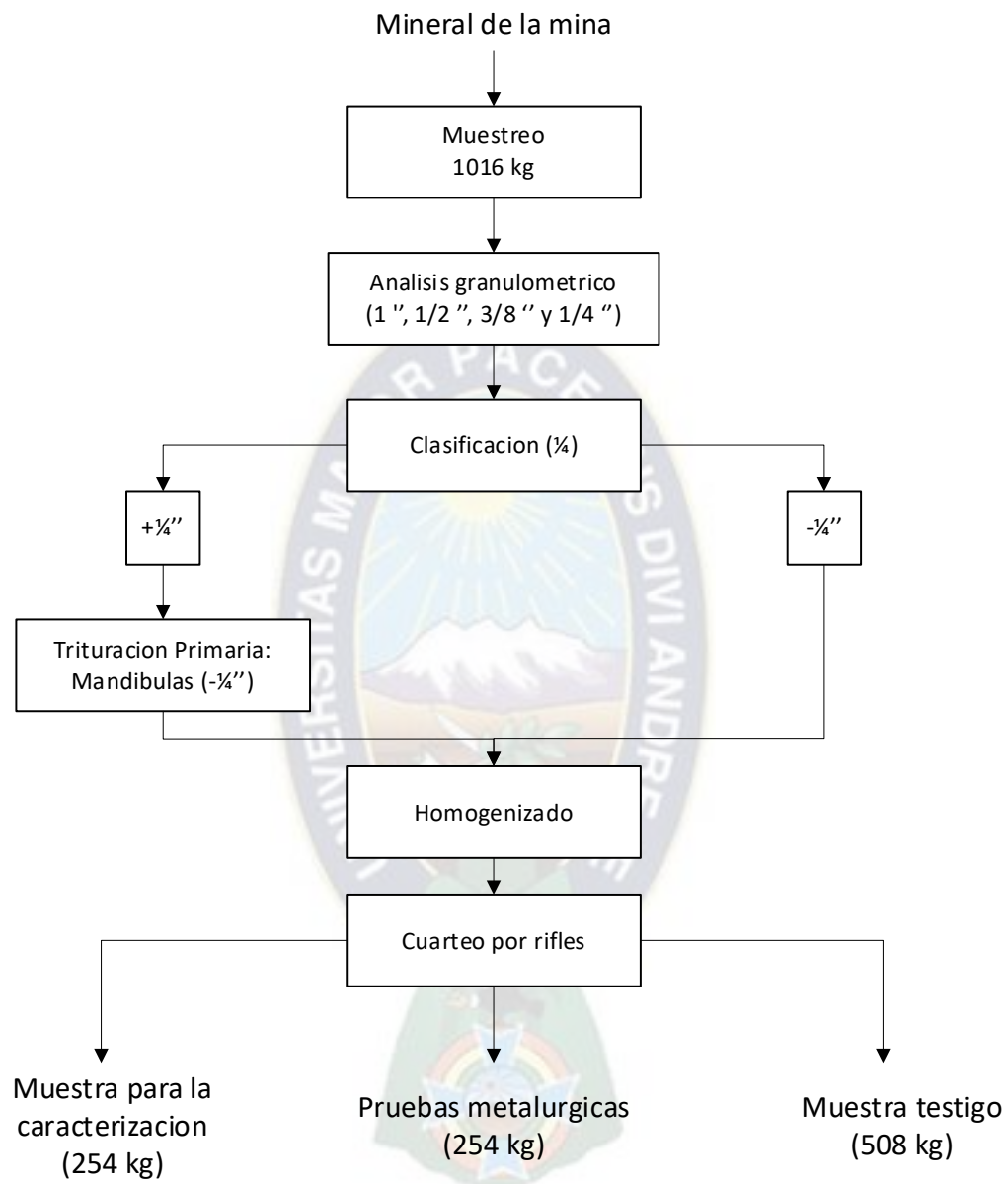


Figura 32 Flujo de la preparación de la muestra para el estudio, elaboración propia

4.3. Equipos y materiales

Para el estudio, se utilizó lo siguiente:

- Equipo
 - Mesa gravimétrica tipo Deister N° 5 (108"x 55")
 - Mesa gravimétrica tipo Deister N° 1 (50"x 25")
 - Agitador de pulpa
 - Molino de bolas de laboratorio
 - Balanza digital
 - Hornilla de secado de muestras

- Materiales
 - Bañadores
 - Pissetas
 - Matraz de 50 ml
 - Vasos precipitados
 - Bandejas plásticas
 - Bandejas metálicas
 - Envase para muestras

4.4. Variables de estudio

4.4.1. Variables independientes

- **Amplitud de golpe:** Parámetro que estará en los rangos de 10-25 mm.
- **Frecuencia de golpe:** Parámetro que estará en los rangos de 240-340 RPM.
- **Caudal del agua (lavado):** Parámetro que estará en los rangos 20-40 lt/min.

4.4.2. Variables dependientes

- **Porcentaje de recuperación:** Cantidad de estaño recuperado en la etapa de concentración en mesa del Sn, representada en porcentaje, bajo la influencia de los factores independientes.
- **Leyes de los productos:** La calidad de los productos obtenidos posterior a la concentración en mesa, representada en porcentaje todo esto bajo la influencia de los factores independientes.

4.4.3. Factores controlados que intervienen

- **Caudal del agua:** Estos parámetros estarán:
 - Alimentación de 38-83 lt/min.
- **Inclinación:** Este parámetro estará 3°.
- **Capacidad:** Este parámetro estará 10 TM/día
- **Granulometría:** Estos estarán de -48#+65#, -65#+150# y -150#

4.5. Prueba preliminar

En esta etapa del estudio, tiene como objetivo la realización de pruebas preliminares y dar validez a las variables de estudio.

Antes de realizar las pruebas para este estudio, se procederá en realizar pruebas en una mesa gravimétrica de laboratorio del tipo Deister, donde se variará la granulometría bajo parámetros fijos. Se realizará una molienda al 80% (-48#), para poder realizar las pruebas en mesas gravimétricas.

A continuación, se observará la distribución de las partículas después de una operación de molienda, para un tiempo de 24 minutos, con sus respectivas leyes.

Tabla 4 Distribución del estaño a -48# (aproximadamente el 80% PPA)

Producto	Peso	%peso	%PRA	%PPA	%Sn	Finos	% Distribución
+48#	610	23.02	23.02	76.98	0.3	6.91	5.62
-48#+65#	271	10.23	33.25	66.75	1.08	11.04	8.99
-65#+150#	482	18.19	51.43	48.57	1.23	22.37	18.21
-150#	1287	48.57	100.00	0.00	1.7	82.56	67.19
Total	2650	100.00			1.13	122.88	100.00

Como se puede observar en la tabla anterior, el producto molido hasta la malla 48 (aproximadamente 80% PPA), se procedió a la distribución en los rangos de -48#+65#, -65#+150# y -150#, donde a -150# presenta un peso de 48.57% con una ley de Sn de 1.7%, registrándose la mayor cantidad de finos a este tamaño, con un valor de 67.19% de distribución. En base a esta información se puede confirmar que el estaño está distribuido a -150#. Con respecto a los otros rangos de tamaños de -48#+150#, se observa que sumados apenas llegan aproximadamente a 30% distribución del Sn.

Conociendo la distribución de finos del mineral molido en laboratorio, se procede a realizar pruebas previas de laboratorio, bajo los siguientes parámetros:

- Frecuencia de golpe: 300 RPM
- Amplitud: 10 mm
- %solidos: 20
- Inclinación: 3°
- Caudal de agua (lavado): 513 lt/h

Cada una de las pruebas se realizó para 5 kg de mineral, bajo los rangos de tamaños de -48#+65#, -65#+150# y -150#.

RANGO DE TAMAÑO: -48#+65#**Tabla 5 Balance metalúrgico para la prueba preliminar de -48#+65#**

Producto	Peso (%)	% Sn	Finos	% Distribución
Concentrado	1.06	13.31	14.14	14.24
Mixtos	98.25	0.8	78.60	79.13
Colas	0.69	9.53	6.58	6.63
Cabeza calculada	100.00	0.99	99.32	100.00
Cabeza analizada		1.08		

En la anterior tabla se observa que la recuperación que alcanza es de apenas 14.24 %, con una ley de 13.31%, valores no muy favorables. Bajo los parámetros de operación realizadas en este experimento, se puede parcialmente concretar que no son ideales para el rango de -48#+65#.

RANGO DE TAMAÑO: -65#+150#**Tabla 6 Balance metalúrgico para la prueba preliminar de -65#+150#**

Producto	Peso (%)	% Sn	Finos	% Distribución
Concentrado	0.79	42.5	33.61	33.57
Mixtos	74.80	0.85	63.58	63.51
Colas	24.41	0.12	2.93	2.93
Cabeza calculada	100.00	1.00	100.12	100.00
Cabeza analizada		1.23		

La recuperación que alcanza es de apenas de 33.57 %, con una ley de 42.5%, valores que son moderadamente aceptables. Se puede presumir que los parámetros de operación mejorar, esto debido a que se trabajó a -65#+150#.

RANGO DE TAMAÑO: -150#**Tabla 7 Balance metalúrgico para la prueba preliminar de -150#**

Producto	Peso (%)	% Sn	Finos	% Distribución
Concentrado	0.91	55.69	50.41	27.60
Mixtos	27.96	2.72	76.04	41.63
Colas	71.14	0.79	56.20	30.77
Cabeza calculada	100.00	1.8	182.65	100.00
Cabeza analizada		1.7		

La recuperación que alcanza es de apenas de 27.60 %, con una ley de 55.69%, valores que son aceptables, preferentemente en la ley, ya que es comerciables (>50%), se espera que mejorara con las condiciones adecuadas, esto se definirá con el diseño experimental.

Con estas pruebas, se puede evidenciar que el caudal de agua (lavado), amplitud y la frecuencia de golpe tienen influencia con los resultados, es por eso que se tomarán como variables de estudio.

4.5.1. La estrategia de optimización para la concentración de Sn

Para este estudio se basará en 2 etapas: Diseño factorial 2^k y optimización final mediante el diseño hexagonal.

Para la etapa 1, se realizará una serie de pruebas, de las cuales 8 serán relacionados sus niveles y factores, como se muestra en la tabla 9:

Tabla 8 Organización de las pruebas para la etapa 1

Prueba	Escala codificada		
	A	B	C
1	-1	-1	-1
2	-1	-1	1
3	-1	1	-1
4	-1	1	1
5	1	-1	-1
6	1	-1	1
7	1	1	-1
8	1	1	1

Una vez realizado las pruebas bajo el orden especificado, se procede a relacionar con sus variables respuestas, las cuales son: ley y recuperación.

Luego se analizará cada una de las variables, el objetivo de determinar cuál de las variables es el más influyente sobre operación en mesas gravimétricas, para esto se utilizará un software, el cual es Minitab 21.

Para la etapa 2, se procederá a realizar un conjunto de pruebas bajo los vértices de un hexágono y 2 pruebas con valores centrales, como se observa en la siguiente figura 34 y tabla 9.

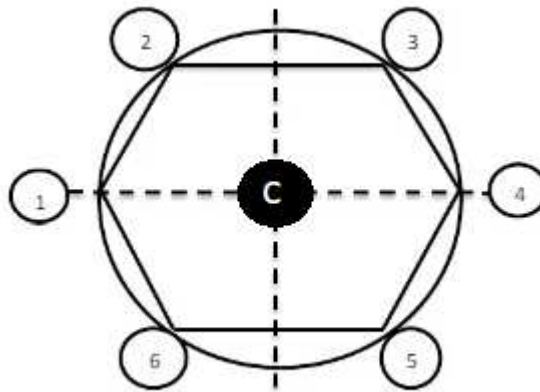


Figura 33 Esquema de un diseño experimental hexagonal, reproducida del internet

Como se observa en la figura anterior, el resultado más óptimo estará dentro de los puntos de los vértices, el cual será determinado bajo modelos matemáticos y posterior encontrar el más representativo.

En la tabla 9, se observa los vértices bajo los parámetros a considerar, una vez determinado las variables más influyentes.

Tabla 9 Organización de pruebas en la etapa 2, optimización en diseño hexagonal

Prueba	Codificado	
	A	B
1	1	0
2	0.5	0.86
3	-0.5	0.86
4	-1	0
5	-0.5	-0.86
6	0.5	-0.86
7	0	0
8	0	0
9	0	0

Posterior a las pruebas, se procede a relacionar las variables con el objetivo de encontrar una relación matemática con respecto a la recuperación, bajo una regresión multivariable, donde la variable dependiente o respuesta será la recuperación y las variables independientes (los más influyentes). Posterior, se realizará analizará la superficie de respuesta, para obtener el valor máximo o óptimo para la operación.

CAPITULO V - RESULTADOS DE LA CARACTERIZACION

1.1. Análisis del mineral

1.1.1. Diagnóstico de la caracterización del mineral

En base a la caracterización, se obtuvo el diagnóstico:

1.1.1.1. Caracterización mineralógica

1.1.1.1.1. Fluorescencia de rayos X

La Fluorescencia de rayos X se utiliza para identificar y cuantificar los elementos químicos presentes en una muestra. Cuando una muestra se bombardea con rayos X de alta energía, los átomos de la muestra emiten rayos X fluorescentes característicos que son específicos de los elementos presentes. Esto permite la identificación de los elementos y la cuantificación de su concentración en la muestra.

Los resultados obtenidos en resumen se muestran en la tabla 10. Los espectros obtenidos de la caracterización se pueden ver en la parte de Anexos IV.

Tabla 10 Elementos determinados por fluorescencia de rayos X, elaborado CIMM

Nº	MUESTRA	COMPONENTES		
		MAYORITARIOS (> 1%)	MINORITARIOS (0.01% a 1%)	TRAZAS (< 0.01%)
1	LOTE	Fe Sn Si Al	S As K Ca Zn Pb Zr Cr Nd Cu V Sb Te In	Y Cs Ag

Como se puede observar en la tabla, existe una infinidad de elementos químicos presentes en el mineral de la mina "Salvadora-Racacha". Es importante resaltar aquí que los elementos mayoritarios son Fe, Si, Al y Sn (elemento de interés).

1.1.1.1.2. Microscopia electrónica de barrido

La técnica de microscopia electrónica de barrido (SEM) se basa en la sustitución del haz de luz por un haz de electrones, lo que permite una resolución superior a la de cualquier instrumento óptico. En este enfoque, se hace incidir un barrido de haz de electrones sobre la muestra.

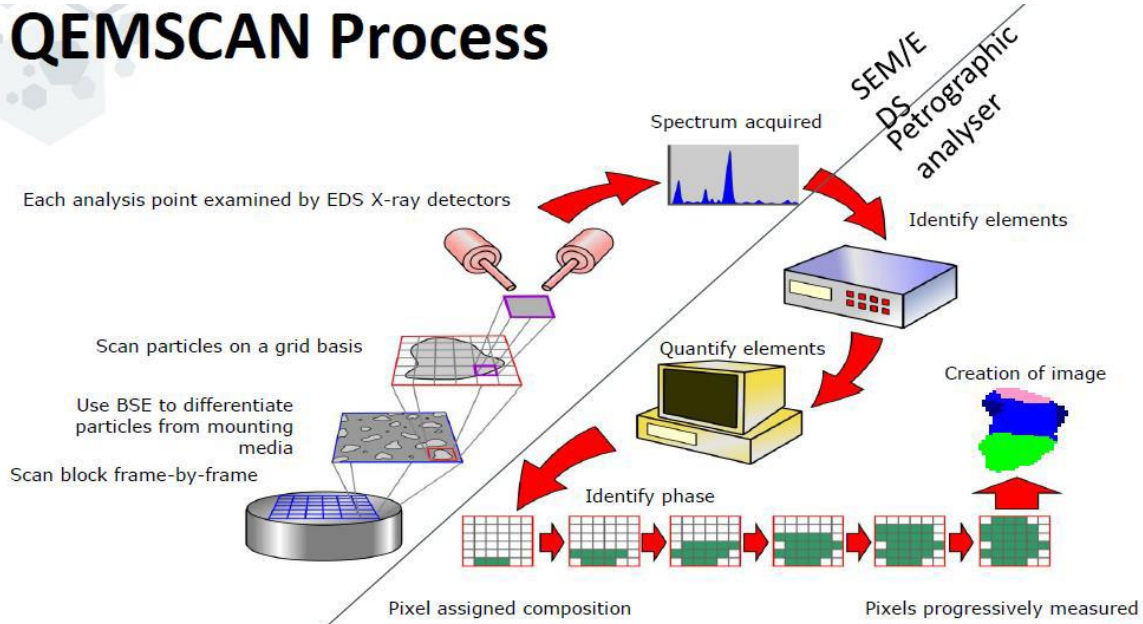


Figura 34 Diagrama esquemático del QEMSCAN, elaborada por CIMM

El sistema automatizado Qemscan utiliza un SEM y cuatro espectrómetros de rayos X (EDS) para realizar análisis químicos y mapas minerales de alta resolución. El haz de electrones del SEM genera backscattered electrons (BSE), que se miden para localizar partículas individuales en la muestra, como se puede observar en la figura 35.

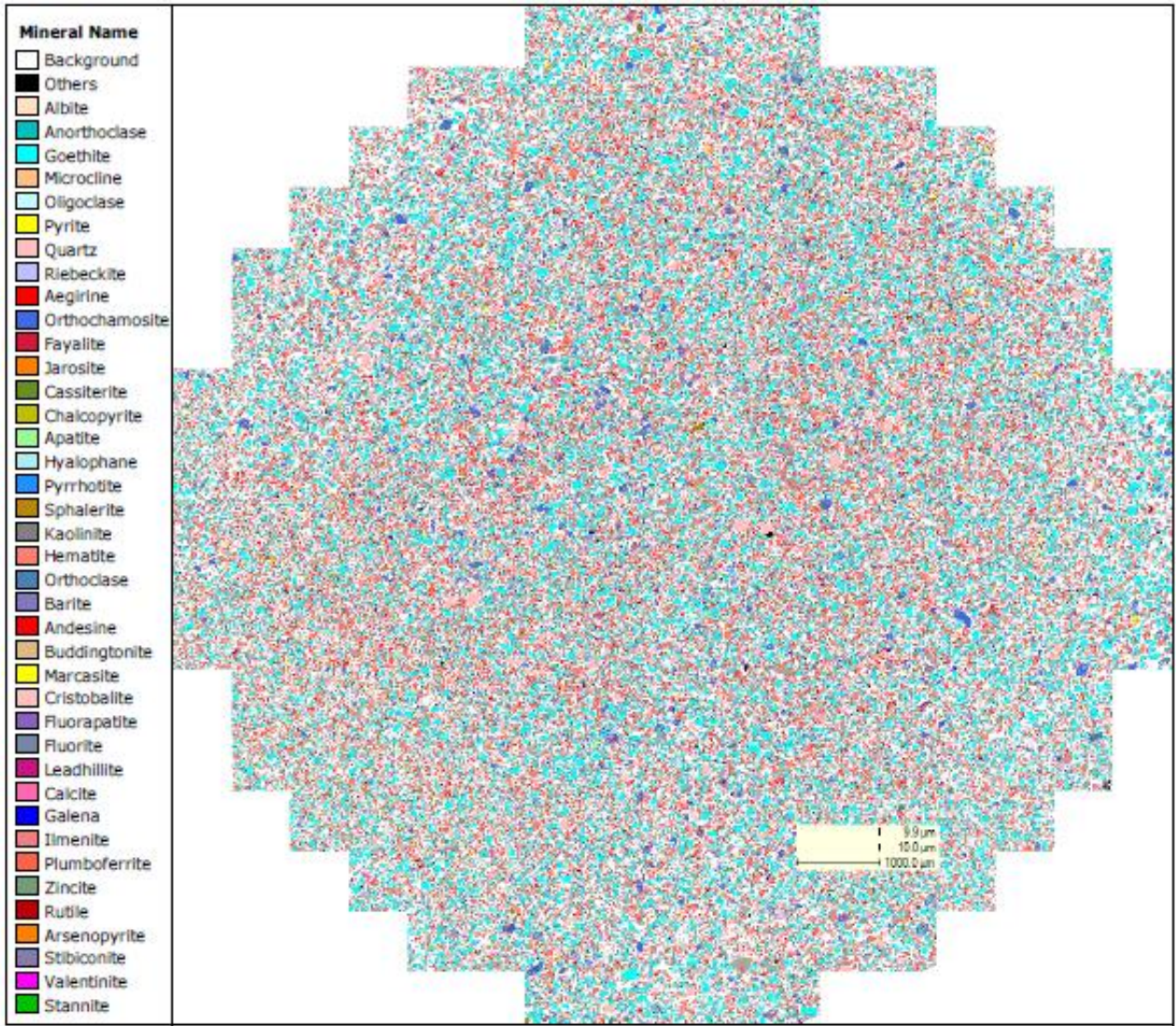


Figura 35 Espectro químico registro por el método Field Scan, elaborado por CIMM

Como se puede observar en la figura, se tiene un mapa digital de alta calidad, representando todos los compuestos químicos presentes en la muestra, representados por colores, por el modo de exploración Field Scan (FS).

A partir de los análisis realizados, se obtiene la siguiente tabla de resultados, como se puede observar todos los minerales presentes.

Tabla 11 Cuantificación de todos los minerales presentes, elaborada por CIMM

NOMBRE	FORMULA	AREA %	MASA %
Background		30.950	0
Others		0.859	0
Pyrite	(FeS ₂)	35.729	34.764
Hematite	(Fe ₂ O ₃)	24.363	33.066
Aegirine	(NaFe ³⁺ [Si ₂ O ₆])	13.683	12.334
Quartz	(SiO ₂)	15.223	10.233
Orthochamosite	(Fe ²⁺ ,Mg,Fe ³⁺) ₅ Al(AlSi ₃ O ₁₀)(OH,O) ₈	4.320	3.457
Cristobalite	(SiO ₂)	1.704	3.010
Cassiterite	(SnO ₂)	2.030	1.180
Orthoclase	(KAlSi ₃ O ₈)	0.608	0.399
Goethite	(α-FeO(OH))	0.297	0.382
Oligoclase	((Na,Ca)(Si,Al) ₄ O ₈)	0.336	0.228
Galena	(PbS)	0.100	0.189
Rutile	(TiO ₂)	0.170	0.184
Ilmenite	(Fe ²⁺ Ti ⁴⁺ O ₃)	0.093	0.113
Riebeckite	[Na ₂][Fe ²⁺ ₃ Fe ³⁺ ₂]Si ₈ O ₂₂ (OH) ₂	0.099	0.086
Calcite	(CaCO ₃)	0.088	0.061
Fluorite	(CaF ₂)	0.061	0.049
Apatite	(Ca ₅ (PO ₄) ₃ (F, Cl, OH))	0.048	0.040
Marcasite	(FeS ₂)	0.029	0.036
Plumboferrite	(Pb ₂ Fe)	0.023	0.036
Pyrrhotite	(Fe _(1-x) S (x = 0 - 0,2))	0.024	0.029
Sphalerite	(SZn)	0.026	0.027
Arsenopyrite	(FeAsS)	0.014	0.022
Fayalite	((Fe ²⁺) ₂ SiO ₄)	0.015	0.017
Zincite	(Zn O)	0.009	0.013
Barite	(BaSO ₄)	0.009	0.010
Anorthoclase	(Na,K)AlSi ₃ O ₈)	0.014	0.009
Jarosite	(KFe ³⁺ ₃ (SO ₄) ₂ (OH) ₆)	0.005	0.004
Valentinite	(Sb ₂ O ₃)	0.003	0.004
Andesine	(Na,Ca)Al ₁₋₂ Si ₃₋₂ O ₈	0.004	0.003
Stannite	(Cu ₂ FeSnS ₄)	0.003	0.003
Microcline	(KAlSi ₃ O ₈)	0.002	0.002
Fluorapatite	(Ca ₅ (PO ₄) ₃ F)	0.002	0.002
Stibiconite	(Sb ³⁺ Sb ⁵⁺ ₂ O ₆ (OH))	0.001	0.002
Albite	(NaAlSi ₃ O ₈)	0.001	0.001
Chalcopyrite	(CuFeS ₂)	0.001	0.001
Hyalophane	(K,Ba)[Al(Si,Al)Si ₂ O ₈]	0.001	0.001
Kaolinite	(Al ₂ (Si ₂ O ₅)(OH))	0.001	0.001
Buddingtonite	(NH ₄)(Si ₃ Al)O ₈	0.001	0.001
Leadhillite	(Pb ₄ (SO ₄)(CO ₃) ₂ (OH) ₂)	0.001	0.001
		100.000	100.000

Como se puede observar en la tabla, la pirita (FeS₂) esta como primer compuesto mayoritario, luego le acompaña la hematita (Fe₂O₃), egrina o acmita (NaFe³⁺[Si₂O₆]), cuarzo (SiO₂), chamosita (Fe²⁺, Mg, Fe³⁺)₅Al[AlSi₃O₁₀][OH,O]₈), casiterita (SnO₂) y cristobalita (SiO₂). Como este estudio esta principalmente enfocado para el elemento del estaño, se identificó que está presente en 2 tipos de mineral, la casiterita (SnO₂) y estannita (Cu₂FeSnS₄) con 1.180 % y 0.003% de masa, respectivamente.

1.1.1.1.3. Gráfico de cuantificación modal

En el gráfico de cuantificación modal se puede ver que los minerales mayoritarios que corresponden a: Pirita (FeS_2), hematita (Fe_2O_3), egrina o acmita ($\text{NaFe}^{3+}[\text{Si}_2\text{O}_6]$), cuarzo (SiO_2), chamosita ($\text{Fe}^{2+}, \text{Mg}, \text{Fe}^{3+})_5\text{Al}(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH}, \text{O})_8$), casiterita (SnO_2) y cristobalita (SiO_2).

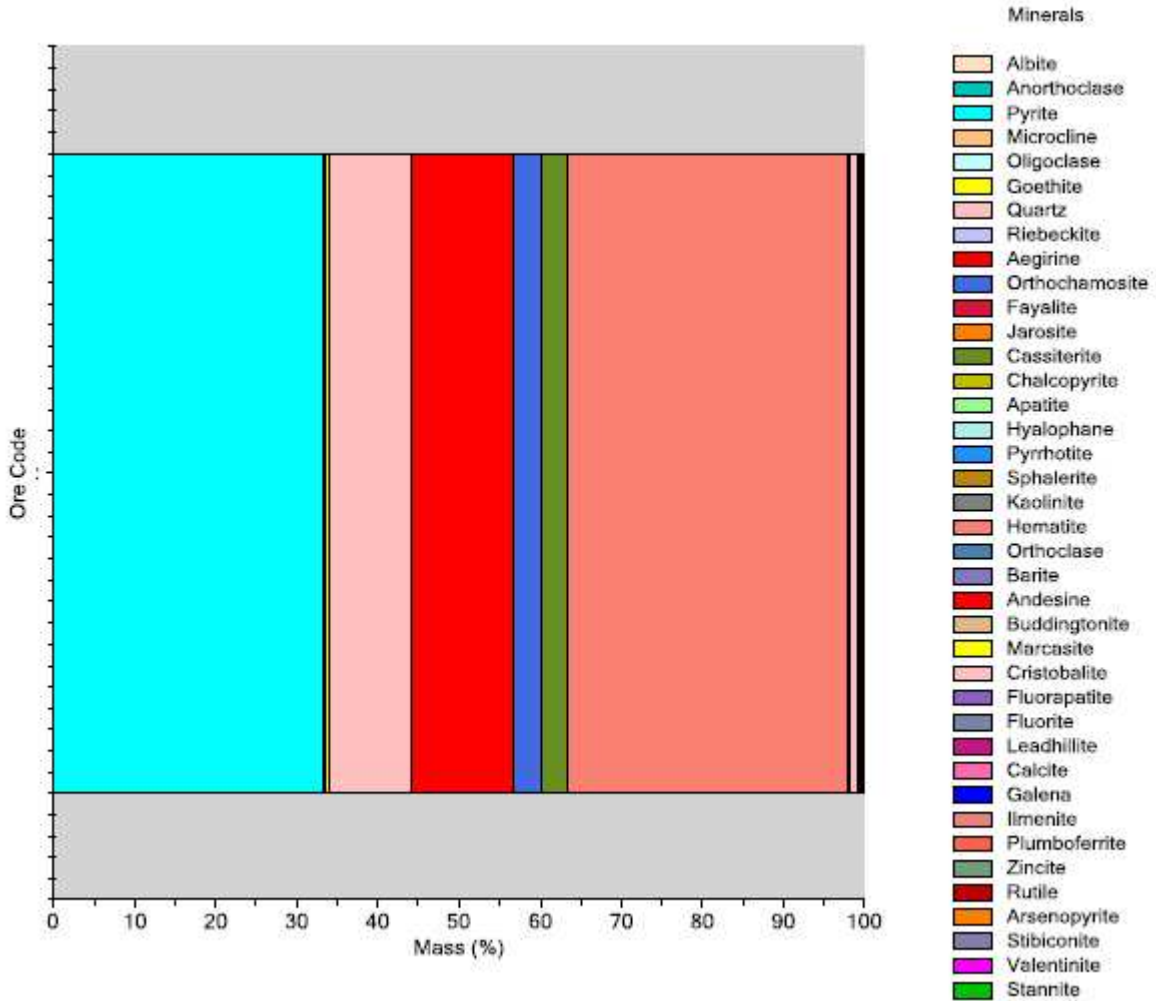
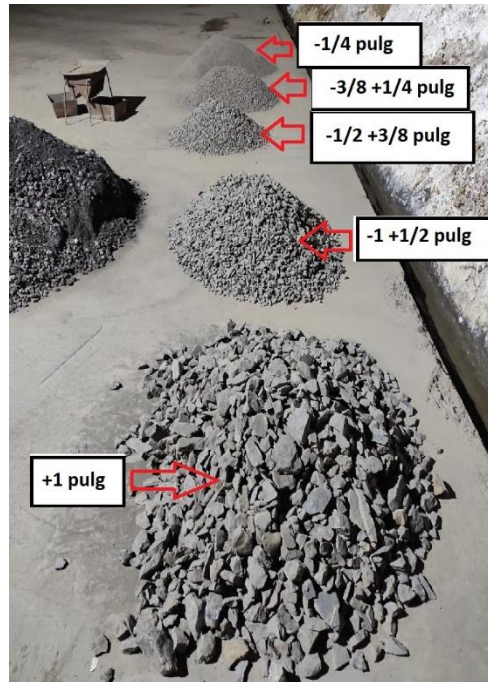


Figura 36 Descripción modal de todos los minerales presentes en la muestra de la Mina “Salvadora-racacha”

1.1.1.2. Caracterización física

1.1.1.2.1. Análisis granulométrico

Para esta parte, es importante identificar ellos tamaños presentes en el mineral tomados como muestra representativa. Para eso, se utilizará la función de distribución de Gates-Gaudin-Shumann, para lo cual se procedió a separar por fracciones de tamaños; +1 pulg, -1+1/2 pulg, -1/2+3/8 pulg, -3/8+1/4 pulg y -1/4 pulg.



Fotografía 5 Distribución de rangos de tamaños del mineral de la Mina "Salvadora-racacha"

Una vez separada las fracciones se procede a realizar un análisis granulométrico, como se muestra en la tabla 13.

Tabla 12 Distribución granulométrica del mineral proveniente de la mina "Salvadora-racacha"

Rango	Tamiz	Abertura (um)	Peso (Kg)	% Peso	%PRA	%PPA
+1"	1''	25400	269.0	26.46	26.46	73.54
-1" + 1/2"	1/2 ''	12700	194.5	19.13	45.60	54.40
-1/2" +3/8"	3/8 ''	9525	97.5	9.59	55.19	44.81
-3/8" +1/4"	1/4 ''	6350	155.0	15.25	70.44	29.56
-1/4" + 20#	10# (*)	2000(*)	144.8	14.24	84.68	15.32
-20# + 30#	30# (*)	600(*)	62.3	6.13	90.81	9.19
-30# + 50#	50# (*)	300(*)	39.2	3.86	94.67	5.33
-50# + 100#	100# (*)	150(*)	18.6	1.83	96.50	3.50
-100#	-100# (*)	-150(*)	35.6	3.50	100.00	
		Total	1016.5	100.00		

Nota: La apertura acompañada “(*)”, con hace referencia a que, para el rango de tamaño, donde se realizó un análisis granulométrico en húmedo para una muestra de 5 kg representativa, para facilitar calculo, ya que realizar para 300.5 kg no era muy aconsejable.

Graficando el tamaño vs %PRA, se puede observar en la figura 38.

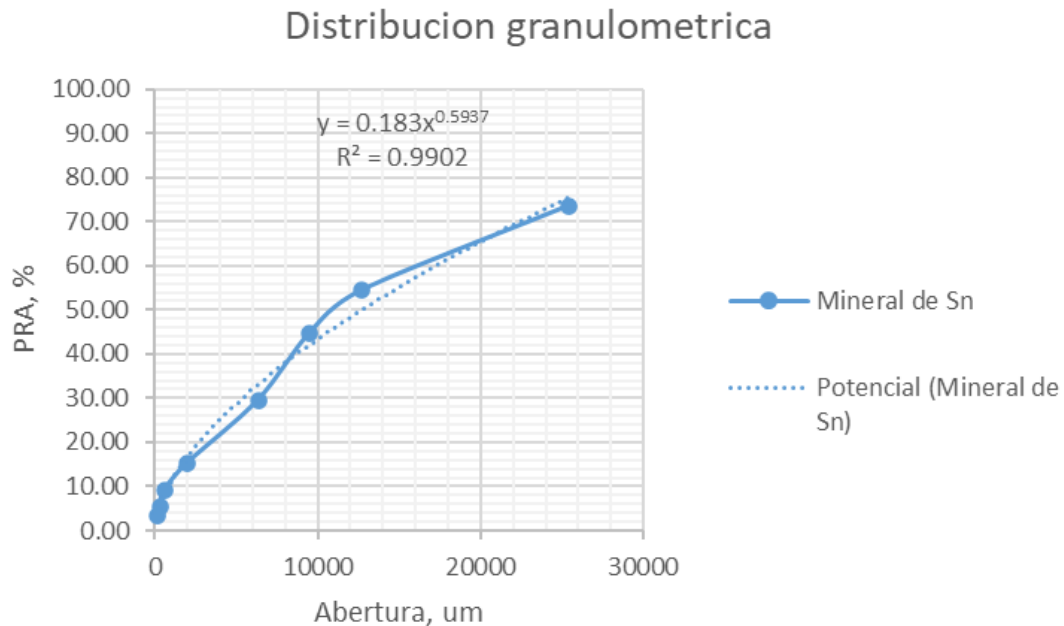


Figura 37 Análisis granulométrico de la muestra proveniente de la Mina

Si a partir de los datos, se puede realizar una regresión potencial que correlacione matemáticamente, con una constante de correlación de 99.15%, el cual lo hace muy considerable, la expresión matemática es:

$$F(x) = 0.1824 \cdot x^{0.5945}$$

Ahora se procede calcular la apertura del 80 % PRA, el cual es:

$$x_{80\%} = 28299.23 \text{ um} = 28.30 \text{ mm} \rightarrow x_{80\%} = 1 \text{ pulg}$$

A partir de este dato, se llega a la conclusión que la carga proveniente de la Mina “Salvadora-racacha”, a un 80% PRA tiende a 1” de tamaño.

1.1.1.2.2. Peso específico del mineral

Para obtener el Peso Específico del mineral, se procederá a utilizar un matraz aforado y además se da paso a la utilización de la siguiente expresión matemática:

$$\rho_{\text{mineral}} = \frac{m_{\text{mineral}}}{v_{\text{matraz}} - \frac{m_{\text{matraz+mineral+agua}} - m_{\text{matraz}} - m_{\text{mineral}}}{\rho_{\text{agua}}}} \dots\dots(12)$$

Donde:

ρ_{mineral} = Peso específico del mineral

m_{mineral} = Peso del mineral (g)

v_{matraz} = Volumen del matraz (ml)

$m_{\text{matraz+mineral+agua}}$ = Peso del matraz, mineral y agua todos juntos (g)

m_{matraz} = Peso del matraz (g)

Ahora se procederá la operación para la determinación del Peso Específico, para lo cual se procederá a realizar 3 pruebas para poder encontrar el valor verdadero con una confianza del 95% (t student), como se muestra en la tabla 13.



Fotografía 6 Matraz aforado para la determinación de Peso Específico

Para determinar el peso específico, se procederá utilizar métodos estadísticos para el encontrar con su respectiva incertidumbre al 95% de significancia.

Tabla 13 Determinación del Peso Específico del mineral

Prueba	Masa del mineral (g)	Masa del matraz (g)	Masa total (g)	Volumen (cm ³)	Densidad (g/cm ³)	Promedio (g/cm ³)	Desviación estándar (g/cm ³)	t student (95%)	Error Absoluto (g/cm ³)	Error relativo (%)
1	20.09	27.80	90.57	50	2.74	2.74	0.01	4.30	0.01	0.51
2	20.03	27.80	90.49	50	2.73					
3	20.03	27.73	90.44	50	2.74					

Una vez realizada las 3 pruebas, se obtuvo los el Peso Específico y su incertidumbre, el cual es:

$$P.E. = 2.74 \pm 0.01$$

A partir de este dato, se llega a la conclusión que el mineral tiene un Peso Específico de 2.74.

1.1.1.2.3. Grado de liberación

Para este parte, se procedió mandar a un laboratorio metalúrgico una muestra para que pueda determinar el grado de liberación. Es importante resaltar que este estudio tiene como objetivo, determinar de manera cuantitativa las partículas minerales "libres" posterior a una operación de conminación de molienda; su determinación solo es posible mediante la utilización de estudios microscópicos, en este caso se realizara con el microscopio electrónico de barrido. En la figura se puede observar la clasificación de las partículas de todos los compuestos presentes en el mineral de la Mina "Salvadora-Racacha".



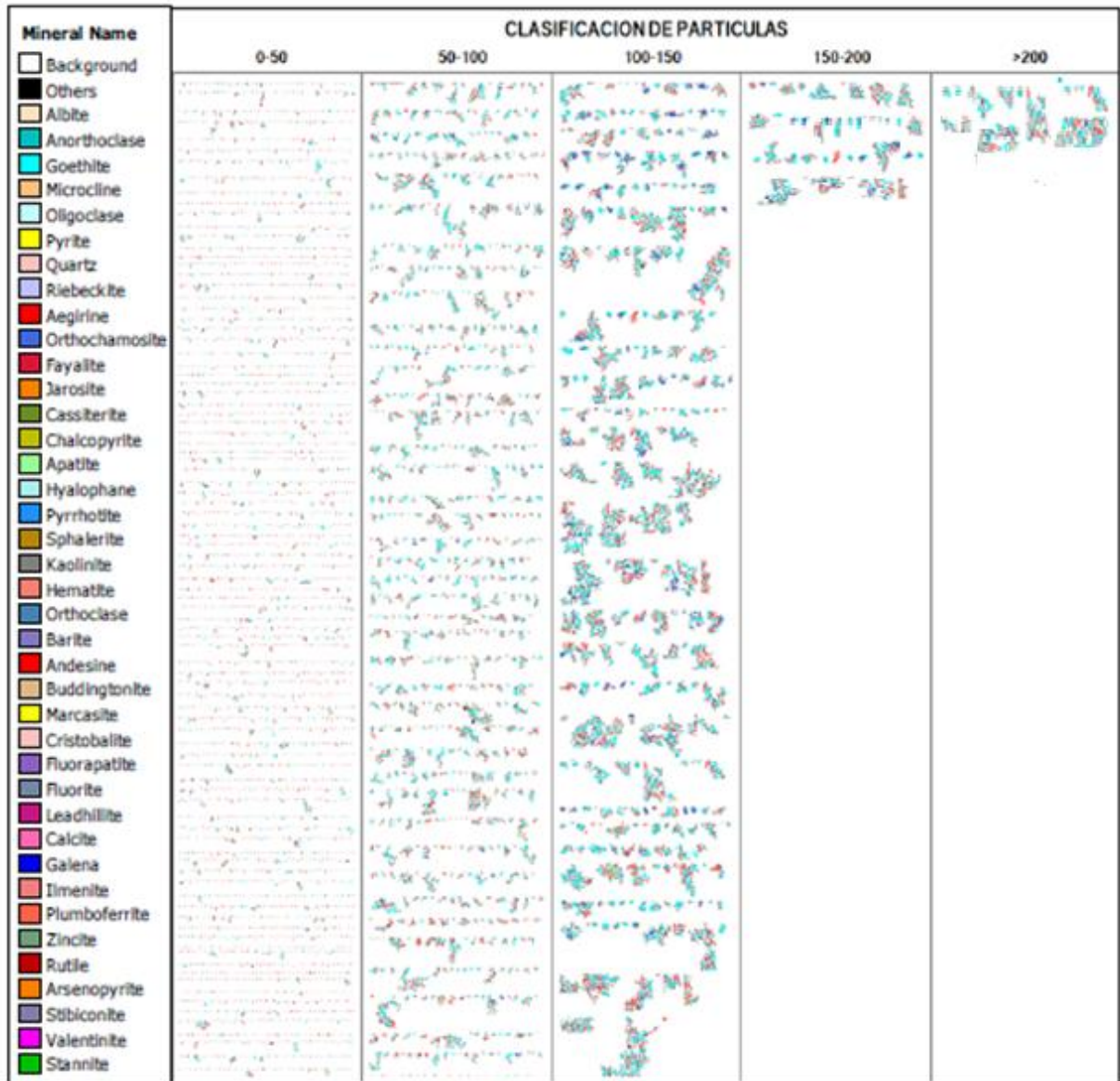


Figura 38 Clasificación de los compuestos según su tamaño, elaborada de CIMM

El microanálisis químico de la muestra se realizó utilizando la técnica EDX, observando a bajos aumentos mediante electrones secundarios y retro dispersados. Luego, se repitió el proceso seleccionando una zona de estudio a mayores aumentos. Los electrones retro dispersados proporcionan información sobre la naturaleza química de los constituyentes de las partículas,

Por otro lado, con el microscopio se puede ver las asociaciones, como se observa en la figura 39.

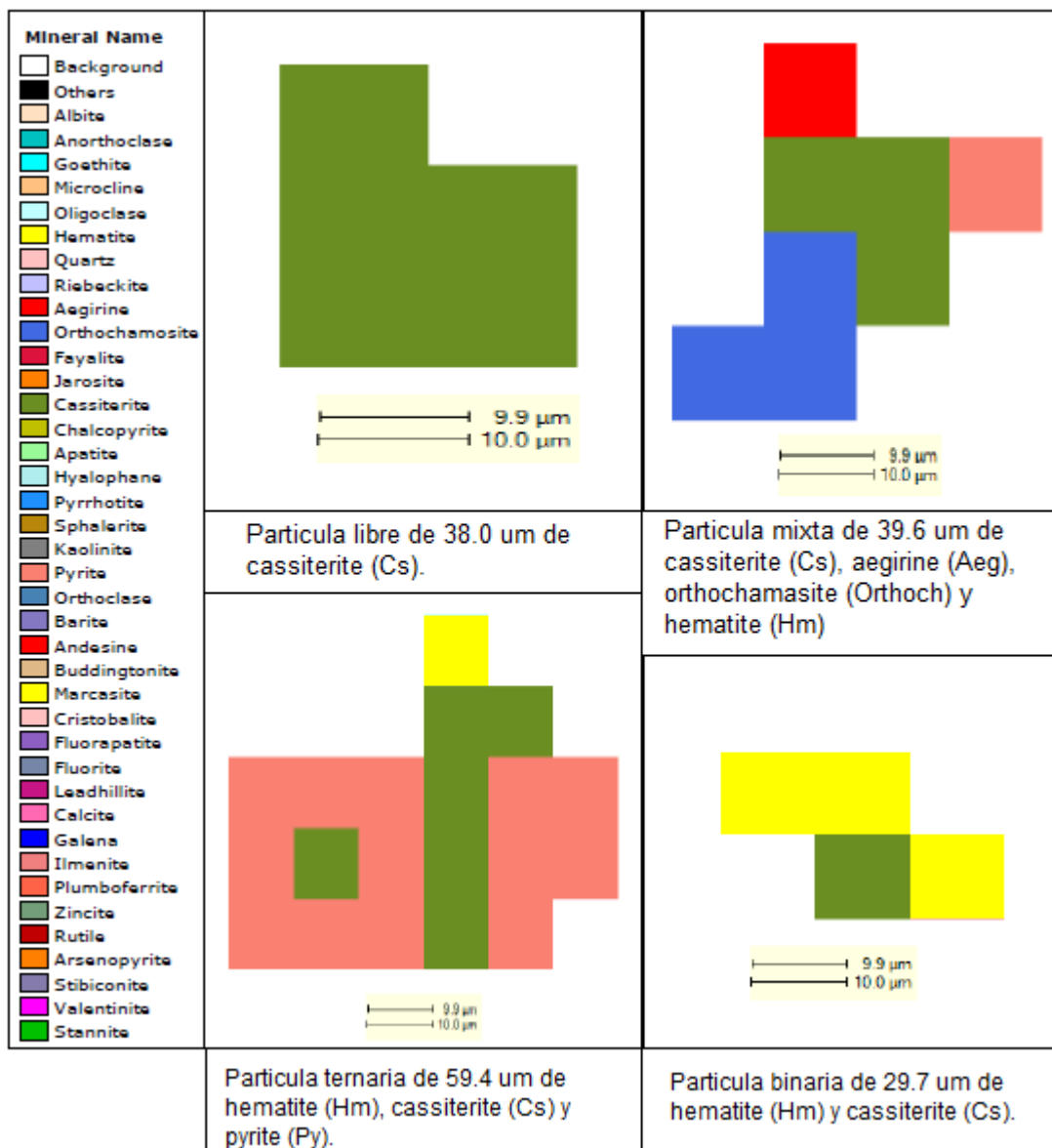


Figura 39 Microanálisis químico de la muestra de la Mina “Salvadora-racacha”

Como se puede apreciar en las figuras, el estaño está presente en partículas mixtas, ternarias y binarias. Esto se debe a la presencia de minerales como la aegirina, la chamosita, la hematita y la pirita, los cuales contienen estaño (casiterita) en su interior.

a) Grado de liberación del estaño

Con respecto a la clasificación de las partículas de estaño presente, se puede observar que el estaño está en mayor proporción como casiterita (SnO_2) y otra en estannita ($\text{Cu}_2\text{FeSnS}_4$), bajo esa perspectiva es importante enfatizar la cantidad presente en cada rango de tamaño, como se observa en la figura 40 y 41.

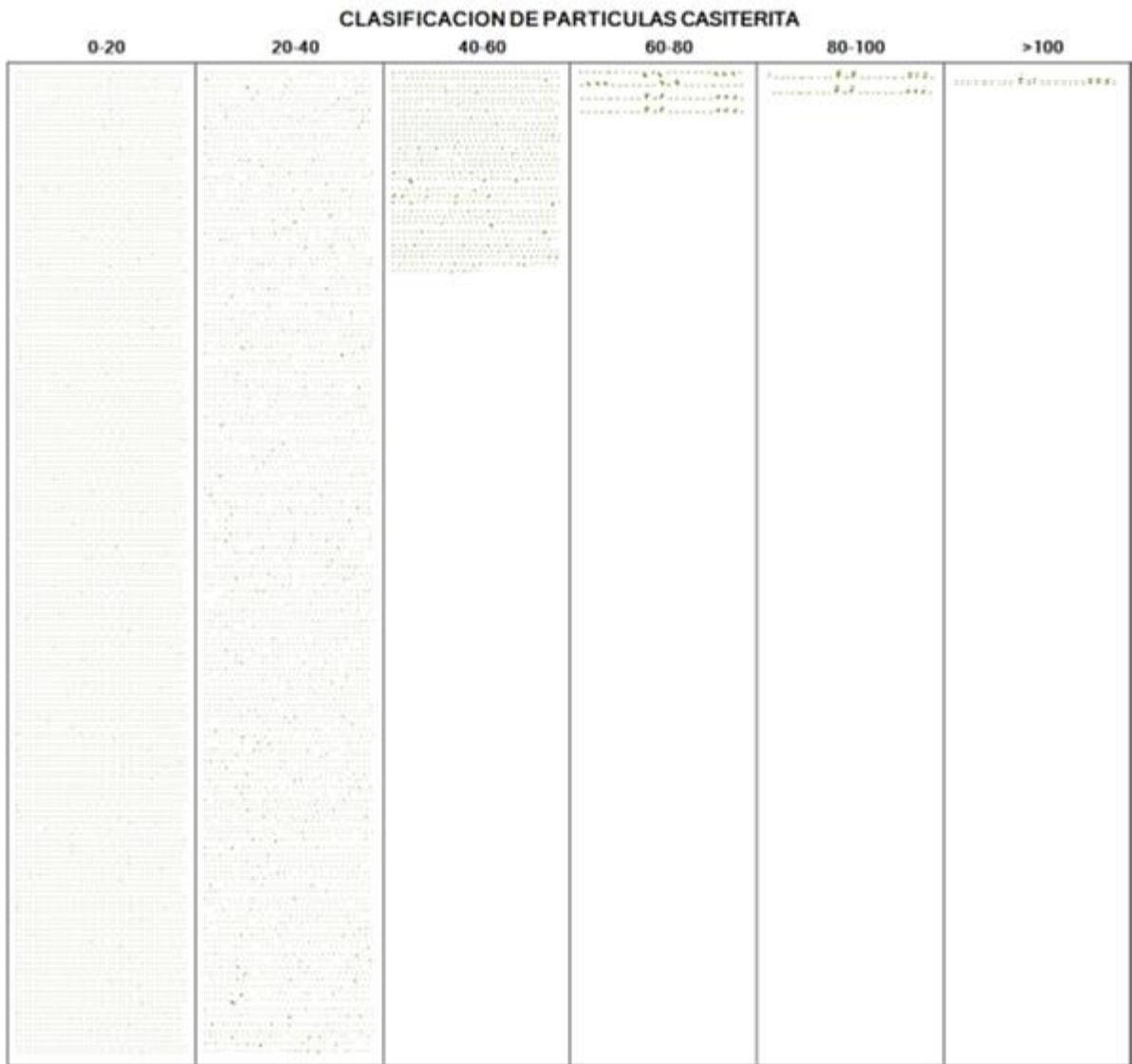


Figura 40 Clasificación de la partícula de la casiterita, elaborada por CIMM

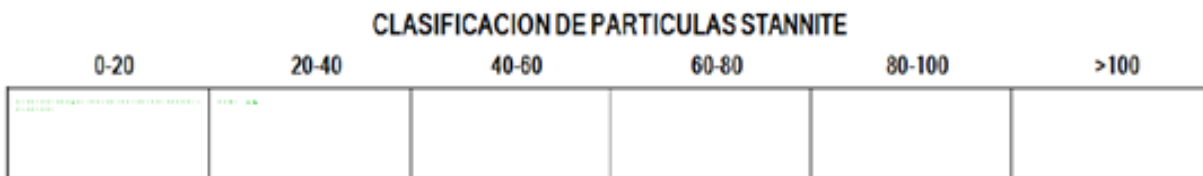
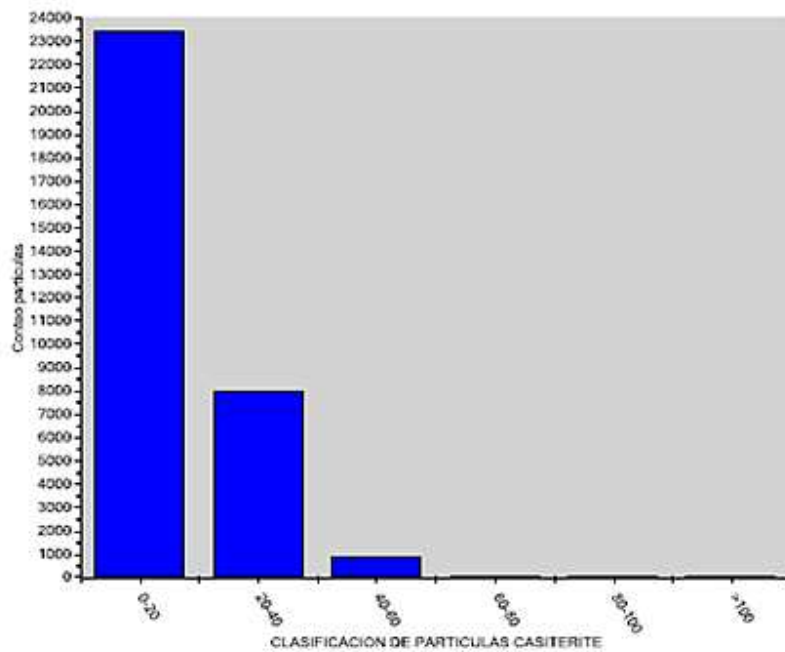


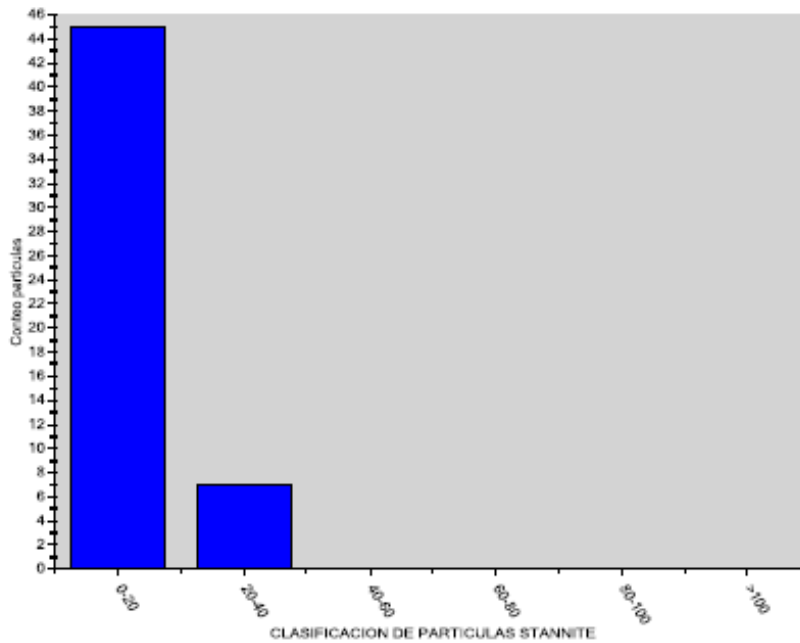
Figura 41 Clasificación de la partícula de la estannita, elaborada por CIMM

En ambas figuras se puede observar cómo los minerales provenientes de estaño están presentes en los rangos, por parte de la casiterita de 0-100 um y la estannita de 0-40 um.



BARRAS	RANGO DE TAMAÑO (µm)	Nº DE PARTICULAS
1	0-20	23410
2	20-40	7929
3	40-60	863
4	60-80	26
5	80-100	18
6	>100	21
		32267

Figura 42 Clasificación de la partícula de casiterita, elaborada por CIMM



BARRAS	RANGO DE TAMAÑO (µm)	Nº DE PARTICULAS
1	0-20	45
2	20-40	7
3	40-60	0
4	60-80	0
5	80-100	0
6	>100	0
		52

Figura 43 Clasificación de la partícula estannita, reproducida de CIMM

Como se puede observar en las figuras anteriores, el estaño está presente como casiterita y estannita, donde mayor parte se encuentra como casiterita.

b) Grado de liberación de la casiterita, asociada pirita

Después de determinar la cantidad de partículas de estaño en cada rango, llevamos a cabo la cuantificación según las asociaciones con la pirita, como se ve en la figura 44.

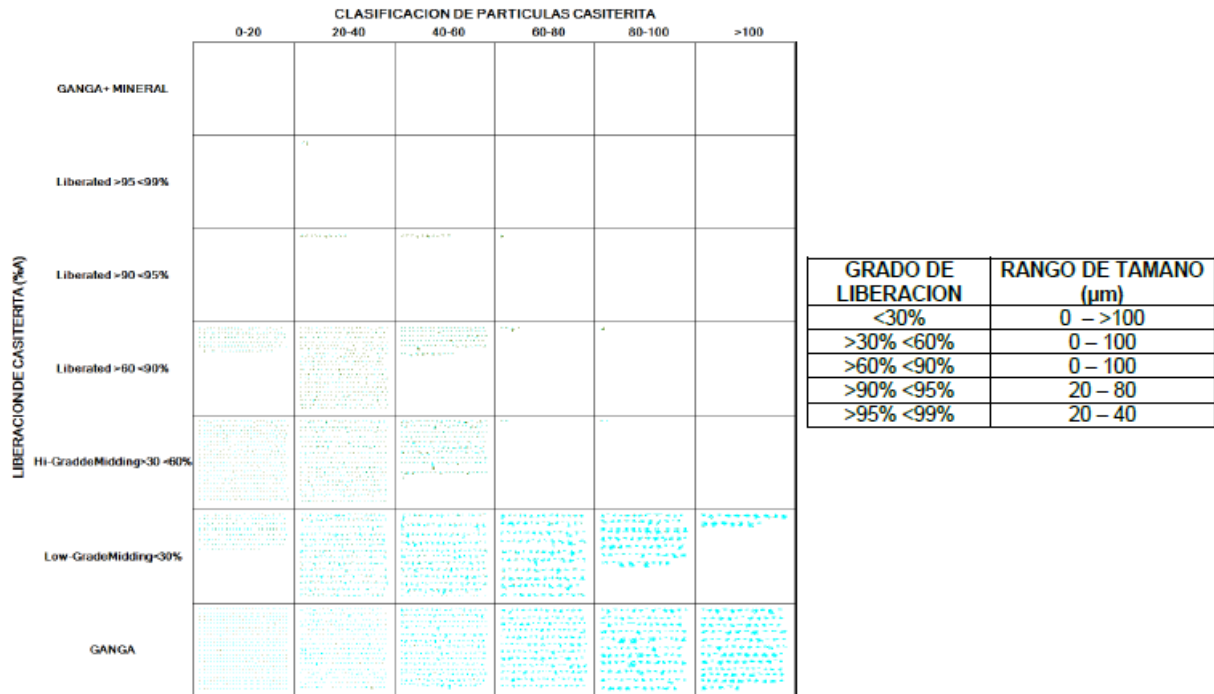


Figura 44 Grado de liberación de la casiterita (SnO₂) asociada a la pirita (FeS₂), elaborado por CIMM

Como se puede observar en la figura, el grado de liberación de la casiterita con respecto a la pirita está presente >95<99 % en 20-40 µm, lo que conlleva el rango de tamaño donde la partícula está libre. Por lo tanto, casiterita necesita reducir a este rango de tamaño para no estar asociada con la pirita.

c) Grado de liberación de la casiterita, asociada hematita

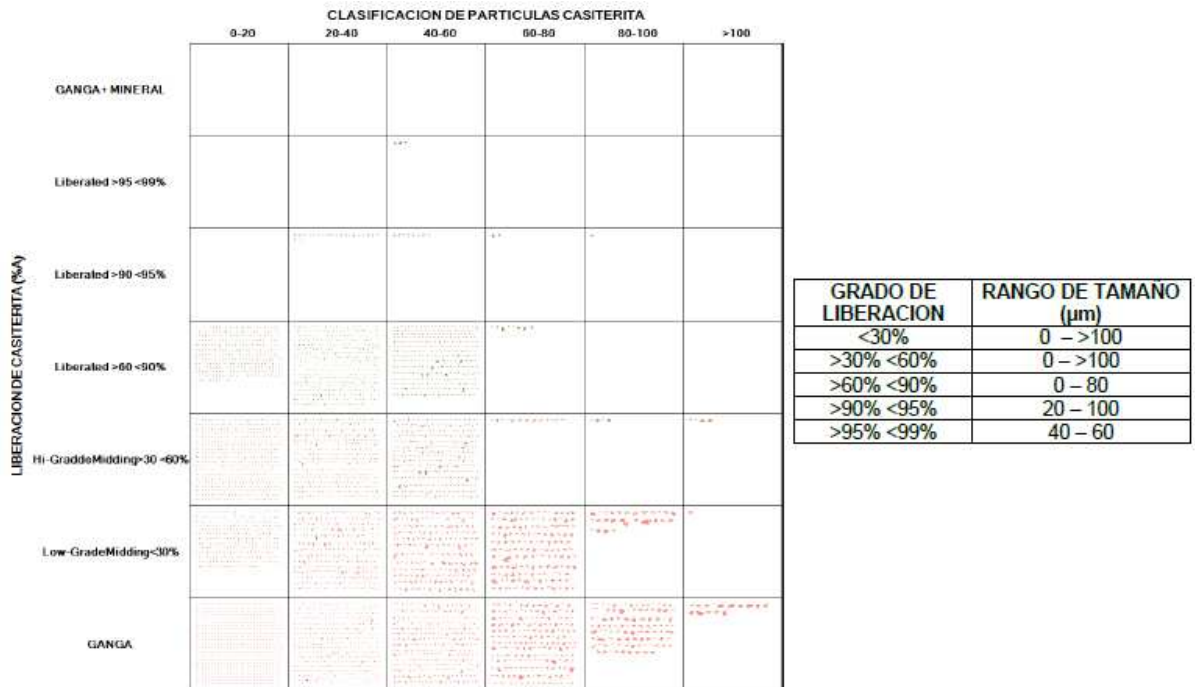


Figura 45 Grado de liberación de la casiterita (SnO_2) asociada a la pirita (Fe_2O_3), elaborado por CIMM

Como se puede observar en la figura, el grado de liberación de la casiterita con respecto a la hematita está presente >95<99 % en 40-60 µm, lo que conlleva el rango de tamaño donde la partícula está libre. Por lo tanto, casiterita necesita reducir a este rango de tamaño para no estar asociado con la hematita.

d) Grado de liberación de la casiterita, asociada al cuarzo

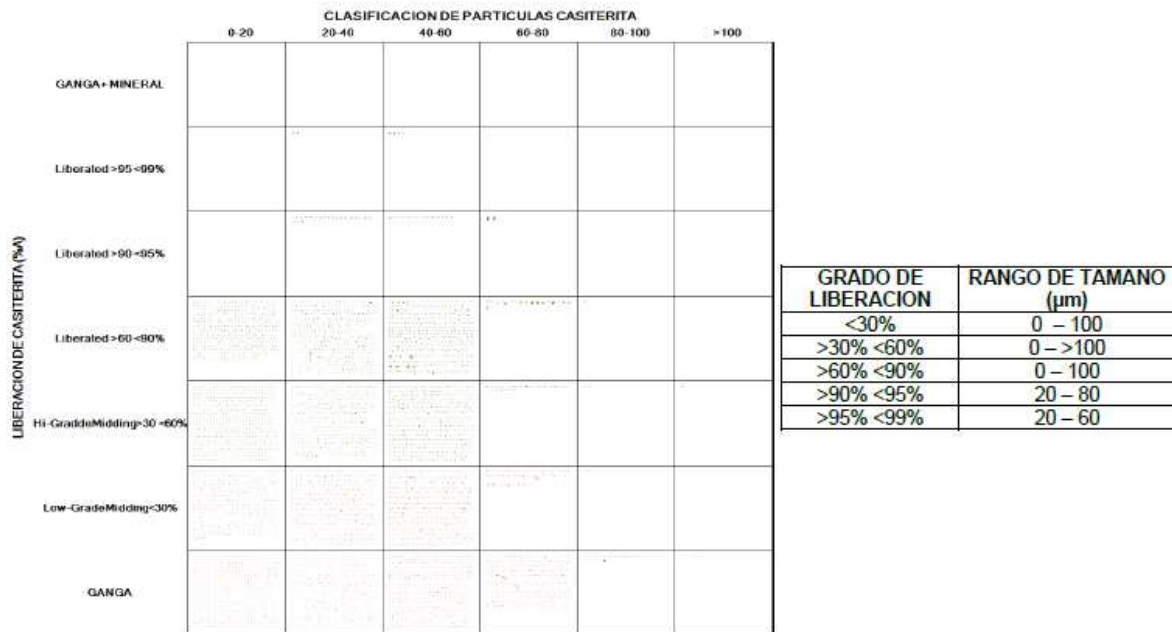


Figura 46 Grado de liberación de la casiterita (SnO_2) asociada al cuarzo (Fe_2O_3), elaborado por CIMM

Como se puede observar en la figura, el grado de liberación de la casiterita con respecto al cuarzo está presente >95<99 % en 20-60 µm, lo que conlleva el rango de tamaño donde la partícula está libre. Por lo tanto, casiterita necesita reducir a este rango de tamaño para no estar asociada con el cuarzo.

Así también, una vez cuantificadas las partículas del elemento de estaño en base al grado de liberación de manera individual y las asociaciones, se procede a realizar por otro lado la cuantificación del grado de liberación según la asociación por minerales.

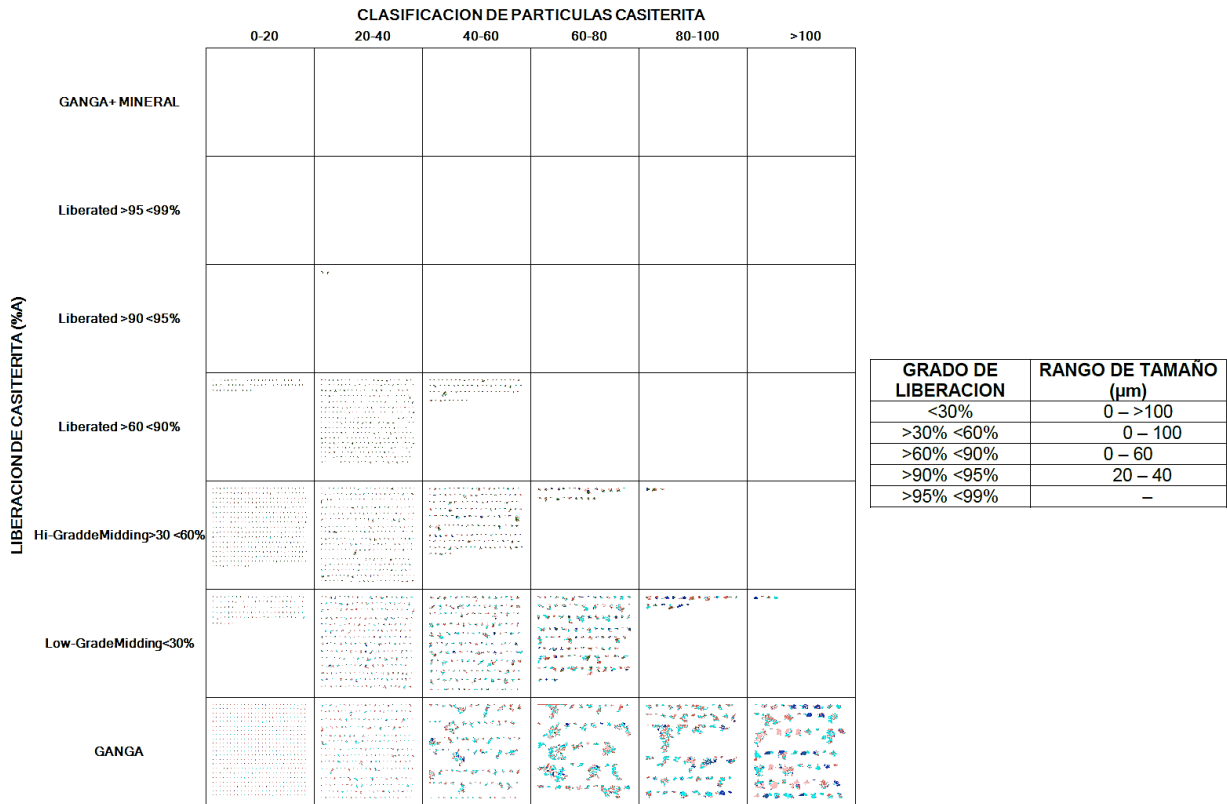


Figura 47 Grado de liberación de la casiterita (SnO_2) asociada a cuarzo (SiO_2), hematita (Fe_2O_3), oligoclasa ($(\text{NaCa})(\text{SiAl})_4\text{O}_8$), ortoclasa (KAlSi_3O_8), chamosita ($(\text{Fe}^{2+}\text{MgFe}^{3+})_5\text{Al}(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH},\text{O})_8$), acmita ($\text{NaFe}^{3+}\text{Si}_2\text{O}_6$) y cristobalita (SiO_2), elaborado por CIMM

Como se puede observar en la figura, el grado de liberación de la casiterita a un >90<95 % de grado de liberación está a 20-40 µm, lo que conlleva el rango de tamaño donde la partícula está libre.

Por otro lado, también existe presencia de estannita el cual está asociada a:

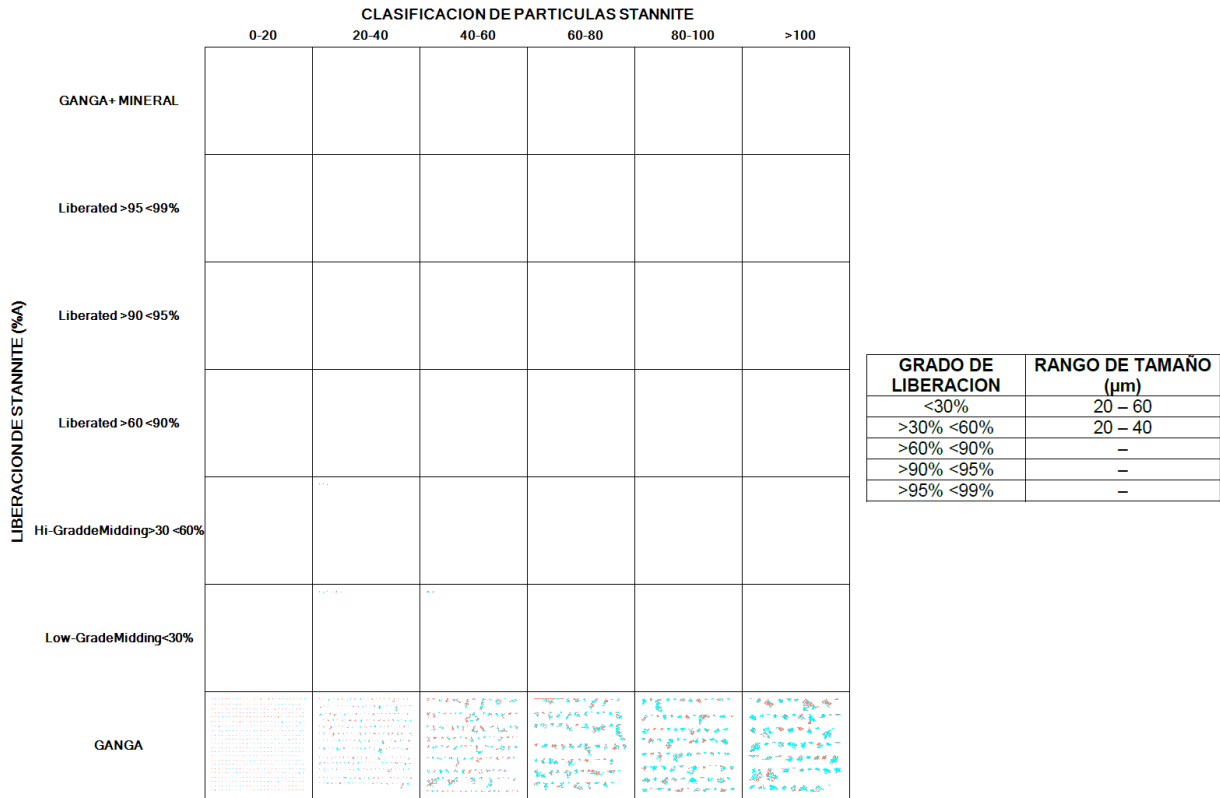


Figura 48 Grado de liberación de la estannita (Cu_2FeSnS_4) asociada a la cuarzo (SiO_2), hematita (Fe_2O_3) y goetita ($\alpha-FeO(OH)$), elaborada por CIMM

Como se puede observar en la figura, el grado de liberación de la estannita está a >30<60 % en 20-40 μm , lo que conlleva el rango de tamaño donde la partícula está libre. Por lo tanto, la estannita necesita reducir aún más el tamaño para tener un grado de liberación elevado.

En resumen, se llegó a la conclusión que la casiterita y estannita están libres a:

Tabla 14 Grado de liberación del Estaño presente en la muestra de la Mina “Salvadora-racacha”

Descripción	Rango de liberación
Casiterita SnO_2	20-40 μm (>90<99% grado de liberación)
Estannita Cu_2FeSnS_4	20-40 μm (>30<60% grado de liberación)

1.1.1.3. Caracterización química

1.1.1.3.1. Análisis químico por tamaños

Se procede a realizar una distribución de tamaños, en relación a sus respectivas leyes. Podemos dividirlo en 2 partes: mineral de cabeza (previo al chancado) y mineral de cabeza (posterior a la molienda).

Mineral de cabeza (previo al chancado), se puede observar en la tabla 15.

Tabla 15 Distribución de partículas por tamaños y leyes para el mineral Sn, previo al chancado

Rango	Tamiz	Abertura (mm)	Peso (Kg)	% Peso	%PRA	%PPA	Ley Sn (%)	Unidades finas	% Distribución
+1"	1"	25.40	269.00	26.46	26.46	73.54	0.71	1.91	16.37
-1"+1/2"	1/2"	12.70	194.50	19.13	45.59	54.41	0.50	0.97	8.33
-1/2"+3/8"	3/8"	9.53	97.50	9.59	55.18	44.82	1.12	1.09	9.36
-3/8"+1/4"	1/4"	6.35	155.00	15.25	70.43	29.57	1.01	1.57	13.41
-1/4"	-1/4"	6.35	300.50	29.56	100.00	0.00	2.04	6.13	52.53
Cabeza Calculada			1016.50	100.00			1.15	11.67	100.00

Como se observa en la tabla 15, el mineral de cabeza proveniente de la mina tiene una distribución de +1" (cercano próximo al 80% PPA), y de los cuales la cantidad mayoritaria de la distribución y ley se encuentra en tamaños a -1/4", lo que conlleva a que la reducción de tamaño será idealmente a -1/4".

Por otro lado, si se analiza la distribución de tamaños y leyes, al mineral de cabeza (posterior a la molienda), se obtendrá el siguiente resultado como se puede observar en la tabla 16.

Tabla 16 Distribución de partículas por tamaños y leyes para el mineral Sn, posterior a la molienda

Rango	Tamiz	Abertura (um)	Peso (Kg)	% Peso	%PRA	%PPA	Ley Sn (%)	Unidades finas	%Distribución
+48#	48#	300	610.00	23.02	23.02	76.98	0.30	6.91	5.62
-48#+65#	65#	212	271.00	10.23	33.25	66.75	1.08	11.04	8.99
-65#+150#	150#	106	482.00	18.19	51.43	48.57	1.23	22.37	18.21
-150#	-150#	-106	1287.00	48.57	100.00	0.00	1.70	82.56	67.19
Cabeza Calculada			2650.00	100.00			1.13	122.88	100.00

En la tabla anterior se puede observar que posterior a una molienda, donde la clasificación de tamaños esta entre 48#, 65# y 150#, se observa que la gran parte de la distribución de finos con 67.19% está presente a -150#, lo que conlleva que en este rango se obtenga mayor recuperación si se procesa en el rango correspondiente.

1.1.1.3.2. Análisis de cabeza representativo

Se mando al laboratorio por elemento de estaño, como se observó en la tabla 17.

Tabla 17 Análisis químico del mineral de Estaño

Parámetro	Unidad	Valor
Estaño, Sn	%	1.10

Para la representatividad de la ley del mineral, se considerará que:

$$\text{Ley del mineral Sn} = 1.10 \%$$

Con cada uno de los resultados obtenidos de la caracterización física, química y mineralógica, permiten establecer lo siguiente:

Dentro de la caracterización mineralógica

- Una vez realizada la técnica de fluorescencia de rayos X, se pudo identificar que los elementos mayoritarios mayores al 1% son el Fe, Sn, Si y Al.
- Una vez identifica los elementos, se procedió a la cuantificación y los minerales presentes por medio de análisis microscópico, de los cuales se identificaron 40 minerales, dentro de estos el mineral de interés para este estudio fue en Sn, de los cuales se identificó que está presente como casiterita (SnO_2) y estannita ($\text{Cu}_2\text{FeSnS}_4$) al 1.180 % y 0.003 % de peso.
- Por otro lado, los minerales mayoritarios presente identificados fueron: Pirita (FeS_2), hematita (Fe_2O_3), egirina o acmita ($\text{NaFe}^{3+}[\text{Si}_2\text{O}_6]$), cuarzo (SiO_2), chamosita ($\text{Fe}^{2+}, \text{Mg}, \text{Fe}^{3+})_5\text{Al}(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH}, \text{O})_8$), casiterita (SnO_2) y cristobalita (SiO_2).

Dentro de la caracterización física

- Dentro de esta caracterización, se procedo idéntica el rango de tamaños presente dentro del lote de la muestra representativa, en base al modelo matemático de Gates-Gaudin-Shuman, se pudo observar que aproximadamente el 80% PPA del mineral se encuentra a 1".
- Además, el peso específico del mineral de estaño proveniente de la Mina "Salvadora-Racacha" tiene un valor de 2.74 ± 0.01 .
- Por otro lado, con respecto al grado de liberación se pudo determinar que las partículas de casiterita (SnO_2) asociada principalmente al cuarzo (SiO_2), hematita (Fe_2O_3), oligoclasa ($(\text{NaCa})(\text{SiAl})_4\text{O}_8$), ortoclasa (KAlSi_3O_8), chamosita ($(\text{Fe}^{2+}\text{MgFe}^{3+})_5\text{Al}(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH}, \text{O})_8$), acmita ($\text{NaFe}^{3+}\text{Si}_2\text{O}_6$) y cristobalita (SiO_2), se encuentran libre en un rango de 20-40 um, alcanzando >90<95% de su liberación.
- Del mismo modo, las partículas de estannita ($\text{Cu}_2\text{FeSnS}_4$) asociadas al cuarzo (SiO_2), hematita (Fe_2O_3) y goetita ($\alpha\text{-FeO}(\text{OH})$), se encuentra libre >30<60% en 20-40 um, alcanzando >30<60% de su liberación. Bajo todo este grado análisis, concluyo que la casiterita esta parcialmente dentro del intersticio de la partícula de la pirita, lo que conlleva que la casiterita tenga que ser más liberada al respecto.

Dentro de la caracterización química

- Dentro de esta caracterización química, el estaño puede clasificarse según su tamaño de partícula y la su ley. En primer punto sería el mineral previo al chancado, donde se observó que casi el 30% de peso total, se encuentra distribuido el 52.23 % de los finos, llegando a la conclusión que es recomendable reducir el tamaño de partícula a $-1/4''$. En segundo punto, sería el mineral posterior a la molienda, donde se observó que dentro de los rangos de 48#, 65# y 150#, casi el 50% de peso total, se encuentra distribuido los finos el 67.19 % en $-150\#$.
- Además de realizar un análisis químico del Sn, se llegó a la conclusión que el mineral de Estaño proveniente de la Mina "Salvadora-racacha" tiene 1.10% de estaño presente.



CAPITULO VI - DISEÑO EXPERIMENTAL

El diseño experimental es muy importante para optimizar procesos. Ayuda a encontrar la mejor forma de hacer las cosas al identificar qué factores influyen en el proceso y cómo afectan los resultados. Además, permite descubrir qué cosas causan qué efectos, lo que ayuda a entender mejor el proceso y a hacer mejoras importantes y del mismo modo determinar los parámetros operaciones con es el caso de este estudio.

Por esta razón, se procederá a realizar un conjunto de pruebas organizadas, para eso es importante definir previamente los parámetros controlables.

- **Granulometría:** Este parámetro esta dividido en 3 segmentos, los cuales son:
 1. Del rango -48# +65#
 2. Del rango -65# +150#
 3. Del rango -150#
- **Inclinación:** Este parámetro estará definido en 3°
- **Caudal de agua (alimentación):** Este parámetro estará definido en 40 lt/min
- **Capacidad:** Este parámetro estará definido en 10 TM/día
- **% Solidos:** Este parámetro estará definido en 20 %.

Las pruebas se realizarán en una mesa Deister N°5, como se muestra a continuación:



Fotografía 7 Mesa gravimétrica tipo Deister N°5, elaboración propia

Dentro del campo de procesamiento del mineral, las Mesas gravimétricas tipo Deister, son más aplicados en industria y no tanto el del tipo Wilfley.

6.1. Etapa 1 – Selección de la variable influyente

Para esta etapa, se realizó un total de 10 pruebas, como se muestra en la tabla 19.

Tabla 18 Conjunto de pruebas en la etapa 1, selección de la variable influyente

Prueba	Escala codificada			Escala real			Recuperación (%)
	A	B	C	Amplitud	Frecuencia	Agua lavado	
				(mm)	(RPM)	(lt/min)	
1	-1	-1	-1	10	240	20	21.32
2	-1	-1	1	10	240	45	20.14
3	-1	1	-1	10	340	20	27.37
4	-1	1	1	10	340	45	25.29
5	1	-1	-1	25	240	20	14.15
6	1	-1	1	25	240	45	12.99
7	1	1	-1	25	340	20	23.54
8	1	1	1	25	340	45	23.04

Realizando un análisis de varianza, con el objetivo de determinar cuál es el más influyente entre la amplitud, frecuencia y caudal, con respecto a la recuperación.

Tabla 19 Análisis de varianza del diseño experimental

Fuente	GL	SC Sec.	Contribución	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F
Modelo	6	181.211	99.83%	181.211	30.202	99.28
Lineal	3	172.397	94.98%	172.397	57.466	188.91
Amplitud	1	52.020	28.66%	52.020	52.020	171.01
Frecuencia	1	117.351	64.65%	117.351	117.351	385.77
Caudal	1	3.026	1.67%	3.026	3.026	9.95
Interacciones de 2 términos	3	8.814	4.86%	8.814	2.938	9.66
Amplitud*Frecuencia	1	8.487	4.68%	8.487	8.487	27.90
Amplitud*Caudal	1	0.320	0.18%	0.320	0.320	1.05
Frecuencia*Caudal	1	0.007	0.00%	0.007	0.007	0.02
Error	1	0.304	0.17%	0.304	0.304	
Total	7	181.516	100.00%			

Diagrama de Pareto de efectos estandarizados

(la respuesta es Respuesta; $\alpha = 0.05$)

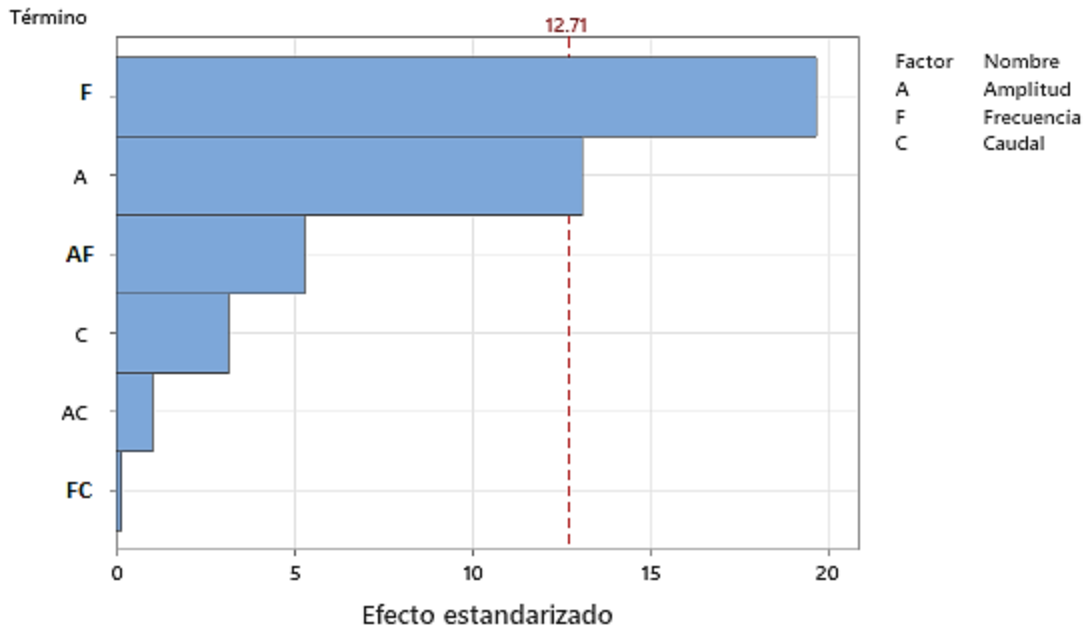


Figura 49 Diagrama de Pareto de efectos estandarizados

Como se puede observar en la tabla y figura anterior, bajo el criterio de Pareto la influencia del caudal no es influyente en las pruebas realizadas, lo que conlleva a que la frecuencia y la amplitud de golpe influyen sobre la recuperación.

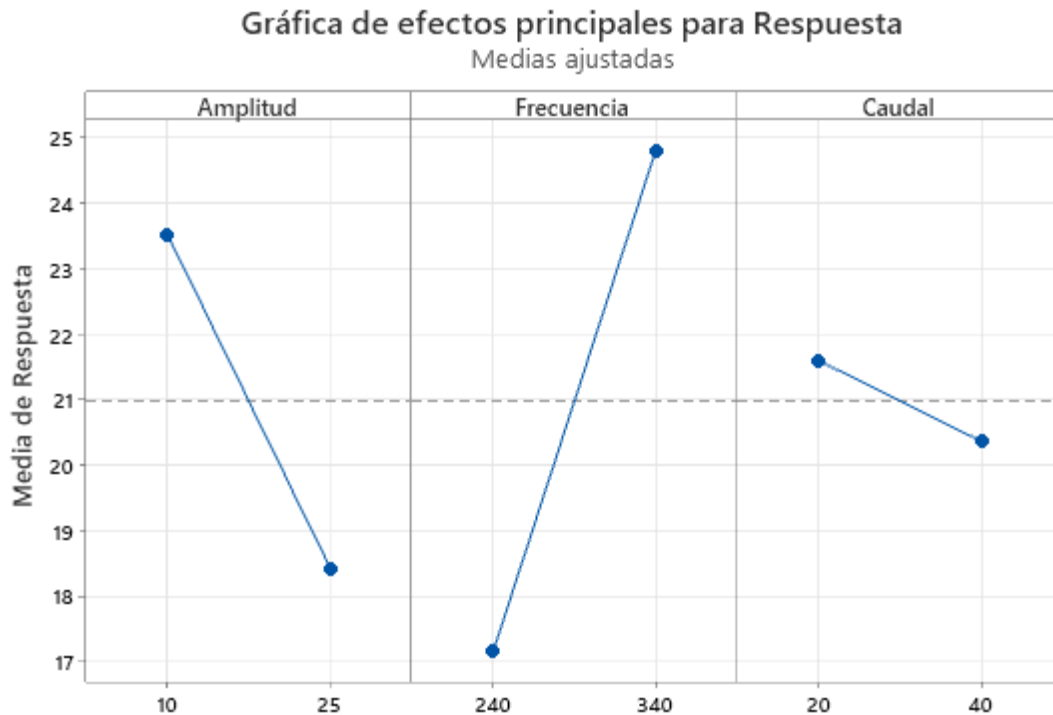


Figura 50 Grafica de efectos principales para respuesta

Como se observa en la figura anterior, la amplitud tiene un efecto decreciente o negativo cuando se pasa de 10 a 25 mm, esto se parcialmente verdad, debido a que la amplitud está ligada principalmente al tamaño de la granulometría. Por otro lado, la frecuencia tiene un efecto creciente o positivo cuando se pasa de 240 a 340 RPM, esto es debido a que la granulometría de la muestra de prueba estaba 48.57% PPA a una malla de 150. Con respecto al caudal, esto tiene un efecto decreciente o negativo de 20 a 40 Lt/min.

Con todo lo anterior explicado, se puede describir que el comportamiento observado en los experimentos cumple con los comentarios descritos por diferentes autores con respecto a la operación en mesas.

6.2. Etapa 2 – Diseño hexagonal (optimización)

En base al anterior estudio, se procede a realizar un análisis de optimización para determinar las mejores condiciones de operación bajo los diferentes rangos de tamaños.

6.2.1. Rango -48# + 65#

En primera instancia, se conjuga las pruebas en base a la forma del hexágono, con su respectiva variable respuesta como se muestra en la tabla 21.

Tabla 20 Conjunto de pruebas en la etapa 2, diseño experimental hexagonal para -48#+65#

Prueba	Codificado		Escala real		Recuperación (%)
	A	F	Amplitud (mm)	Frecuencia (RPM)	
1	1	0	25.00	265.00	13.08
2	0.5	0.86	23.13	286.50	15.47
3	-0.5	0.86	19.38	286.50	18.61
4	-1	0	17.50	265.00	18.88
5	-0.5	-0.86	19.38	243.50	24.23
6	0.5	-0.86	23.13	243.50	21.36
7	0	0	21.25	265.00	22.70
8	0	0	21.25	265.00	23.01

Posterior se realiza un análisis de diseño experimental hexagonal para obtener un modelo matemático, el cual es:

$$R(\%) = -339.6 + 20.428 \cdot A + 1.294 \cdot F - 0.4888 \cdot A^2 - 0.002628 \cdot F^2 - 0.00165 \cdot A \cdot F$$

Donde “R(%)” es la recuperación, el cual es dependiente de “A” (amplitud) y “B” (frecuencia). Es importante señalar que la regresión multivariable tiene un coeficiente de correlación de 0.9065 (aceptable).

Ahora se procede a graficar la superficie de respuesta, para observar de manera objetiva el efecto de amplitud y la frecuencia en la recuperación, como se observa en la figura 52.

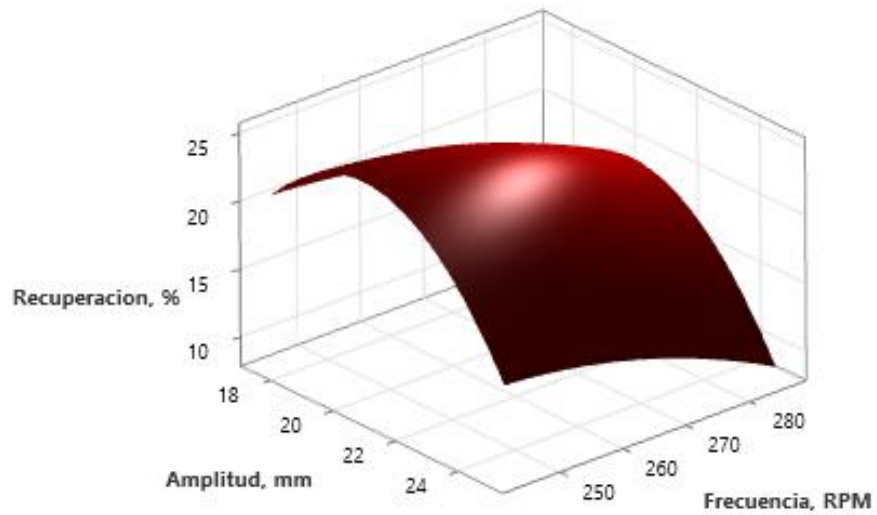


Figura 51 Grafica de superficie de Recuperación vs Frecuencia; Amplitud para -48#+65#

Del mismo modo se grafica el contorno de la superficie, ver la figura 52.

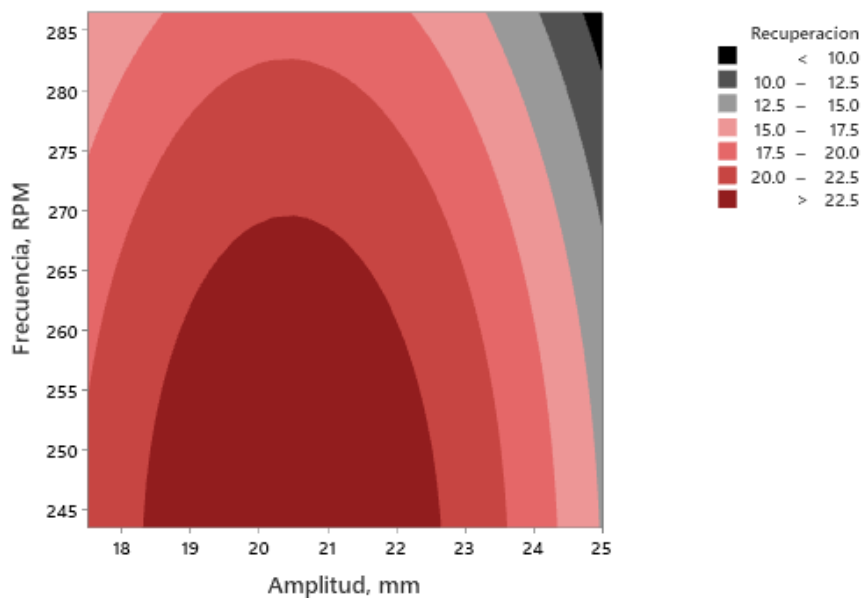


Figura 52 Grafica del contorno de Recuperación vs Frecuencia; Amplitud para -48#+65#

En base al modelo matemático proporcionado a partir del análisis de la superficie de respuesta, se procede a realizar un análisis de optimización, el cual se puede observar en la figura 53.

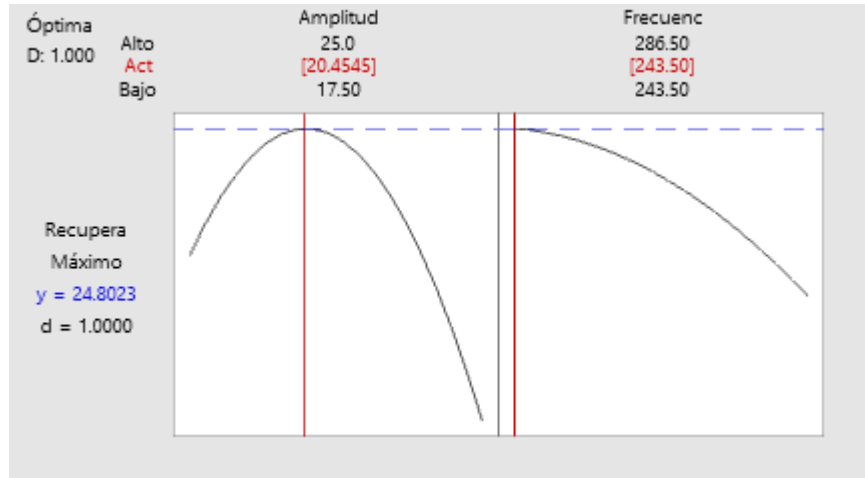


Figura 53 Optimizador de respuesta para -48#+65#

Mediante el análisis del modelo dentro de los rangos de la amplitud y frecuencia de golpe estudiadas se obtienen los valores óptimos para -48#+65#, los cuales son:

Tabla 21 Parámetros óptimos para -48#+65#

Factor	Valor optimo	Respuesta Optima (%)
Amplitud (mm)	20.4545	24.8023
Frecuencia (RPM)	243.5000	

6.2.2. Rango -65# + 150#

En primera instancia, se conjuga las pruebas en base a la forma del hexágono, con su respectiva variable respuesta como se puesta en la tabla 22.

Tabla 22 Conjunto de pruebas en la etapa 2, diseño experimental hexagonal para -65#+150#

Prueba	Codificado		Escala real		Recuperación (%)
	A	B	Amplitud (mm)	Frecuencia (RPM)	
1	1	0	21.25	290.00	29.67
2	0.5	0.86	19.38	311.50	31.50
3	-0.5	0.86	15.63	311.50	31.53
4	-1	0	13.75	290.00	30.03
5	-0.5	-0.86	15.63	268.50	25.92
6	0.5	-0.86	19.38	268.50	25.28
7	0	0	17.50	290.00	31.19
8	0	0	17.50	290.00	30.99

Posterior se realiza un análisis de diseño experimental hexagonal para obtener un modelo matemático, el cual es:

$$R(\%) = -420.6 + 1.950 \cdot A + 2.864 \cdot F - 0.08878 \cdot A^2 - 0.004814 \cdot F^2 + 0.00378 \cdot A \cdot F$$

Donde “R(%)” es la recuperación, el cual es dependiente de “A” (amplitud) y “B” (frecuencia). Es importante señalar que la regresión multivariable tiene un coeficiente de correlación de 0.8965 (aceptable).

Ahora se procede a graficar la superficie de respuesta, para observar de manera objetiva el efecto de amplitud y la frecuencia en la recuperación, como se observa en la figura 54.

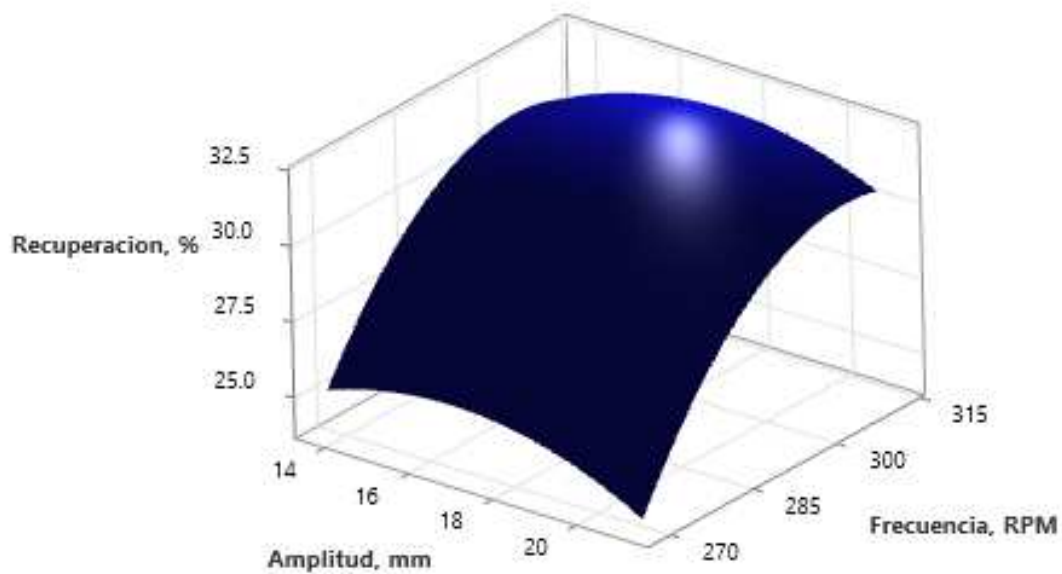


Figura 54 Grafica de superficie de Recuperación vs Frecuencia; Amplitud para -65#+150#

Del mismo modo se grafica el contorno de la superficie, ver la figura 55.

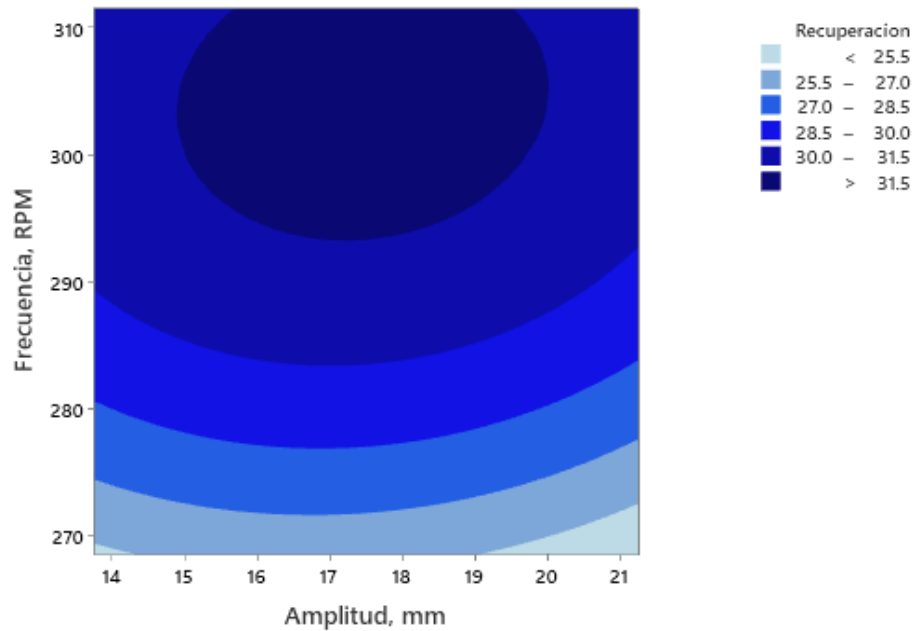


Figura 55 Grafica del contorno de Recuperación vs Frecuencia; Amplitud para -65#+150#

En base al modelo matemático proporcionado a partir del análisis de la superficie de respuesta, se procede a realizar un análisis de optimización, el cual se puede observar en la figura 56.

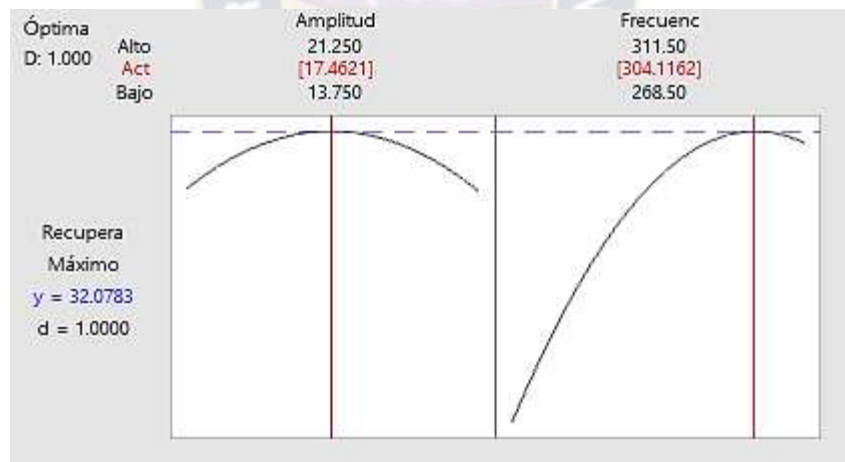


Figura 56 Optimizador de respuesta para -65#+150#

Mediante el análisis del modelo dentro de los rangos de la amplitud y frecuencia de golpe estudiadas se obtienen los valores óptimos para -65#+150#, los cuales son:

Tabla 23 Parámetros óptimos para -65#+150#

Factor	Valor optimo	Respuesta Optima (%)
Amplitud (mm)	17.4621	32.0783
Frecuencia (RPM)	304.1162	

6.2.3. Rango -150

En primera instancia, se conjuga las pruebas en base a la forma del hexágono, con su respectiva variable respuesta como se puesta en la tabla 24.

Tabla 24 Conjunto de pruebas en la etapa 2, diseño experimental hexagonal para -150#

Prueba	Codificado		Escala real		Recuperación (%)
	A	B	Amplitud (mm)	Frecuencia (RPM)	
1	1	0	17.50	315.00	32.21
2	0.5	0.86	15.63	336.50	24.78
3	-0.5	0.86	11.88	336.50	28.67
4	-1	0	10.00	315.00	36.77
5	-0.5	-0.86	11.88	293.50	19.15
6	0.5	-0.86	15.63	293.50	19.12
7	0	0	13.75	315.00	37.02
8	0	0	13.75	315.00	36.76

Posterior se realiza un análisis de diseño experimental hexagonal para obtener un modelo matemático, el cual es:

$$R(\%) = -2880 + 4.81 \cdot A + 18.12 \cdot F - 0.1322 \cdot A^2 - 0.0283 \cdot F^2 - 0.0057 \cdot A \cdot F$$

Donde “R(%)” es la recuperación, el cual es dependiente de “A” (amplitud) y “B” (frecuencia). Es importante señalar que la regresión multivariable tiene un coeficiente de correlación de 0.8965 (aceptable).

Ahora se procede a graficar la superficie de respuesta, para observar de manera objetiva el efecto de amplitud y la frecuencia en la recuperación, como se observa en la figura 57.

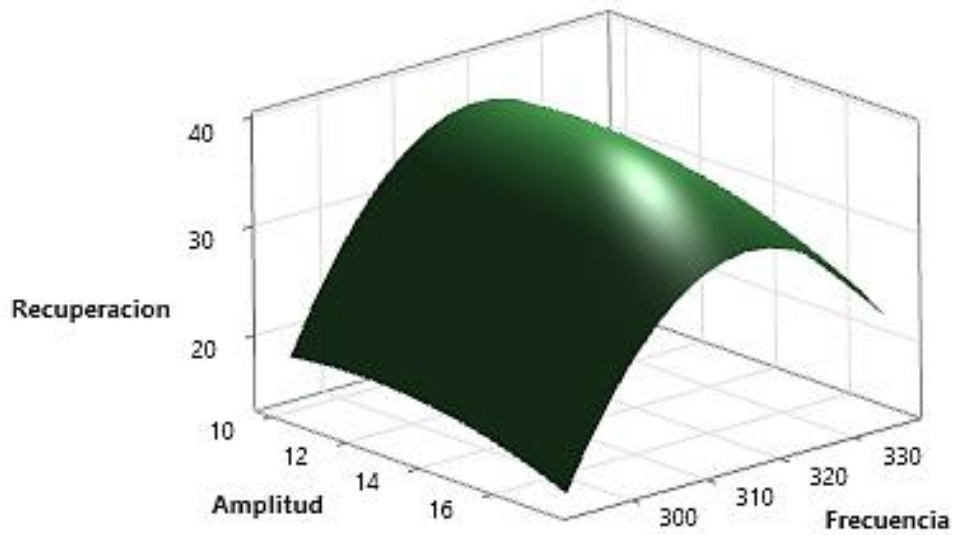


Figura 57 Grafica de superficie de Recuperación vs Frecuencia; Amplitud para -150#

Del mismo modo se grafica el contorno de la superficie, ver la figura 58.

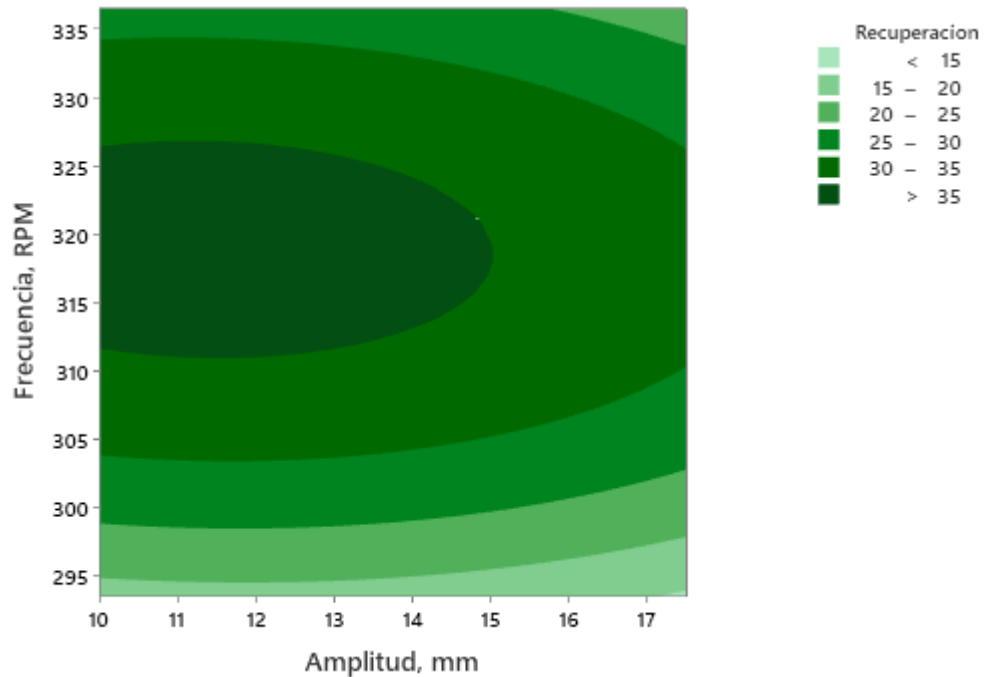


Figura 58 Grafica del contorno de Recuperación vs Frecuencia; Amplitud para -150#

En base al modelo matemático proporcionado a partir del análisis de la superficie de respuesta, se procede a realizar un análisis de optimización, el cual se puede observar en la figura 59.

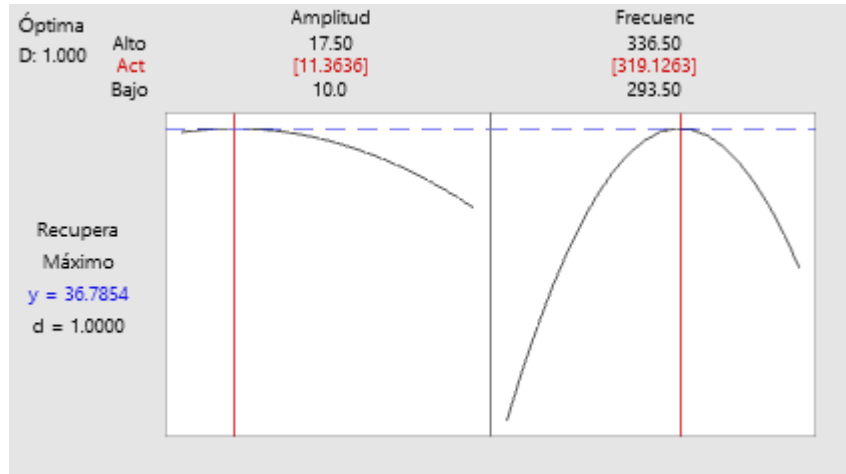


Figura 59 Optimizador de respuesta para -150#

Mediante el análisis del modelo dentro de los rangos de la amplitud y frecuencia de golpe estudiadas se obtienen los valores óptimos para -150#, los cuales son:

Tabla 25 Parámetros óptimos para -150#

Factor	Valor optimo	Respuesta Optima (%)
Amplitud (mm)	11.3636	36.7854
Frecuencia (RPM)	319.1263	

Una vez calculado los parámetros óptimos para cada rango de tamaño, se llegó a los siguientes resultados, en resumen:

Tabla 26 Resumen de los parámetros óptimos para cada rango

Rango	Factor	Valor optimo	Respuesta Optima (%)
-48#+65#	Amplitud (mm)	20.4545	24.8023
	Frecuencia (RPM)	243.5	
-65#+150#	Amplitud (mm)	17.4621	32.0783
	Frecuencia (RPM)	304.1162	
-150#	Amplitud (mm)	11.3636	36.7854
	Frecuencia (RPM)	319.1263	

CAPITULO VII - EVALUACION TECNICA Y ECONOMICA

El análisis técnico y económico es parte importante en la evaluación de una operación, ya que permitirá cuantificar el beneficio y/o pérdida económica por el procesamiento del mineral. Para eso es importante identificar de manera global la recuperación técnica y económica.

Del mismo modo, hacer un análisis financiero permite evaluar la rentabilidad del proceso, para tal cometido se realizará una evaluación para 5 años.

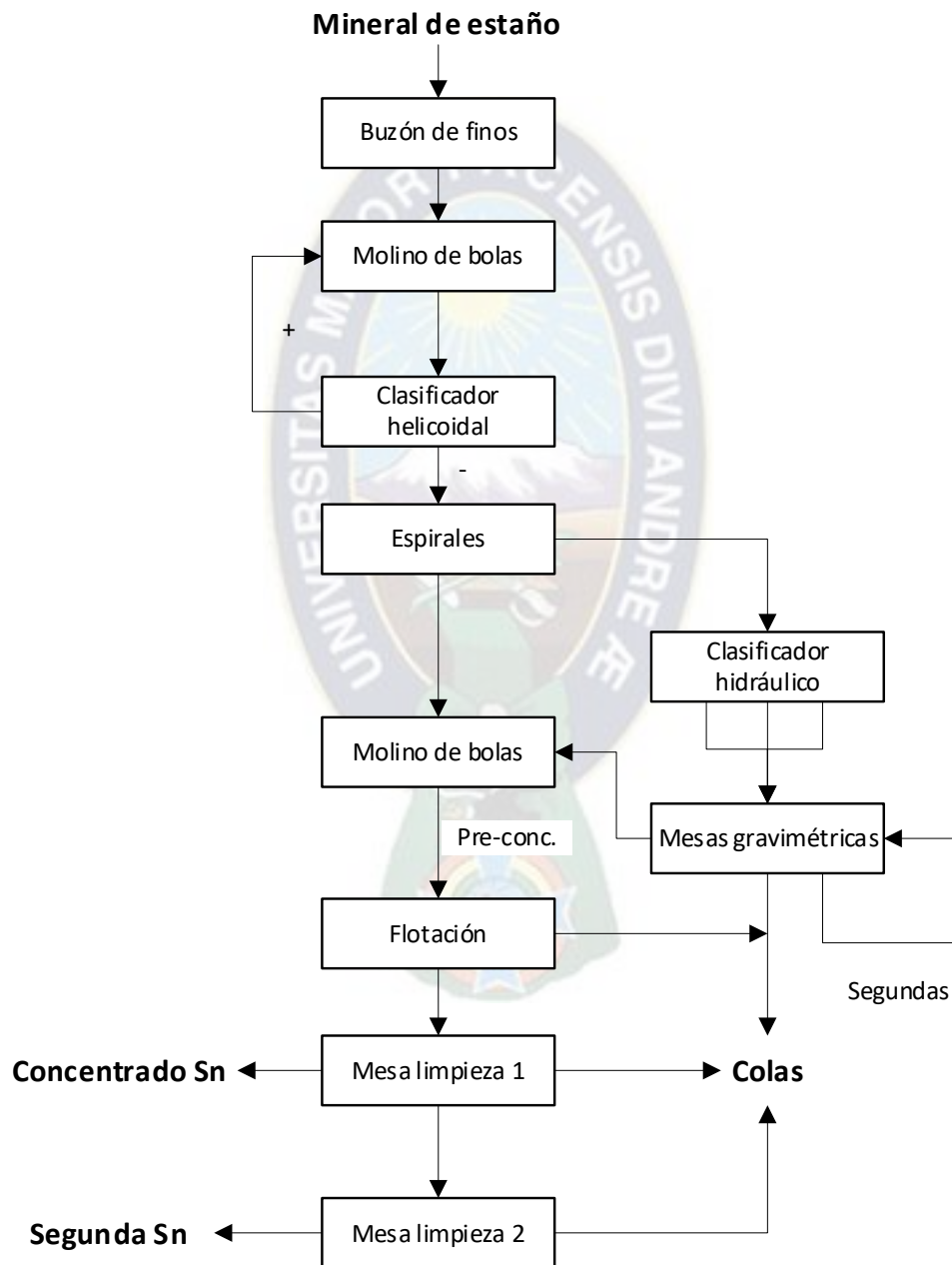


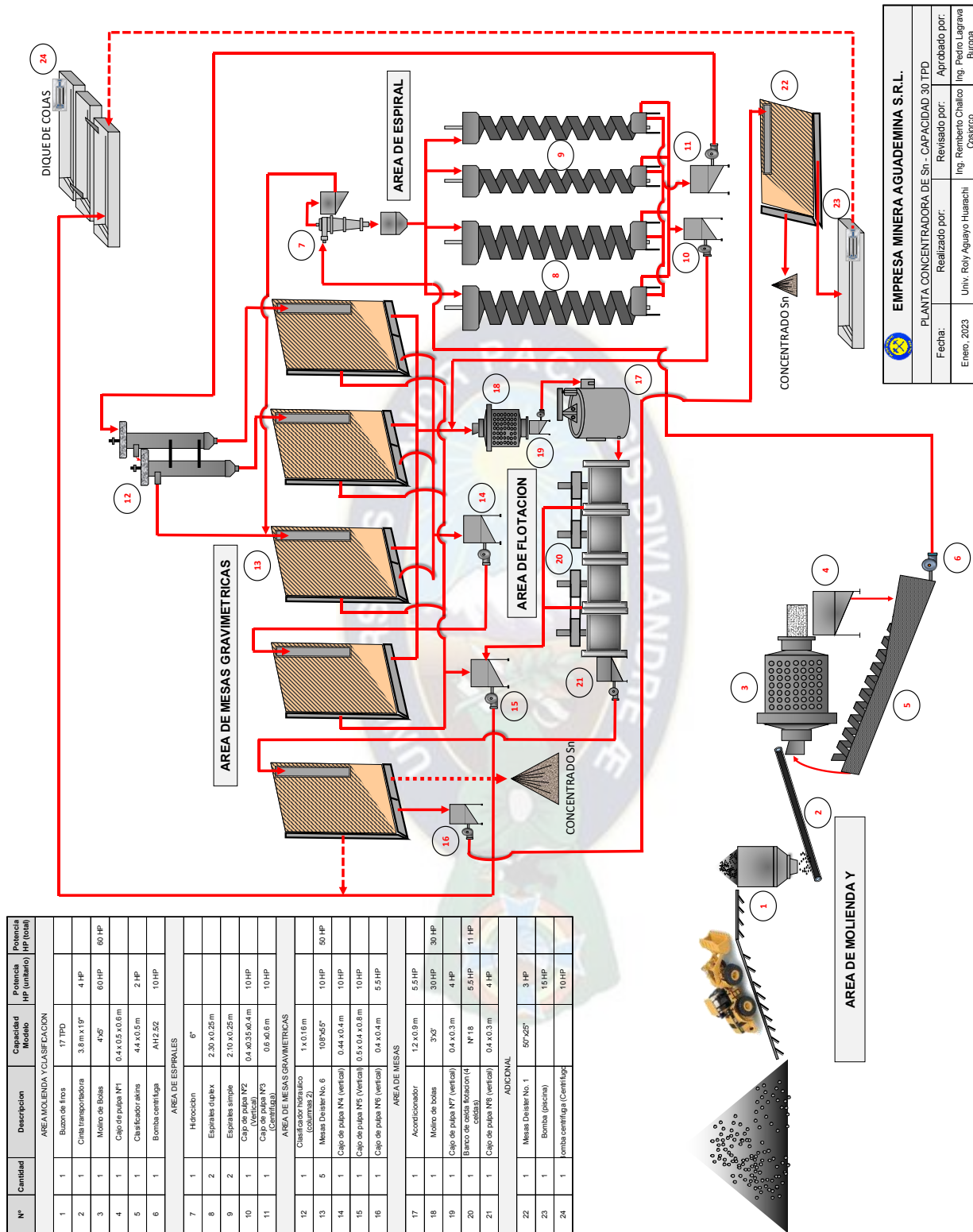
Figura 60 Flujograma en bloque de la Empresa Minera "AguadeMina"

En el gráfico se aprecia el proceso del mineral extraído de la mina "Salvadora-Racacha". Luego de pasar por el proceso de chancado inicial, el material es dirigido a un buzón de finos antes de ingresar a un molino de bolas. Este último será seguido por un clasificador helicoidal o Akins para llevar a cabo una clasificación. Una vez concluida esta fase, las partículas se dirigen hacia los pre-concentradores en espiral.

Dentro de los pre-concentradores en espiral, se separan los minerales de mayor tamaño, con partículas de +48#. Estos minerales, principalmente pirita, hematita y casiterita, se someten a otro proceso. Por otro lado, las partículas con un tamaño menor a -48# se envían a mesas gravimétricas. En esta etapa, se clasifican previamente en tres rangos: 48#, 65# y 150#. Cada uno de estos tamaños generará tres productos diferentes: preconcentrado, mixto o segundas, y colas. Los productos mixtos pasan por una mesa adicional, mientras que las colas son enviadas al depósito de residuos.

Los productos obtenidos tanto de los espirales como de las mesas gravimétricas son trasladados para ser reducidos en un molino de bolas para posterior pasar a celdas de flotación. Aquí, se llevará a cabo la flotación de los elementos de hierro, como la pirita y la hematita. Cualquier casiterita que no se haya ido en las espumas del proceso de flotación pasará a una mesa gravimétrica de limpieza 1, donde se obtendrá el concentrado final de estaño. Adicionalmente, los productos mixtos se someterán a una mesa gravimétrica de limpieza 2, donde se obtendrá un segundo producto con valor económico.





N°	Cantidad	Descripción	Capacidad Molino	Potencia HP (unitario)	Potencia HP (total)
AREA MOLINDEA Y CLASIFICACION					
1	1	Buena de fresa	17 TPD		
2	1	Cinta transportadora	3.8 m x 15"	4 HP	
3	1	Molino de Bolas	4'x5'	60 HP	60 HP
4	1	Cajón de pulpa N°1	0.4 x 0.5 x 0.8 m		
5	1	Clasificador aéreo	4.4 x 0.5 m	2 HP	
6	1	Bomba centrífuga	AH2.52	10 HP	10 HP
AREA DE ESPIRALES					
7	1	Hidrociclón	6"		
8	2	Espirales de bax	2.20 x 0.25 m		
9	2	Espirales simple	2.10 x 0.25 m		
10	1	Cajón de pulpa N°2 (Vertical)	0.4 x 0.3 x 0.4 m	10 HP	
11	1	Cajón de pulpa N°3 (Vertical)	0.6 x 0.6 m	10 HP	
AREA DE MENSAS GRAVIMETRICAS					
12	1	Clasificador hidráulico (Columnas 2)	1 x 0.16 m		
13	5	Mesas Dasher No. 6	108"x65"	10 HP	50 HP
14	1	Cajón de pulpa N°4 (vertical)	0.44 x 0.4 m	10 HP	
15	1	Cajón de pulpa N°5 (Vertical)	0.5 x 0.4 x 0.8 m	10 HP	
16	1	Cajón de pulpa N°6 (vertical)	0.4 x 0.4 m	5.5 HP	
AREA DE MENSAS					
17	1	Acondicionador	1.2 x 0.9 m	5.5 HP	
18	1	Molino de bolas	3'x3'	30 HP	30 HP
19	1	Cajón de pulpa N°7 (vertical)	0.4 x 0.3 m	4 HP	
20	1	Banco de colas flotacion (2)	N°18	5.5 HP	11 HP
21	1	Cajón de pulpa N°8 (vertical)	0.4 x 0.3 m	4 HP	
ADICIONAL					
22	1	Mesa Dasher No. 1	50"x65"	3 HP	
23	1	Bomba (piscina)		15 HP	
24	1	Bomba centrífuga (Centrifuga)		10 HP	

EMPRESA MINERA AGUADEMINA S.R.L.			
PLANTA CONCENTRADORA DE Sn - CAPACIDAD 30 TPD			
Fecha:	Realizado por:	Revisado por:	Aprobado por:
Enero, 2023	Univ. Rovly Aguayo Huacachi	Ing. Reinaldo Challes Castarco	Ing. Pedro Lagrera Burgos

Figura 61 Flujograma pictórico de la Empresa Minera "AguadeMina"

7.1. Resultados del balance metalúrgico y económica

En primera instancia, se procederá a realizar un balance metalúrgico donde se observará la distribución de las masas, elementos, para así determinar la recuperación técnica.

Para el análisis económico, se procederá a realizar la cuantificación del valor del producto y del mineral, para posterior determinar la recuperación económica.

7.1.1. Balance metalúrgico

Por medio del balance metalúrgico general, se procede con el análisis con el fin de observar y cuantificar la recuperación de la operación. Es importante resaltar que cada etapa estará evaluada, bajo un balance metalúrgico por etapas (VER ANEXOS III).

La operación una vez implementada las condiciones operativas más óptimas, todo esto con el objetivo de tener un panorama general de la operación, como se observa en la figura 62 y la tabla 27.

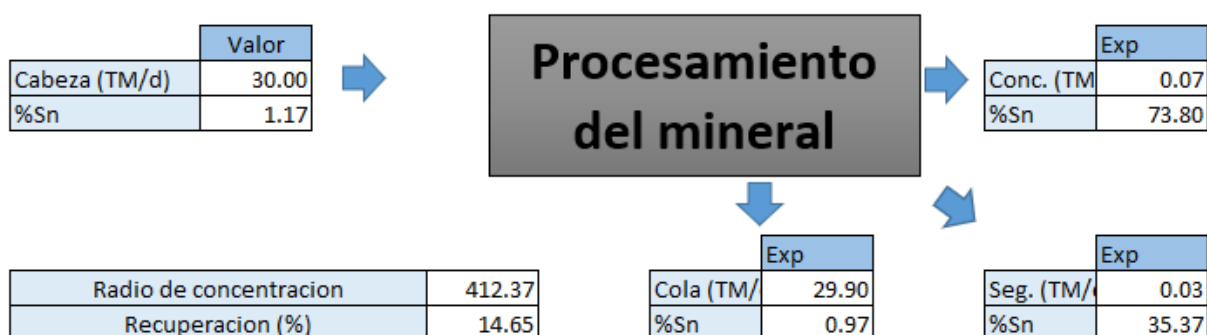


Figura 62 Esquema operacional posterior a la optimización

Tabla 27 Balance metalúrgico global posterior a la optimización

Productos	Peso (TM)	Peso (%)	Sn (%)	Finos (u)	Distribución (%)
Concentrado	0.07	0.23	73.80	0.05	14.65
Segundas	0.03	0.10	35.37	0.01	3.01
Colas	29.90	99.67	0.97	0.29	82.33
Cabeza calculada	30.00	100.00	1.17	0.35	100.00
Cabeza analizada			1.10		

Como se puede observar, la recuperación global con la implementación de los parámetros óptimos llegó a 14.65 %, con una ley de 73.80% de concentrado y 35.37% de segundas, obteniéndose en peso 0.23% concentrado y 0.10% segunda con respecto al total del mineral.

7.1.2. Análisis económico

7.1.2.1. Valor del mineral

El valor del mineral identifica los ingresos que se lograrán de una operación de procesamiento de minerales por la venta de los productos obtenidos. Esta influenciado por las siguientes variables:

- **Ley de cabeza del mineral:** Depende básicamente del yacimiento y del tipo de minado. Naturalmente es la variable más importante en el valor de un mineral y da origen al negocio minero.
- **Operación de procesamiento o beneficio:** Representa el desempeño de la planta de procesamiento y de los resultados que se obtienen en ella, expresados en la ley de los concentrados, la recuperación de elementos valiosos, el desplazamiento de los contaminantes y radios de concentración.
- **Condiciones de comercialización de productos:** En este aspecto se engloban condiciones como el porcentaje de pago por los elementos valiosos contenidos en los concentrados, maquilas de las funciones y refinerías, el precio de los metales en el mercado internacional y las condiciones financieras de los pagos que se reciben por la venta de los concentrados.

Para que el análisis económico, pueda evaluarse, se realizara el valor del producto con respecto al mineral, así mismo desde un aspecto ideal.

Previo a esto, es importante describir el programa de producción general, el cual es:

Tabla 28 Programa de operación de la Empresa Minera “AguadeMina”

Descripción	Mineral de Sn
Días trabajados por mes (día/mes)	30
Meses trabajados al año (Mes/año)	12
Capacidad de tratamiento (TM/día)	30
Tonelaje tratado por mes (TM/mes)	900
Tonelaje tratado por año (TM/año)	10800

Para evaluar el valor del mineral, es importante conocer los pesos de los productos por la operación, la ley, capacidad de operación y la cotización del estaño en el mercado nacional, como se puede observar en la tabla 30.

Tabla 29 Programa de producción real del concentrado y segunda

Descripción	Concentrado	Segunda
Leyes Sn (%)	73.80	35.37
Recuperación Sn (%)	14.65	3.01
Peso del Estaño producido día (TM/día)	0.07	0.03
Peso del Estaño producido día (Kg/día)	72.75	27.70
Peso neto producido por día (lb finas/día)	118.36	21.60
Peso neto producido por mes (lb finas/mes)	3550.92	648.06
Peso neto producido por año (lb finas/año)	42610.99	7776.74
Cotización (\$us/lb finas)	6.41	2.77
Valor del producto (\$us/mes)	22761.37	1795.13
Valor total (\$us/mes)	24556.50	
Valor del mineral (\$us/TM mineral)	27.29	

En la anterior tabla, se puede observar que la cotización del Sn para el concentrado es 6.41 \$us/lb finas y para las segundas a 2.77 \$us/lb finas, esto debido a la cotización dentro del mercado nacional. Si se realiza un cálculo con respecto al valor total de los productos (concentrado y segunda), se puede dividir por el total procesado, lo cual llevara a obtener el valor del mineral, el cual realizando tal operación sale 27.29 \$us/lb finas.

Para poder analizar la parte económica se realizó adicional un análisis de operación ideal, como se puede observar en anexos I (figura anexa 7 y la tabla anexo 10). Este análisis será importante para la parte comparativa dentro del análisis económico. Con este análisis, se puede observar que la recuperación ideal sería 100% (ya que se habla de un aspecto ideal), con una ley del 78.60% como límite máximo y se obtendría 1.40% en peso de concentrado con respecto al mineral total procesado.

Por otro lado, es importante señalar y evaluar desde un aspecto ideal (VER ANEXOS I), con el objetivo de comparar posterior con el del proceso, como se observa en la tabla 31.

Tabla 30 Programa de producción ideal del concentrado

Descripción	Concentrado
Leyes Sn (%)	78.60
Recuperación Sn (%)	100.00
Peso del Estaño producido día (TM/día)	0.42
Peso del Estaño producido día (Kg/día)	419.85
Peso neto producido por día (lb finas/día)	727.52
Peso neto producido por mes (lb finas/mes)	21825.54
Peso neto producido por año (lb finas/año)	261906.48
Cotización (\$us/lb finas)	6.41
Valor del producto (\$us/mes)	139901.71
Valor del mineral (\$us/TM mineral)	155.45

En la tabla se puede observar de manera ideal el valor del mineral, el cual alcanza a 155.45 \$us/TM mineral, en base a este dato, se puede evaluar la recuperación económica.

Sabiendo los resultados obtenidos desde un aspecto ideal y del mismo como real, se procede a realizar el respectivo análisis:

Tabla 31 Valor del mineral de la operación ideal y real

Descripción	Valor del mineral (\$us/TM mineral)
Operación real	27.29
Operación ideal	155.45

Para determinar el rendimiento económico, se procederá a utilizar la siguiente expresión:

$$R.E. = \frac{\text{Valor del mineral (parcial)}}{\text{Valor del mineral (ideal)}} * 100$$

Realizando el cálculo, se obtiene:

$$R.E. = \frac{27.29}{155.45} * 100$$

$$R.E. = 17.55 \%$$

Como se puede observar, la recuperación económica llega a 17.55%.

En resume se pudo observar que la recuperación técnica y económica llegan a 15.45 % y 17.55%, respectivamente. Es evidente que los resultados no son tan halagadores como se esperaba, sin embargo, es importante cuantificar y evaluar

7.2. Evaluación económica

La evaluación económica o financiera tiene como objetivo el determinar la factibilidad del presente proyecto concerniente al procesamiento del mineral de estaño, por la planta de la Empresa Minera “AguadeMina”.

Dentro del procesamiento de minerales, la evaluación económica de una operación puede ser expresada simplificada por la siguiente expresión:

$$F = V - C \dots\dots(12)$$

En esta fórmula, “V” indica el valor de venta del producto obtenido del procesamiento del mineral (concentrado), y “C” representa los costos en los que se incurre en el proceso. La diferencia entre el valor del mineral y los costos, será el margen de la operación.

Conociendo de un aspecto fundamental, se procede a evaluar la operación.

7.2.1. Programa de producción

El programa de producción se ha realizado en base al balance metalúrgico resumido, balance que muestra dos tipos de productos comerciables obtenidos (concentrado Sn y segundo Sn), resultados que permiten estimar la cantidad aproximada producida en la planta. En tabla se muestra el programa de producción de concentrado y segunda de Sn, considerando 30 toneladas de mineral procesado por día.

Tabla 32 Programa de producción del concentrado y segundo Sn

Descripción	Concentrado	Segunda
Recuperación (%)	14.65	3.01
Capacidad de tratamiento (TM/día)	30	30
Días trabajados por mes (días/mes)	30	30
Meses trabajados al año (Mes/año)	12	12
Tonelaje tratado por mes (TM/mes)	900	900
Tonelaje tratado por año (TM/año)	10800	10800
Estaño producido por día (lb finas/día)	118.37	21.60
Estaño producido por mes (lb finas/mes)	3550.95	648.07
Estaño producido por año (lb finas/año)	42611.43	7776.81
Cotización (\$us/lb finas) (*)	6.41	2.77

Es importante resaltar que la cotización (*) del Estaño descrito en la tabla 23, es el precio estimado dentro del mercado nacional, ya que la comercialización se realiza a nivel nacional por Normativas Boliviana. Si tomamos en cuenta en precio anual promedio del 2022 (14.09 \$us/lb finas), se puede llegar a la conclusión que la cotización nacional está por debajo del 50% con respecto a la cotización internacional.

7.2.2. Costos totales del procesamiento del mineral

El costo total de una planta procesadora de minerales está constituido por la suma del costo de inversión y los costos operativos. La estructura del costo total de un proyecto se muestra en el siguiente esquema:

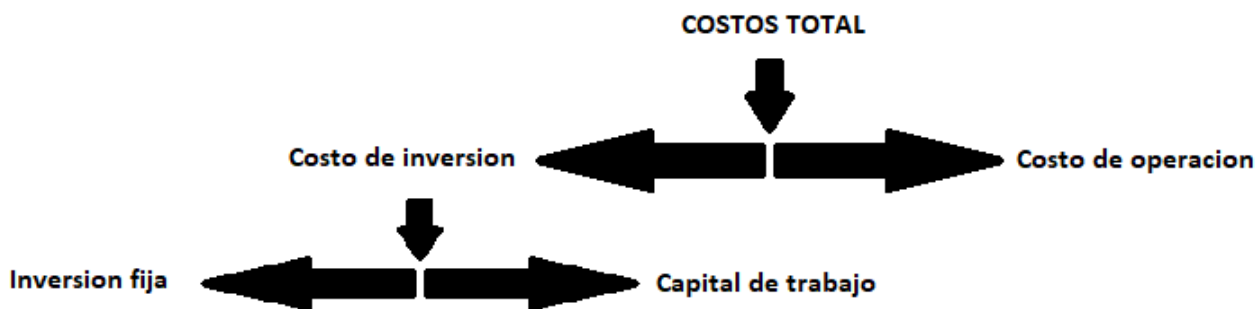


Figura 63 Estructura general de los costos

Descrito el costo total, se procede a calcular todos los costos: costo de operación y costo de inversión (inversión fija y capital de trabajo).

7.2.2.1. Costo de inversión

Para esta parte, se procederá a detallar todas las inversiones realizadas para la construcción de la planta de procesamiento de minerales, desde un aspecto de maquinarias, equipos, terreno, construcción de obra civil, imprevisto, etc., y del mismo modo el capital de trabajo resultado de las necesidades para el procesamiento del mineral del estaño. En la tabla se muestra el resumen de la inversión total requerida para la planta.

Tabla 33 Costo total de inversión de la planta

Ítem	Descripción	Importe total (\$us)	% inversión
A	Inversión fija	262491.00	86.68
1	Inversión planta	230991.00	76.28
2	Inversión taller	7000.00	2.31
3	Inversión infraestructura	24500.00	8.09
B	Capital de trabajo	40345.00	13.32
TOTAL, COSTO INVERSION		302836.00	100.00

En la tabla 33, se puede observar la inversión fija y capital de trabajo, dando la sumatoria de ambos el valor invertido, para la construcción de la planta procesadora de minerales de Estaño para una capacidad de 30 TMD, el valor es 302836.00 \$us.

7.2.3. Ingresos y costos

7.2.3.1. Ingresos

En la tabla se muestra la proyección de ingresos, tomando en cuenta la capacidad de producción de la planta, se evaluará para 5 años, de los cuales se asumirá que la producción será constante para cada año.

Tabla 34 Total de ingresos anuales

Descripción	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Total, ingresos (\$us)	294681.02	309599.25	333404.53	368016.21	416376.57

7.2.3.2. Costos de operación

El costo total anual calculado para la planta es 386940.00 \$us/año, de los cuales el costo de procesar 1 TM de mineral, conlleva un valor de 1074.83 \$us/TM procesada.

Tabla 35 Resumen del costo de operación anual

Ítem	Concepto	Valor total (\$us/año)	% costos
1	Mano de obra directa	54240.00	14.02
2	Mano de obra indirecta	18600.00	4.81
3	Materia prima mineral	162000.00	41.87
4	Materiales e insumos	76600.00	19.80
5	Mantenimiento, accesorios, etc	9500.00	2.46
6	General administrativo	66000.00	17.06
Total, costos de operación		386940.00	100.00
Costo (\$us/TM procesada)		1074.83	

Como se puede observar en la tabla 35, se contempló todas las consideraciones que influyen para que la planta este en operación, es importante resaltar que el costo más elevado dentro de este campo es el costo de la materia prima, alcanzando 162000.00 \$us/año.

7.2.3.3. Costo de depreciación

El computo de depreciación de activos fijos se realizó considerando la metodología lineal establecida por la ley de inversiones y las disposiciones tributarias vigentes en el país para las maquinarias y equipos, ver tabla 36.

Tabla 36 Depreciación anual en los 5 años del proyecto

Concepto	1 año	2 año	3 año	4 año	5 año	Depreciación acumulada	Valor de salvamento
Total	54755.61	54755.61	51080.61	51080.61	51080.61	262753.05	12862.50

Una vez calculado los costos de operación, costos de inversión y así mismo los ingresos, se procede a realizar un análisis económico para los 5 años.

7.2.3.4. Análisis económico

Para el análisis económico para la planta de la Empresa Minera AguadeMina, se registran los valores, con los indicadores de evaluación como el Valor Actual Neto (VAN), tasa interna de retorno (TIR), la relación beneficio costo (B/C) y el periodo de recuperación del capital (PRC), indicadores financieros que permiten medir la rentabilidad del proyecto propuesto, considerando el valor cronológico del dinero en el tiempo.

Tabla 37 Indicadores financieros

VAN	-835699.92
TIR	No calculado
B/C	0.64
PRC	-3.4

Estos resultados permiten establecer lo siguiente:

- El VAN calculado indica que después que la planta cubra todos los costos de operación, no se obtendrá una utilidad favorable, debido a que los costos superan a los ingresos.
- Por otro lado, TIR indica un rendimiento negativo, siendo no factible invertir.
- Del mismo modo, B/C indica que, por cada dólar invertido, se obtendrá 0.86 \$us, lo cual no se es favorable.
- Y finalmente, PRC describe valores negativos, esto debido a que no será posible cubrir los costos de inversión.

Con todo lo comentado, se estable que aun con la optimización de la operación de las mesas gravimétricas, la planta no se encuentra en condiciones de generar beneficios, lo cual deja claro que debe realizarse estudios técnicos para mejorar la recuperación.

CAPITULO VIII - CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1. Conclusiones

Caracterización del mineral

- En el mineral de la Mina “Salvadora-Racacha” se pudo observar que mineralógicamente se presenta dentro de la muestra analizada los minerales en proporción mayor al >1%, como ser: pirita (FeS_2), hematita (Fe_2O_3), acmita ($\text{NaFe}^{3+}[\text{Si}_2\text{O}_6]$), cuarzo (SiO_2), chamosita ($(\text{Fe}^{2+}, \text{Mg}, \text{Fe}^{3+})_5\text{Al}[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}][\text{OH}, \text{O}]_8$), casiterita (SnO_2) y cristobalita (SiO_2). Es importante resaltar que el estaño está presente como casiterita (SnO_2) al 1.180% en peso y estannita ($\text{Cu}_2\text{FeSnS}_4$) al 0.003% en peso.
- Desde el aspecto de la caracterización física se observa la granulometría con que se despacha de la mina está a 1” aproximadamente al 80% PPA. Así mismo, el valor calculado del Peso Específico es de 2.74 con una incertidumbre del 0.01. Y con lo que compete a su grado de liberación, se llegó a la conclusión que tanto como la casiterita (SnO_2) y la estannita ($\text{Cu}_2\text{FeSnS}_4$) se encuentran libre en el rango de 20-40 μm , aclarando que la casiterita al >90<99% y la estannita entre >30<60 %.
- Del lado de la caracterización química, se realizó los análisis químicos con respecto a sus tamaños para poder identificar la distribución mayoritaria según del elemento del estaño. En primera instancia, el mineral de cabeza (previo al chancado) se analizó que los rangos de +1”, -1”+1/2”, -1/2”+3/8”, -3/8”+1/4” y -1/4”, el rango que contempla con mayor distribución del estaño está presente en -1/4” llegando a 52.53% con 29.56 % en peso. En segunda instancia, el mineral de cabeza (posterior a la molienda) se analizó en los rangos de tamaños de +48#, -48#+65#, -65#+150# y -150#, donde el rango que contempla la mayor distribución del estaño está presente en -150#, llegando a 67.19% (más del 50 %) con 48.57 % en peso. Y con el fin de determinar un valor representativo del análisis químico, se procedió a mandar una muestra que pueda representar toda la muestra, de los cuales la última muestra registro en Sn a valor de 1.10 %, el cual represento correctamente.

Diseño experimental

- Con respecto al diseño experimental, en la primera etapa se seleccionaron 3 variables independientes; agua de lado, amplitud y frecuencia de golpe, de las cuales se realizaron 8 pruebas, y posterior analizando la influencia con respecto a la variable recuperación, se llegó a la conclusión que la amplitud y la frecuencia de golpe influyen sobre la recuperación más que el agua de lavado, en base a un análisis de varianza. En la segunda etapa, se desarrolló la etapa del diseño hexagonal, donde se desarrollaron 8 pruebas para cada rango de tamaño (-48#+65#, -65#+150# y -150#), donde para cada rango de tamaño se encontró las condiciones óptimas de operación y su respectivo modelo matemático, en resumen, se puede resaltar lo siguiente parámetros: -48#+65# (amplitud de 20.4545 mm y frecuencia en 243.5000 RPM), -

65#+150# (amplitud de 17.4621 mm y frecuencia en 304.1162 RPM) y -150# (amplitud de 11.3636 mm y frecuencia en 319.1263 RPM)

Condiciones operativas

- Después de implementar los parámetros de operación en la planta de procesamiento de minerales, se observó que la ley de estaño que ingresa es de 1.10 %Sn de 30 TMD. En la primera etapa, utilizando espirales y mesas, en estas operaciones unitarias se centró en priorizar la recuperación, lo que llevó al producto obtenido en esta etapa, pase a la molienda con el fin de liberar aún más el mineral de estaño y proceder a una etapa de limpieza de Pirita (FeS_2). En la etapa de flotación, se registró una ley del mineral de cabeza (para esta etapa de flotación) de 4.57 %Sn y un peso de 4.59 TM. Los productos obtenidos de las espumas (float) y no espumas (no float) tuvieron pesos de 1.58 y 3.01 TMD, con análisis de laboratorio que determinaron que las leyes obtenidas fueron de 1.57 y 5.68 %Sn respectivamente. Posteriormente, el producto no float se dirige a las mesas gravimétricas de limpieza, enfocándose en la ley para obtener concentrados comerciables. Los resultados de este proceso fueron un concentrado de estaño con un peso de 0.07 TM/día y una ley del 73.80% Sn, y un segundo concentrado de 0.03 TM/día con una ley del 35.37% Sn. Al realizar un balance metalúrgico general, se calculó una recuperación global del 14.65%. Además, se evaluó la recuperación económica, determinando que alcanza el 17.55%. Ambas recuperaciones están muy por debajo de las condiciones operacionales esperadas, lo que indica la necesidad de revisar y ajustar los procesos para mejorar la eficiencia y la rentabilidad del proyecto.
- En base a un análisis financiero, conjuntamente con la determinación de indicadores financieros, se pudo determinar que valores calculados de la operación de concentración del mineral de Estaño de la Empresa Minera AguadeMina, son los siguientes: -835699.92 para VAN, 0.64 para B/C, -3.4 para PRC y para TIR no se pudo calcular. No estos indicadores financieros indican que no es factible su procesamiento.
- En base a estos valores (recuperación por el balance metalúrgico, recuperación económica y el análisis económico), se concluye que la operación de concentración del mineral de Estaño de la Empresa Minera AguadeMina produce concentrados comerciables, pero no es operacionalmente rentable, debido a que el sistema operacional instalada, refleja baja recuperación, aun implementada las condiciones óptimas en mesas gravimétricas. Del mismo modo, el análisis económico no muestra rentabilidad, ya que los costos operacionales son más altos que los ingresos.

En síntesis, se ha logrado alcanzar el objetivo general de determinar los parámetros óptimos para las mesas gravimétricas en la concentración del mineral de estaño (casiterita) para la Empresa Minera "AguadeMina". Estos parámetros se implementaron con éxito en la planta de procesamiento, lo que permitió la operación y la obtención de un concentrado comercial. Sin embargo, aunque se logró obtener un producto comercializable, la operación en su conjunto no resulta rentable, ya que los costos superan los ingresos generados por los productos tratados. Este hallazgo resalta la importancia de considerar no solo la eficacia técnica, sino también la viabilidad económica en proyectos de esta naturaleza.

8.2. Recomendaciones

Se recomienda realizar una serie de mejoras técnicas para mejorar la eficiencia del proceso y reducir las pérdidas asociadas. Dado que la eficiencia actual de la planta es tan baja como 14.65 %, principalmente debido a que el estaño se presenta en la mayoría en los finos, esto debido a que se encuentra liberado en partículas de menor tamaño, lo que provoca que escapen, se sugiere la implementación de equipos de concentración centrífuga, como los concentradores Knelson o Falcon. Estos equipos son conocidos por su capacidad para recuperar minerales finos de manera altamente eficiente, lo que puede resultar en una notable mejora en la recuperación del estaño y una reducción significativa de las pérdidas en las colas de la planta.

La incorporación de concentradores centrífugos en el proceso de concentración de mineral de estaño puede brindar varias ventajas clave. En primer lugar, permitirá una recuperación más efectiva de las partículas finas de estaño que actualmente se pierden durante la operación de la planta. Esto no solo aumentará el rendimiento de estaño recuperado, sino que también reducirá la pérdida de valiosos recursos minerales.

Así también basándome en la información obtenida, mi recomendación para el proyecto sería implementar un mayor número de celdas de flotación de limpieza para reducir la cantidad de finos de estaño arrastrados por las espumas. Los balances metalúrgicos por etapas han revelado leyes con contenidos de estaño. Sin embargo, para lograr una recuperación adicional, se sugiere realizar estudios adicionales en esta etapa específica del proceso de flotación. Esto permitirá optimizar más la recuperación de estaño y mejorar la eficiencia general del procesamiento de minerales en la planta.

8.3. Bibliografía

- [1] Zuazo, A. (2 de Febrero de 2017). *Cuando Bolivia vivía del estaño*. Obtenido de <https://www.facebook.com/Historiasdebolivia/posts/1900483773506066/>
- [2] Mordor Intelligence. (2022). *Mordor Intelligence*. Obtenido de <https://www.mordorintelligence.com/es/industry-reports/tin-market#faqs>
- [3] Corner, P. (27 de Enero de 2022). *¿Sabes cual sera el metal mas afectado por las nuevas teccnologias?* Obtenido de Ategi: <https://www.ategi.com/2022/01/27/sabes-cual-sera-el-metal-mas-afectado-por-las-nuevas-tecnologias/>
- [4] Trujillo Cisenardo, L. E., & Trujillo Cisenardo, D. B. (2020). *Optimizacion del proceso gravimetrico del concentrado Falcon para la recuperacion del Estaño fino a partir de relaves en la mina San Rafael*. Puno.
- [5] Red de metales no ferrosos de Shanghai. (21 de Marzo de 2019). *SMM*. Obtenido de SMM: <https://news.metal.com/newscontent/100918902/%5Bdry-information%5D-throughout-the-global-tin-ore-distribution-development-supply-situation-demand-increases-resources-limited-tin-prices-rise-for-a-long-time>
- [6] Bustamante Rúa, O., Gaviria Cartagena, A. C., & Restrepo Baena, O. J. (2007). Notas de clase de la asignatura. En *Concentracion de minerales*. Medellin: Instituto de minerales CIMEX.
- [7] Aguilar Asanza, M. F., & Corella Merizalde, J. O. (2016). *Diseño y construccion de una mesa concentradora para la optimizacion del proceso de extraccion de oro en una empresa minera de Zaruma*. Guayaquil.
- [8] Callata C., I. (2014). *Recuperacion del oro por gravimetria del mineral proveniente del distrito minero "Condominio Sur"*. Lima.
- [9] Quiroz Nuñez, I. (2017). *Gravimetria y separacion magnetica*. Lima: Editorial Universitaria de la Universidad Nacional de Ingenieria.
- [10] Gutierrez, M. I. (2010). *PROCESAMIENTO DE MINERALES*. Peru - Tacna.

[11] A. Wills, B., & A. Finch, J. (2016). *Wills' Mineral processing technology*. Elsevier.

[12] Rivera Parra, S. C. (2017). *Optimizacion de concentracion gravimetrica de oro en la mesa vibratoria de la mina "Vicentina"*. Cuenca, Ecuador.

[13] 911 Metallurgist. (4 de Agosto de 2018). *911 Metallurgist*. Obtenido de <https://www.911metallurgist.com/metalurgia/procesamiento-estano/>

ANEXOS

ANEXO I – CALCULOS ADICIONALES

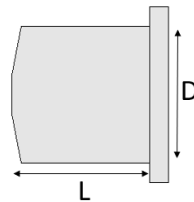
1.1. Cálculos previos para el molino de laboratorio

Para esta parte, se realizó cálculos que permitan el buen funcionamiento del molino del laboratorio, para lo cual se procederá determinar las condiciones ideales para el buen funcionamiento.

1.1.1. Volumen del molino

Para la determinación del volumen del molino, se tomó en consideración que el molino es de forma cilíndrica.

$$V_{molino} = \frac{\pi}{4} \cdot (D)^2 \cdot L \dots\dots(1)$$



Se conoce los siguientes datos:

$$D = 24 \text{ cm} ; L = 24 \text{ cm}$$

Reemplazando los valores:

$$V_{molino} = \frac{\pi}{4} \cdot (D)^2 \cdot L = \frac{\pi}{4} \cdot (24)^2 \cdot 24 = 10857.34 \text{ cm}^3$$

1.1.2. Carga de bolas en peso

Para la determinación de la carga de bolas se utilizará la siguiente expresión:

$$m_{bolas} = \frac{V_{molino} \cdot J_B \cdot \rho_{bola} \cdot \left(1 - \frac{\varepsilon}{100}\right)}{100} \dots\dots(2)$$

Antes se realizar los cálculos, se consideró los siguientes datos:

$$J = 30 \text{ Nivel de llenado de bolas (Teorico)}$$

$$\rho_{bola} = 7.75 \left(\frac{g}{cm^3} \right) \text{ (Calculado en laboratorio)}$$

$$\varepsilon = 44 \text{ Porosidad nominal (Calculado)}$$

Reemplazando los valores:

$$m_{bolas} = \frac{V_{molino} \cdot J_B \cdot \rho_{bola} \cdot \left(1 - \frac{\varepsilon}{100}\right)}{100} = \frac{10857.34 \cdot 30 \cdot 7.75 \cdot \left(1 - \frac{44}{100}\right)}{100} \dots\dots(3)$$

$$m_{bolas} = 14136.30 \text{ g} = 14.14 \text{ kg}$$

1.1.3. Carga de mineral en peso

Para la determinación de la capacidad del peso del mineral se utilizará:

$$U = \frac{f_c}{\varepsilon \cdot J} \dots\dots(4)$$

Las consideraciones teóricas que se consideró son los siguientes:

$$U = 1 \text{ Relacion mineral/bolas (Teorico)}$$

$$\varepsilon = 44.2 \text{ Porosidad (Calculado)}$$

$$J = 30 \text{ Nivel de llenado de bolas (Teorico)}$$

Reemplazando los valores:

$$f_c = U \cdot \varepsilon \cdot J = 1 \cdot \frac{44.2}{100} \cdot 30 = 13.26\%$$

Por otro lado, se utilizará otra expresión matemática para determinar el nivel de llenado del mineral:

$$m_{mineral} = \frac{V_{molino} \cdot f_c \cdot \rho_{mineral} \cdot \left(1 - \frac{\varepsilon}{100}\right)}{100} \dots\dots(5)$$

Las consideraciones que se consideró para la siguiente expresión matemática será:

$$U = 1 \text{ Relacion mineral/bolas (Teorico)}$$

$$\varepsilon = 32.8 \text{ Porosidad del mineral (Calculado)}$$

$$f_c = 13.26 \text{ Nivel de llenado del mineral (Calculado)}$$

Reemplazando todos los valores a la expresión:

$$m_{mineral} = \frac{10857.34 \cdot 13.26 \cdot 2.74 \cdot \left(1 - \frac{32.8}{100}\right)}{100}$$

$$m_{mineral} = 2650.87 \text{ g} = 2.65 \text{ kg}$$

1.1.4. Diámetro máximo de bola

Para la determinación del tamaño máximo de bolas, se toma el modelo matemático de Bond:

$$B = \left(\frac{F_{80}}{K}\right)^{\frac{1}{2}} \cdot \left(\frac{PE \cdot W_i}{\%V \cdot \sqrt{D_i}}\right)^{\frac{1}{3}} \dots\dots(6)$$

Las consideraciones teóricas que se consideró son las siguientes:

$$F_{80} = \frac{1}{4} \text{ pulg} = 6350 \text{ um}$$

$$PE = \rho_{\text{mineral}} = 2.74$$

$$W_i = 8.27 \left(\frac{Kw - h}{TM}\right) \text{ (Consideracion teorica)}$$

$$\%V = 80 \text{ (Consideracion teorica)}$$

Reemplazando los valores:

$$B = \left(\frac{6350}{350}\right)^{\frac{1}{2}} \cdot \left(\frac{2.74 \cdot 8.27}{80 \cdot \sqrt{\frac{24}{30.48}}}\right)^{\frac{1}{3}} = 2.91 \text{ pulg}$$

El resultado obtenido para el tamaño máximo de la bola es de 2.91 pulg, sin embargo, procedemos a redondear al entero inferior, ya que se trata de un molino de laboratorio y no así un molino de operación continua, por lo cual el tamaño máximo será de 2.5 pulg.

1.1.5. Distribución de carga de bolas

Para la determinación de la distribución de bolas, se toma el modelo matemático de bond:

$$F(d) = 100 \cdot \left(\frac{d}{D}\right)^{3.84} \dots\dots(7)$$

Ahora se realizará una tabla con el objetivo para determinar el número de bolas según el tamaño:

Tabla anexo 1 Distribución del tamaño de bolas para el molino de bolas

Diámetro (pulg)	F(d)	%Peso	Peso (kg)	Peso unitario (kg)	N. bolas
2.5	100.0	57.6	8.11	1.04	8
2	42.4	28.4	4.00	0.53	8
1.5	14.1	11.1	1.56	0.22	7
1	3.0	3.0	0.42	0.07	7
Total		100.0	14.09		30

A partir de este cálculo, se conoce que la cantidad de bolas es 30 unidades, de 2.5 a 1 pulg de diámetro.

1.1.6. Velocidad de operación del molino

Para la determinación de la velocidad de operación del molino, se toma los modelos matemáticos de bond:

$$V_{op} = \%V \cdot V_c \dots\dots(8)$$

$$V_c = \frac{76.6}{\sqrt{D_i}}$$

Reemplazando los valores:

$$V_c = \frac{76.6}{\sqrt{\frac{24}{30.48}}} = 86.32 \text{ RPM}$$

$$V_{op} = 0.8 \cdot 86.32 = 69.06 \text{ RPM}$$

Por otro lado, la velocidad de operación real es:

$$V_{op.real} = 39.82 \text{ RPM}$$

Realizando un cálculo para saber la % V, será:

$$V_{op.real} = \%V_{Real} \cdot V_c \dots\dots(9)$$

$$\%V_{Real} = \frac{V_{op.real}}{V_c} \cdot 100$$

Reemplazando los valores:

$$\%V_{Real} = \frac{V_{op.real}}{V_c} \cdot 100 = \frac{39.82}{86.32} * 100$$

$$\%V_{Real} = 46.12$$

1.1.7. Resultados

En base a los resultados calculados se observa que, para garantizar una buena operación de molienda, se debe contemplar los siguientes parámetros de operación:

Tabla anexo 2 Resultados de los cálculos para el molino del laboratorio

	Valor	Unidades
Velocidad de operación	69.06	RPM
Capacidad del molino	2.65	Kg
Nivel de bolas	30	%
Nivel del mineral	13.26	%
%Sólidos	65	%

Por otro lado, la nueva distribución del collar de bolas será:

Tabla anexo 3 Distribución del collar de bolas para el molino del laboratorio

Díam etro (pulg)	N. bolas
2.5	8
2	8
1.5	7
1	7
Total	30

1.2. Cinética de la molienda

Para esta parte, se realizó cálculos que permitan determinar el tiempo con respecto a la granulometría que se desea obtener para cada prueba.

1.2.1. Análisis granulométrico para cada periodo de tiempo

1.2.2. Alimentación

Tabla anexo 4 Análisis granulométrico de la alimentación

Alimentación						
Descripción	Malla	Apertura (um)	Peso (g)	Peso (%)	P.R.A.	P.P.A.
+1/4 ''	+1/4''	6350	53	2.00	2.00	98.00
-1/4'' +20#	+20	850	1904	71.85	73.85	26.15
-20# + 30#	+30	600	96	3.62	77.47	22.53
-30# + 50#	+50	300	138	5.21	82.68	17.32
-50# + 100#	+100	150	84	3.17	85.85	14.15
-100#	-100	-150	375	14.15	100.00	0.00
Total			2650	100		

Graficando los resultados:

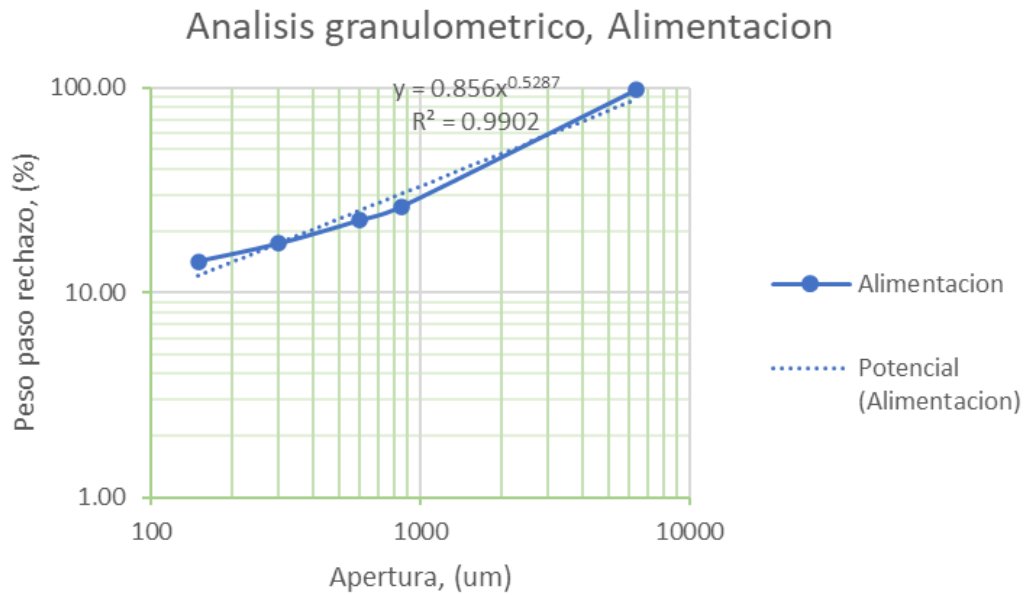


Figura anexa 1 Distribución granulométrica (G.G.S.) para la alimentación

De la regresión potencial se obtiene un modelo matemático:

$$F(x) = 0.856 \cdot x^{0.5287}$$

Ahora, se quiere conocer al 80% de su distribución, el cual reemplazando es:

$$F_{80\%} = 5336.86 \text{ um}$$

1.2.3. Molienda para 5 min

Tabla anexo 5 Análisis granulométrico de la molienda para 5 min

Molienda (5 min)						
Descripción	Malla	Apertura (um)	Peso (g)	Peso (%)	P.P. A	P.P.R.
-1/4 + 30#	+30	600	1516	57.25	57.25	42.75
-30# + 50#	+50	300	281	10.61	67.86	32.14
-50# + 100#	+100	150	181	6.84	74.70	25.30
-100#	-100	-150	670	25.30	100.00	0.00
Total			2648	100		

Graficando los resultados:

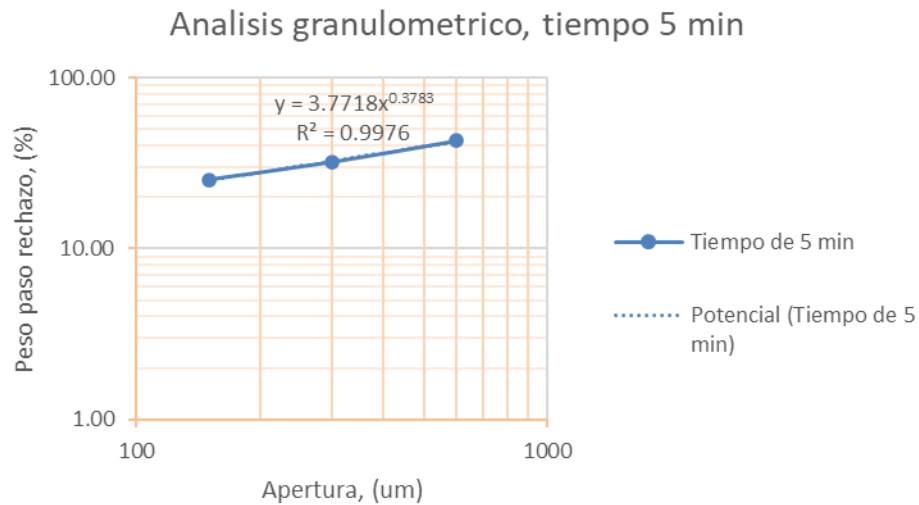


Figura anexo 2 Distribución granulométrica de (G.G.S.) para la molienda de 5 min

De la regresión potencial se obtiene un modelo matemático:

$$F(x) = 3.7718 \cdot x^{0.3783}$$

Ahora, se quiere conocer al 80% de su distribución, el cual reemplazando es:

$$F_{80\%} = 3242.05 \text{ um}$$

1.2.4. Molienda para 10 min

Tabla anexo 6 Análisis granulométrico de la molienda para 10 min

Molienda (10 min)						
Descripción	Malla	Apertura (um)	Peso (g)	Peso (%)	P.P.R.	P.P.A.
-1/4 + 30#	+30	600	1136	42.87	42.87	57.13
-30# + 50#	+50	300	365	13.77	56.64	43.36
-50# + 100#	+100	150	259	9.77	66.42	33.58
-100#	-100	-150	890	33.58	100.00	0.00
Total			2650	100		

Graficando los resultados:

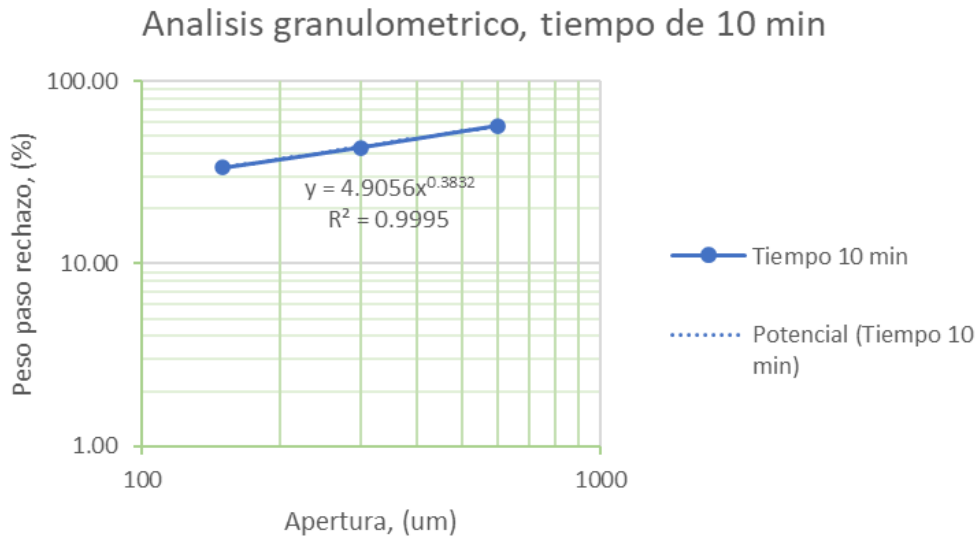


Figura anexo 3 Distribución granulométrica de (G.G.S.) para la molienda de 10 min

De la regresión potencial se obtiene un modelo matemático:

$$\log F(x) = 4.9056 \cdot x^{0.3852}$$

Ahora, se quiere conocer al 80% de su distribución, el cual reemplazando es:

$$F_{80\%} = 1404.27 \text{ um}$$

1.2.5. Molienda para 15 min

Tabla anexo 7 Análisis granulométrico de la molienda para 15 min

Molienda (15 min)						
Descripción	Malla	Apertura (um)	Peso (g)	Peso (%)	P.P.R.	P.P.A.
-1/4 + 30#	+30	600	695	26.23	26.23	73.77
-30# + 50#	+50	300	475	17.92	44.15	55.85
-50# + 100#	+100	150	354	13.36	57.51	42.49
-100#	-100	-150	1126	42.49	100.00	0.00
Total			2650	100		

Graficando los resultados:

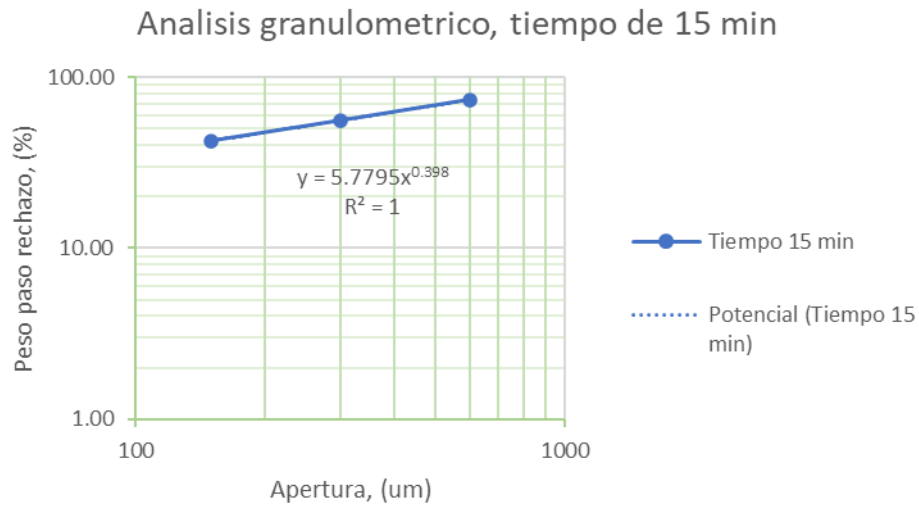


Figura anexo 4 Distribución granulométrica de (G.G.S.) para la molienda de 15 min

De la regresión potencial se obtiene un modelo matemático:

$$\log F(x) = 5.7795 \cdot x^{0.398}$$

Ahora, se quiere conocer al 80% de su distribución, el cual reemplazando es:

$$F_{80\%} = 736.78 \text{ um}$$

1.2.6. Molienda para 20 min

Tabla anexo 8 Análisis granulométrico de la molienda para 20 min

Molienda (20 min)						
Descripción	Malla	Apertura (um)	Peso (g)	Peso (%)	P.P.R.	P.P.A.
-1/4 + 30#	+30	600	419	15.81	15.81	84.19
-30# + 50#	+50	300	501	18.91	34.72	65.28
-50# + 100#	+100	150	446	16.83	51.55	48.45
-100#	-100	-150	1284	48.45	100.00	0.00
Total			2650	100		

Graficando los resultados:

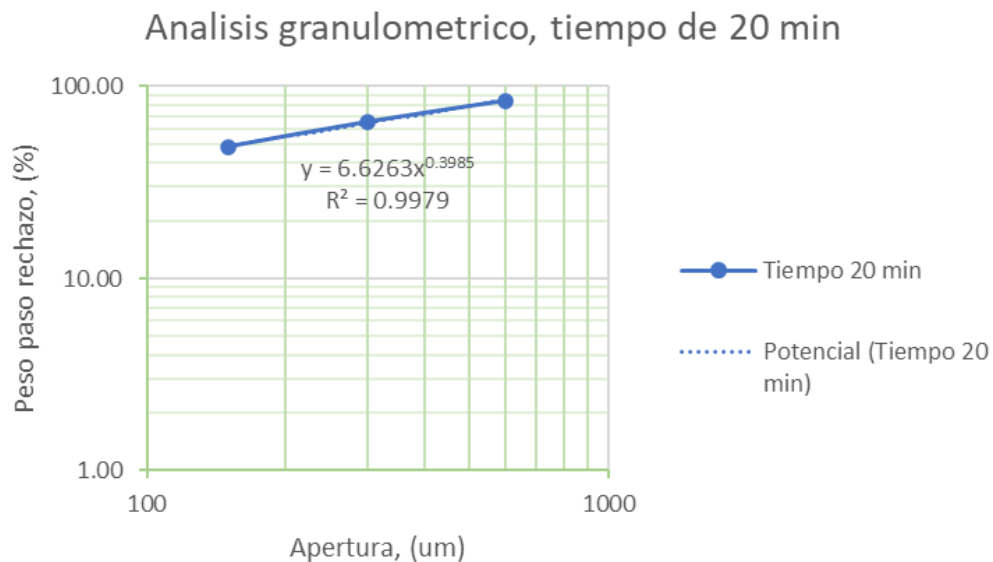


Figura anexa 5 Distribución granulométrica de (G.G.S.) para la molienda de 20 min

De la regresión lineal se obtiene un modelo matemático:

$$\log F(x) = 6.6263 \cdot x^{0.3985}$$

Ahora, se quiere conocer al 80% de su distribución, el cual reemplazando es:

$$F_{80\%} = 518.47 \text{ um}$$

1.2.6.1. Cálculo del modelo matemático

En base al tiempo de molienda y el %peso paso acumulado (80%), se puede relacionar y encontrar un modelo matemático en base a una regresión:

Tabla anexo 9 Resumen de los resultados de los 80% PPA vs tiempo

Tamaño (um)[*]	Tiempo (min)
5336.86	0
3242.05	5
1404.27	10
736.78	15
518.47	20

NOTA: El tamaño (*) descrito en la anterior tabla estable al Peso Paso Acumulado del 80%.

Graficando y realizando una regresión polinómica de segundo grado:

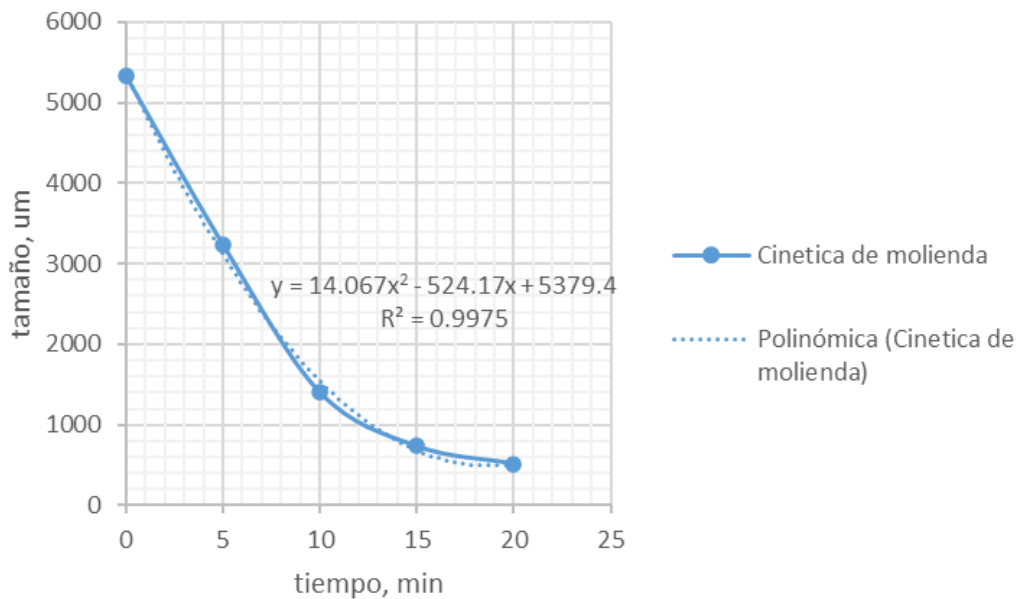


Figura anexo 6 Determinación del modelo matemático por regresión polinómica

En base a la regresión polinómica de segundo grado con un coeficiente de correlación de 0.9975 (regresión lineal excelente), se determinó la ecuación es:

$$T(um) = 14.067x^2 - 524.17x + 5379.4$$

En base a este cálculo, se puede determinar el rango de tamaño que se quiere para pruebas posteriores en mesas.

1.3. Cálculo para una operación perfecta

Para poder analizar la operación, se realizó un análisis de operación ideal, como se puede observar en la figura anexa 7 y la tabla anexa 10. Este análisis será importante para la parte del análisis económico.

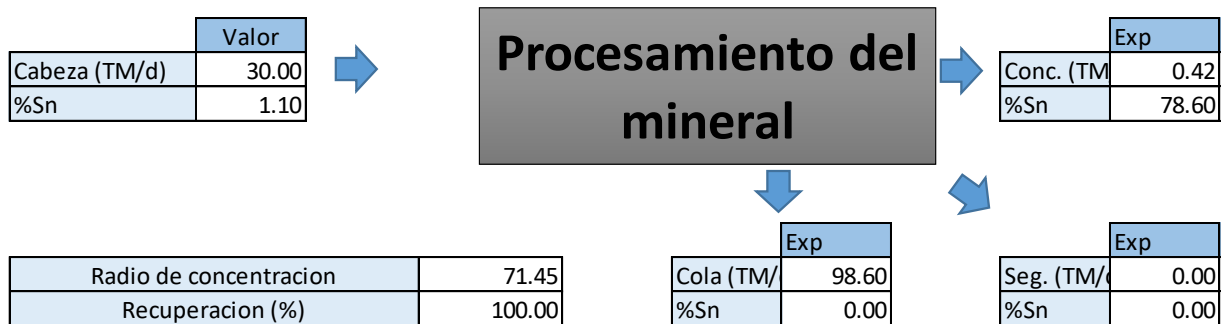


Figura anexo 7 Esquema operacional ideal

Tabla anexo 10 Balance metalúrgico global ideal

Productos	Peso (TM)	Peso (%)	Sn (%)	Finos (u)	Distribución (%)
Concentrado	0.42	1.40	78.60	110.00	100.00
Segundas	0.00	0.00	0	0.00	0.00
Relave	29.58	98.60	0	0.00	0.00
Cabeza calculada	30.00	100.00	1.10	110.00	100.00
Cabeza analizada			1.10		

Con este análisis, se puede observar que la recuperación ideal sería 100% (ya que se habla de un aspecto ideal), con una ley del 78.60% como límite máximo y se obtendría 1.40% en peso de concentrado con respecto al mineral total procesado, estos datos nos permitirán considerar para el análisis económico.

ANEXO II - DISEÑO EXPERIMENTAL FACTORIAL Y HEXAGONAL

En el presente anexo se describen todos los balances metalúrgicos elaborados en la etapa 1 (Diseño factorial - Selección de la variable significativa) y etapa 2 (Diseño hexagonal – Optimización).

2.1. Etapa 1 – Selección de la variable significativa

En primera instancia se organizará un conjunto de pruebas organizadas, como se muestra en la siguiente tabla anexo 11.

Tabla anexo 11 Conjunto de pruebas para la selección de la variable significativa

Prueba	Escala codificada			Escala real			Recuperación (%)
	A	B	C	Amplitud (mm)	Frecuencia (RPM)	Agua-lavado (lt/min)	
1	-1	-1	-1	10	240	20	21.32
2	-1	-1	1	10	240	45	20.14
3	-1	1	-1	10	340	20	27.37
4	-1	1	1	10	340	45	25.29
5	1	-1	-1	25	240	20	14.15
6	1	-1	1	25	240	45	12.99
7	1	1	-1	25	340	20	23.54
8	1	1	1	25	340	45	23.04

Desarrollando cada una de las pruebas y llevándolos en un balance metalúrgico, los resultados obtenidos son:

PRUEBAS

Tabla anexo 12 Balance metalúrgico para la prueba 1 de la selección de la variable significativa

Producto	Peso (g)	Peso (%)	% Sn	Finos	% Distribución
Concentrado	72.97	1.46	18.04	26.33	21.32
Colas	4927.03	98.54	0.99	97.16	78.68
Cabeza calculada	5000.00	100.00	1.23	123.49	100.00
Cabeza analizada			1.10		

Tabla anexo 13 Balance metalúrgico para la prueba 2 de la selección de la variable significativa

Producto	Peso (g)	Peso (%)	% Sn	Finos	% Distribución
Concentrado	76.81	1.54	15.59	23.94	20.14
Colas	4923.19	98.46	0.96	94.93	79.86
Cabeza calculada	5000.00	100.00	1.19	118.87	100.00
Cabeza analizada			1.10		

Tabla anexo 14 Balance metalúrgico para la prueba 3 de la selección de la variable significativa

Producto	Peso (g)	Peso (%)	% Sn	Finos	% Distribución
Concentrado	78.11	1.56	22.05	34.45	27.37
Colas	4921.89	98.44	0.93	91.41	72.63
Cabeza calculada	5000.00	100.00	1.26	125.85	100.00
Cabeza analizada			1.10		

Tabla anexo 15 Balance metalúrgico para la prueba 4 de la selección de la variable significativa

Producto	Peso (g)	Peso (%)	% Sn	Finos	% Distribución
Concentrado	63.06	1.26	25.24	31.83	25.29
Colas	4936.94	98.74	0.95	94.04	74.71
Cabeza calculada	5000.00	100.00	1.26	125.88	100.00
Cabeza analizada			1.10		

Tabla anexo 16 Balance metalúrgico para la prueba 5 de la selección de la variable significativa

Producto	Peso (g)	Peso (%)	% Sn	Finos	% Distribución
Concentrado	133.23	2.66	7.27	19.37	14.15
Colas	4866.77	97.34	1.21	117.52	85.85
Cabeza calculada	5000.00	100.00	1.37	136.89	100.00
Cabeza analizada			1.10		

Tabla anexo 17 Balance metalúrgico para la prueba 6 de la selección de la variable significativa

Producto	Peso (g)	Peso (%)	% Sn	Finos	% Distribución
Concentrado	129.49	2.59	6.85	17.74	12.99
Colas	4870.51	97.41	1.22	118.85	87.01
Cabeza calculada	5000.00	100.00	1.37	136.59	100.00
Cabeza analizada			1.10		

Tabla anexo 18 Balance metalúrgico para la prueba 7 de la selección de la variable significativa

Producto	Peso (g)	Peso (%)	% Sn	Finos	% Distribución
Concentrado	58.27	1.17	22.70	26.45	23.54
Colas	4941.73	98.83	0.87	85.92	76.46
Cabeza calculada	5000.00	100.00	1.12	112.37	100.00
Cabeza analizada			1.10		

Tabla anexo 19 Balance metalúrgico para la prueba 8 de la selección de la variable significativa

Producto	Peso (g)	Peso (%)	% Sn	Finos	% Distribución
Concentrado	80.95	1.62	18.31	29.64	23.04
Colas	4919.05	98.38	1.01	99.01	76.96
Cabeza calculada	5000.00	100.00	1.29	128.65	100.00
Cabeza analizada			1.10		

2.2. Etapa 2 – Diseño hexagonal

Una vez determinado las variables más influyentes sobre la operación en mesas, se procede a determinar las condiciones operacionales óptimas para cada rango de tamaño, los cuales son:

Para el rango -48#+65#

Tabla anexo 20 Conjunto de pruebas del diseño experimental hexagonal para -48#+65#

-48#+65#					
Prueba	Codificado		Escala real		Recuperación
	A	F	Amplitud (mm)	Frecuencia (RPM)	
1	1	0	25.00	265.00	13.08
2	0.5	0.86	23.13	286.50	15.47
3	-0.5	0.86	19.38	286.50	18.61
4	-1	0	17.50	265.00	18.88
5	-0.5	-0.86	19.38	243.50	24.23
6	0.5	-0.86	23.13	243.50	21.36
7	0	0	21.25	265.00	22.70
8	0	0	21.25	265.00	23.01
Amplitud 17.5-25			Frecuencia 240-290		

Tabla anexo 21 Balance metalúrgico para la prueba 1 del diseño experimental hexagonal para -48#+65#

Producto	Peso (g)	Peso (%)	% Sn	Finos	% Distribución
Concentrado	99.00	1.98	6.47	12.81	13.08
Colas	4901.00	98.02	0.87	85.19	86.92
Cabeza calculada	5000.00	100.00	0.98	98.00	100.00
Cabeza analizada			1.08		

Tabla anexo 22 Balance metalúrgico para la prueba 2 del diseño experimental hexagonal para -48#+65#

Producto	Peso (g)	Peso (%)	% Sn	Finos	% Distribución
Concentrado	107.00	2.14	8.37	17.92	15.47
Colas	4893.00	97.86	1.00	97.95	84.53
Cabeza calculada	5000.00	100.00	1.16	115.87	100.00
Cabeza analizada			1.08		

Tabla anexo 23 Balance metalúrgico para la prueba 3 del diseño experimental hexagonal para -48#+65#

Producto	Peso (g)	Peso (%)	% Sn	Finos	% Distribución
Concentrado	105.00	2.10	9.35	19.63	18.61
Colas	4895.00	97.90	0.88	85.86	81.39
Cabeza calculada	5000.00	100.00	1.05	105.49	100.00
Cabeza analizada			1.08		

Tabla anexo 24 Balance metalúrgico para la prueba 4 del diseño experimental hexagonal para -48#+65#

Producto	Peso (g)	Peso (%)	% Sn	Finos	% Distribución
Concentrado	92.00	1.84	10.21	18.79	18.88
Colas	4908.00	98.16	0.82	80.75	81.12
Cabeza calculada	5000.00	100.00	1.00	99.54	100.00
Cabeza analizada			1.08		

Tabla anexo 25 Balance metalúrgico para la prueba 5 del diseño experimental hexagonal para -48#+65#

Producto	Peso (g)	Peso (%)	% Sn	Finos	% Distribución
Concentrado	132.70	2.65	9.82	26.06	24.23
Colas	4867.30	97.35	0.84	81.46	75.77
Cabeza calculada	5000.00	100.00	1.08	107.52	100.00
Cabeza analizada			1.08		

Tabla anexo 26 Balance metalúrgico para la prueba 6 del diseño experimental hexagonal para -48#+65#

Producto	Peso (g)	Peso (%)	% Sn	Finos	% Distribución
Concentrado	139.00	2.78	9.34	25.96	21.36
Colas	4861.00	97.22	0.98	95.58	78.64
Cabeza calculada	5000.00	100.00	1.22	121.54	100.00
Cabeza analizada			1.08		

Tabla anexo 27 Balance metalúrgico para la prueba 7 del diseño experimental hexagonal para -48#+65#

Producto	Peso (g)	Peso (%)	% Sn	Finos	% Distribución
Concentrado	106.00	2.12	12.04	25.53	22.70
Colas	4894.00	97.88	0.89	86.96	77.30
Cabeza calculada	5000.00	100.00	1.12	112.49	100.00
Cabeza analizada			1.08		

Tabla anexo 28 Balance metalúrgico para la prueba 8 del diseño experimental hexagonal para -48#+65#

Producto	Peso (g)	Peso (%)	% Sn	Finos	% Distribución
Concentrado	139.00	2.78	8.17	22.72	23.01
Colas	4861.00	97.22	0.78	76.03	76.99
Cabeza calculada	5000.00	100.00	0.99	98.75	100.00
Cabeza analizada			1.08		

Para el rango -65#+150#

Tabla anexo 29 Conjunto de pruebas del diseño experimental hexagonal para -65#+150#

-65#+150#					
Prueba	Codificado		Escala real		Recuperación
	A	F	Amplitud	Frecuencia	
			(mm)	(RPM)	
1	1	0	21.25	290.00	29.67
2	0.5	0.86	19.38	311.50	31.50
3	-0.5	0.86	15.63	311.50	31.53
4	-1	0	13.75	290.00	30.03
5	-0.5	-0.86	15.63	268.50	25.92
6	0.5	-0.86	19.38	268.50	25.28
7	0	0	17.50	290.00	31.19
8	0	0	17.50	290.00	30.99
Amplitud 13.75-21.25			Frecuencia 265-315		

Tabla anexo 30 Balance metalúrgico para la prueba 1 del diseño experimental hexagonal para -65#+150#

Producto	Peso (g)	Peso (%)	% Sn	Finos	% Distribución
Concentrado	74.00	1.48	23.13	34.23	29.67
Colas	4926.00	98.52	0.82	81.17	70.33
Cabeza calculada	5000.00	100.00	1.15	115.40	100.00
Cabeza analizada			1.23		

Tabla anexo 31 Balance metalúrgico para la prueba 2 del diseño experimental hexagonal para -65#+150#

Producto	Peso (g)	Peso (%)	% Sn	Finos	% Distribución
Concentrado	92.00	1.84	19.75	36.34	31.50
Colas	4908.00	98.16	0.80	79.01	68.50
Cabeza calculada	5000.00	100.00	1.15	115.35	100.00
Cabeza analizada			1.23		

Tabla anexo 32 Balance metalúrgico para la prueba 3 del diseño experimental hexagonal para -65#+150#

Producto	Peso (g)	Peso (%)	% Sn	Finos	% Distribución
Concentrado	132.50	2.65	12.60	33.38	31.53
Colas	4867.50	97.35	0.74	72.49	68.47
Cabeza calculada	5000.00	100.00	1.06	105.87	100.00
Cabeza analizada			1.23		

Tabla anexo 33 Balance metalúrgico para la prueba 4 del diseño experimental hexagonal para -65#+150#

Producto	Peso (g)	Peso (%)	% Sn	Finos	% Distribución
Concentrado	89.00	1.78	22.85	40.68	30.03
Colas	4911.00	98.22	0.97	94.80	69.97
Cabeza calculada	5000.00	100.00	1.35	135.49	100.00
Cabeza analizada			1.23		

Tabla anexo 34 Balance metalúrgico para la prueba 5 del diseño experimental hexagonal para -65#+150#

Producto	Peso (g)	Peso (%)	% Sn	Finos	% Distribución
Concentrado	132.70	2.65	12.45	33.05	25.92
Colas	4867.30	97.35	0.97	94.47	74.08
Cabeza calculada	5000.00	100.00	1.28	127.52	100.00
Cabeza analizada			1.23		

Tabla anexo 35 Balance metalúrgico para la prueba 6 del diseño experimental hexagonal para -65#+150#

Producto	Peso (g)	Peso (%)	% Sn	Finos	% Distribución
Concentrado	122.50	2.45	11.51	28.20	25.28
Colas	4877.50	97.55	0.85	83.34	74.72
Cabeza calculada	5000.00	100.00	1.12	111.54	100.00
Cabeza analizada			1.23		

Tabla anexo 36 Balance metalúrgico para la prueba 7 del diseño experimental hexagonal para -65#+150#

Producto	Peso (g)	Peso (%)	% Sn	Finos	% Distribución
Concentrado	117.50	2.35	19.28	45.31	31.19
Colas	4882.50	97.65	1.02	99.94	68.81
Cabeza calculada	5000.00	100.00	1.45	145.25	100.00
Cabeza analizada			1.23		

Tabla anexo 37 Balance metalúrgico para la prueba 8 del diseño experimental hexagonal para -65#+150#

Producto	Peso (g)	Peso (%)	% Sn	Finos	% Distribución
Concentrado	107.00	2.14	14.30	30.61	30.99
Colas	4893.00	97.86	0.70	68.14	69.01
Cabeza calculada	5000.00	100.00	0.99	98.75	100.00
Cabeza analizada			1.23		

Para el rango -150#

Tabla anexo 38 Conjunto de pruebas del diseño experimental hexagonal para -150#

-150#					
Prueba	Codificado		Escala real		Recuperación
	A	F	Amplitud (mm)	Frecuencia (RPM)	
1	1	0	17.50	315.00	30.81
2	0.5	0.86	15.63	336.50	25.90
3	-0.5	0.86	11.88	336.50	27.25
4	-1	0	10.00	315.00	36.77
5	-0.5	-0.86	11.88	293.50	17.85
6	0.5	-0.86	15.63	293.50	17.40
7	0	0	13.75	315.00	36.85
8	0	0	13.75	315.00	35.75
Amplitud 10-17.5			Frecuencia 290-340		

Tabla anexo 39 Balance metalúrgico para la prueba 1 del diseño experimental hexagonal para -150#

Producto	Peso (g)	Peso (%)	% Sn	Finos	% Distribución
Concentrado	108.50	2.17	24.91	54.04	30.81
Colas	4891.50	97.83	1.24	121.36	69.19
Cabeza calculada	5000.00	100.00	1.75	175.40	100.00
Cabeza analizada			1.70		

Tabla anexo 40 Balance metalúrgico para la prueba 2 del diseño experimental hexagonal para -150#

Producto	Peso (g)	Peso (%)	% Sn	Finos	% Distribución
Concentrado	132.50	2.65	18.11	48.00	25.90
Colas	4867.50	97.35	1.41	137.35	74.10
Cabeza calculada	5000.00	100.00	1.85	185.35	100.00
Cabeza analizada			1.70		

Tabla anexo 41 Balance metalúrgico para la prueba 3 del diseño experimental hexagonal para -150#

Producto	Peso (g)	Peso (%)	% Sn	Finos	% Distribución
Concentrado	98.00	1.96	24.45	47.93	27.25
Colas	4902.00	98.04	1.31	127.94	72.75
Cabeza calculada	5000.00	100.00	1.76	175.87	100.00
Cabeza analizada			1.70		

Tabla anexo 42 Balance metalúrgico para la prueba 4 del diseño experimental hexagonal para -150#

Producto	Peso (g)	Peso (%)	% Sn	Finos	% Distribución
Concentrado	109.00	2.18	27.91	60.85	36.77
Colas	4891.00	97.82	1.07	104.63	63.23
Cabeza calculada	5000.00	100.00	1.65	165.49	100.00
Cabeza analizada			1.70		

Tabla anexo 43 Balance metalúrgico para la prueba 5 del diseño experimental hexagonal para -150#

Producto	Peso (g)	Peso (%)	% Sn	Finos	% Distribución
Concentrado	120.50	2.41	13.15	31.68	17.85
Colas	4879.50	97.59	1.49	145.84	82.15
Cabeza calculada	5000.00	100.00	1.78	177.52	100.00
Cabeza analizada			1.70		

Tabla anexo 44 Balance metalúrgico para la prueba 6 del diseño experimental hexagonal para -150#

Producto	Peso (g)	Peso (%)	% Sn	Finos	% Distribución
Concentrado	106.00	2.12	14.90	31.58	17.40
Colas	4894.00	97.88	1.53	149.96	82.60
Cabeza calculada	5000.00	100.00	1.82	181.54	100.00
Cabeza analizada			1.70		

Tabla anexo 45 Balance metalúrgico para la prueba 7 del diseño experimental hexagonal para -150#

Producto	Peso (g)	Peso (%)	% Sn	Finos	% Distribución
Concentrado	137.50	2.75	25.36	69.74	36.85
Colas	4862.50	97.25	1.23	119.51	63.15
Cabeza calculada	5000.00	100.00	1.89	189.25	100.00
Cabeza analizada			1.70		

Tabla anexo 46 Balance metalúrgico para la prueba 8 del diseño experimental hexagonal para -150#

Producto	Peso (g)	Peso (%)	% Sn	Finos	% Distribución
Concentrado	117.50	2.35	25.67	60.33	35.75
Colas	4882.50	97.65	1.11	108.41	64.25
Cabeza calculada	5000.00	100.00	1.69	168.75	100.00
Cabeza analizada			1.70		

ANEXO III - ESTUDIO ECONÓMICO-FINANCIERO

En el presente anexo se realizó el análisis económico o financiero para la planta de procesamiento de Estaño, con el objetivo de verificar la factibilidad. En la primera parte se evaluará la rentabilidad técnica y económica de la planta de procesamiento. Por otro lado, se realizará el análisis financiero para observar la factibilidad, para tal cometido se determinarán los ingresos, costos operativos y costos de inversión

1.1. Evaluación operativa

Como se sabe, la operación que sigue la planta es la siguiente:

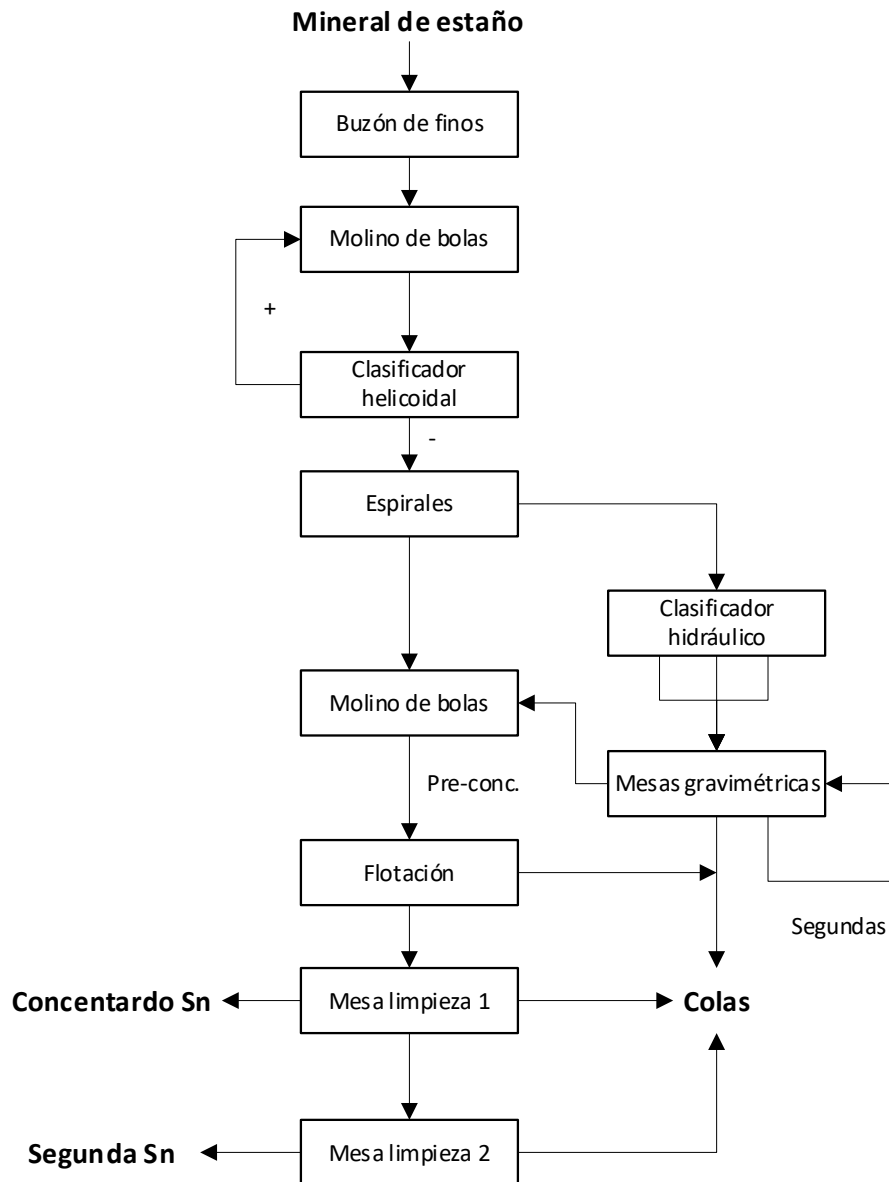


Figura Anexo 8 Flujograma en bloque del proceso de la Empresa Minera "AguadeMina"

Para poder observar de manera analítica el comportamiento del proceso se realizó un balance por etapas, como se muestra en las siguientes tablas:

Tabla Anexo 47 Balance metalúrgico por etapas, pre concentración

Productos	Peso (TM)	Peso (%)	Sn (%)	Finos (u)	Distribución (%)	Distribución TOTAL (%)
HIDROCICLON						
Underflow	24.10	80.33	0.94	0.23	68.65	68.65
Overflow	5.90	19.67	1.75	0.10	31.35	31.35
Cabeza calculada	30.00	100.00	1.10	0.33	100.00	100.00
			1.10			
ESPIRALES						
Pre conc. Espiral	2.00	8.30	2.17	0.04	19.16	13.15
Colas Espiral	22.10	91.70	0.83	0.18	80.84	55.50
Cabeza calculada	24.10	100.00	0.94	0.23	100.00	68.65
			1.00			
MESAS 1						
Pre conc. Mesa 1	0.24	4.01	5.01	0.01	22.06	3.64
Segunda Mesa 1	3.50	58.43	1.03	0.04	66.14	10.92
Colas mesa 1	2.25	37.56	0.44	0.01	11.81	1.95
Cabeza calculada	5.99	100.00	0.91	0.05	100.00	16.52
			0.84			
MESAS 2						
Pre conc. Mesa 2	0.34	4.66	2.89	0.01	15.84	2.98
Segunda Mesa 2	3.14	43.01	1.24	0.04	62.75	11.80
Colas mesa 2	3.82	52.33	0.78	0.01	21.41	4.03
Cabeza calculada	7.30	100.00	0.85	0.06	100.00	18.80
			1.08			
MESAS 3						
Pre conc. Mesa 3	0.8	9.08	4.75	0.04	42.71	11.52
Segunda Mesa 3	1.56	17.71	1.89	0.03	33.14	8.93
Colas mesa 3	6.45	73.21	0.33	0.02	24.16	6.51
Cabeza calculada	8.81	100.00	1.01	0.09	100.00	26.96
			1.20			
MESAS 4						
Pre conc. Mesa 4	1.21	8.58	7.65	0.09	44.52	28.05
Colas mesa 4	12.89	91.42	0.89	0.12	55.48	34.96
Cabeza calculada	14.10	100.00	1.47	0.21	100.00	63.01
			1.08			
FLOTACION						
Float	1.58	34.42	1.57	0.02	12.69	7.53
No float	3.01	65.58	5.68	0.17	87.31	51.81
Cabeza calculada	4.59	100.00	4.27	0.20	100.00	59.34
Cabeza analizada			4.57			

Tabla Anexo 48 Balance metalúrgico por etapas, concentración

Productos	Peso (TM)	Peso (%)	Sn (%)	Finos (u)	Distribución (%)	Distribución TOTAL (%)
MESAS LIMPIEZA 1						
Conc. Mesa L. 1	0.07	2.33	73.8	0.05	30.22	14.66
Segunda Mesa L. 1	0.25	8.31	9.54	0.02	13.95	6.77
Colas mesa L. 1	2.69	89.37	3.55	0.10	55.83	29.09
Cabeza calculada	3.01	100.00	5.68	0.17	100.00	51.81
			7.02			
MESAS LIMPIEZA 2						
Segunda Mesa L. 2	0.03	12.00	35.37	0.01	44.49	3.01
Colas mesa L. 2	0.22	88.00	6.02	0.01	55.51	3.76
Cabeza calculada	0.25	100.00	9.54	0.02	100.00	6.77
			10.1			

Una vez conocida cada uno de las etapas, se procede a realizar un balance resumen, el cual se denominará balance general.

Tabla Anexo 49 Balance metalúrgico general o resumen

Productos	Peso (TM)	Peso (%)	Sn (%)	Finos (u)	Distribución (%)
Concentrado	0.07	0.23	73.80	0.05	14.65
Segundas	0.03	0.10	35.37	0.01	3.01
Colas	29.90	99.67	0.95	0.29	82.33
Cabeza calculada	30.00	100.00	1.17	0.35	100.00
Cabeza analizada			1.10		

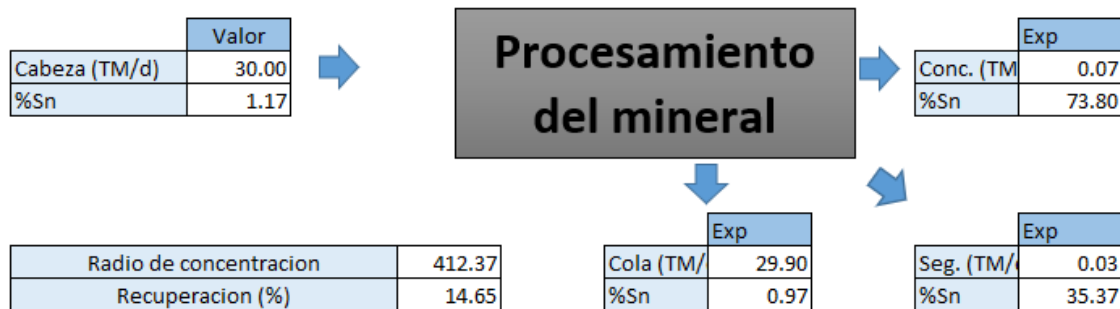


Figura Anexo 9 Esquema operacional posterior a la optimización

1.2. Análisis financiero

Para el análisis financiero, se procederá una evaluación de un periodo de 5 años, identificando los ingresos, costo de operación y costo de inversión (inversión fija y capital de trabajo).

1.2.1. Cuantificación de los ingresos

La empresa tiene las siguientes características. Para fines de cálculo, se procedió en base a un cálculo que se mantendrá como base para los cálculos posteriores.

Tabla anexo 50 Programa de producción completa del concentrado y segundo Sn

Descripción	Concentrado	Segunda
Leyes Sn (%)	73.80	35.37
Recuperación Sn (%)	14.65	3.10
Peso del Estaño producido día (TM/día)	0.07	0.03
Peso del Estaño producido día (Kg/día)	72.75	27.70
Peso neto producido por día (lb finas/día)	118.36	21.60
Peso neto producido por mes (lb finas/mes)	3550.92	648.06
Peso neto producido por año (lb finas/año)	42611.43	7776.81
Cotización (\$us/lb finas)	6.41	2.77
Valor del producto (\$us/día)	758.71	59.84
Valor del producto (\$us/mes)	22761.37	1795.13
Valor del producto (\$us/año)	273136.47	21541.56
Valor total (\$us/día)	818.55	
Valor total (\$us/mes)	24556.50	
Valor total (\$us/año)	294681.02	

Los datos mostrados en la tabla muestran cálculos dentro del primer año, contemplando la ley, recuperación, cotización y valor del producto parcial y total. Si se desarrolla los ingresos para 5 años, se obtendrá lo siguiente:

Tabla anexo 51 Programa producción detallada durante los primeros 5 años

Descripción	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Producción Sn (Lb fina)	42611.43	42611.43	42611.43	42611.43	42611.43
Precio Sn (\$us/Lb fina)	6.41	6.73	7.25	8.01	9.06
Sub total-Venta de Sn	273139.25	286966.92	309031.99	341113.49	385938.60
Producción Sn segunda (Lb fina)	7776.81	7776.81	7776.81	7776.81	7776.81
Precio Sn (\$us/Lb fina)	2.77	2.91	3.13	3.46	3.91
Sub total-Venta de Sn	21541.77	22632.33	24372.54	26902.72	30437.96
Total, ingresos	294681.02	309599.25	333404.53	368016.21	416376.57

Es importante resaltar que la cotización del Sn varía con el tiempo, esto debido a que se consideró la tasa de crecimiento anual compuesta igual a 2.5% hasta el 2027 descrita en el estudio de Mordor Intelligency (2022)^[2], afectando directamente a los precios para cada año

de operación. Del mismo modo, las cotizaciones del Sn son valores promedios registrado dentro del mercado nacional.

1.2.2. Costos generales de la planta

Los costos dentro de la planta procesadora de minerales son los siguientes:

1.1.1. Costos de Inversión fija y capital de trabajo

La inversión fija o costo de bienes físicos e intangible requeridos en el proyecto que se destinan en forma directa o indirecta a la producción. Los bienes físicos e intangibles no serán materia de transacción y quedarán incorporados (fijos) al proyecto hasta su total depreciación extinción del periodo de vida o liquidación.

En primera instancia, se tiene los costos de inversión de maquina y equipos, como se muestra en la tabla anexo 52.

Tabla anexo 52 Inversión de máquinas y equipos

Cantidad	Descripción	Precio	Unidad	Total (\$us)
		(\$us)		
1	Buzón de finos 20 TM	4000.00		4000.00
1	Correa transportadora (4 m x 19")	3000.00		3000.00
1	Molino a bolas (4' x 5')	50000.00		50000.00
1	Cajón de pulpa	500.00		500.00
1	Clasificador Akins (4.4 x 0.9 m)	9500.00		9500.00
1	Bomba de pulpa Warman (AH 2.5/2)	4000.00		4000.00
1	Hidrociclón N° 6	2000.00		2000.00
2	Espiral Duplex	8500.00		17000.00
2	Espirales simples	4000.00		8000.00
5	Cajones de pulpa/bomba vertical	3600.00		18000.00
2	Cajones de pulpa/bomba vertical	3700.00		7400.00
1	Acondicionador (4' x 3')	4500.00		4500.00
1	Batería de 4 celda Denver N° 15	10000.00		10000.00
5	Mesas Deister N°5	8000.00		40000.00
1	Clasificador columna hidráulica	3000.00		3000.00
1	Mesas Deister N°1	3900.00		3900.00
1	Bomba de agua	3500.00		3500.00
1	Bomba centrifugo AH 2.5/2	4000.00		4000.00
Sub Total inversión				192300.00
Instalación eléctrica y accesorios (7% valor del equipo y maquinaria)				13461.00
Instalación agua y accesorios varios (5% valor del equipo y maquinaria)				9615.00
Infraestructura, fundamentos, etc. (5% valor del equipo y maquinaria)				9615.00
Transporte, carguío y otros				6000.00
Total, inversión activos				230991.00
Total, inversión planta				230991.00

En la inversión realizada en equipos asciende a un total de 230991.00 \$us, donde además de contemplar los costos reales, se asumieron costos adicionales comisionándoles como imprevistos.

Por otro lado, se tiene los costos de inversión de equipos para servicios y talleres, como se muestra en la tabla anexo 53.

Tabla anexo 53 Inversión de equipos para servicios y talleres

Cantidad	Unidad	Descripción	Importe total (\$us)
Taller de mecánica			
Global	Pzs	Equipo de soldadura arco	2000.00
Global	Pzs	Tecla, taladros, amoladoras, presa, etc.	2500.00
Global	Pzs	Herramientas para el taller de mecánica	1000.00
Global	Pzs	Herramientas para el taller eléctrico	500.00
Global	Pzs	Herramientas adicionales	1000.00
Total, inversión taller			7000.00

Por parte del costo de inversión de equipos para servicios y talleres, el valor calculado es de 7000 \$us, esto enfocado para el taller de mecánica.

Así mismo se sabe que todos los equipos y maquinas estarán bajo una estructura previamente construida, el cual se puede observar en la siguiente tabla anexo 54:

Tabla anexo 54 Inversión de infraestructura

Cantidad	Unidad	Descripción	Importe total (\$us)
300	m2	Terraceo y construcción de la estructura	10000
500	m2	Construcción del dique de colas	12000
Global	Unidad	Instalación eléctrica	2500
Total, inversión infraestructura			24500

El valor calculado para el costo de inversión de la infraestructura alcanza un valor de 24500 \$us.

Y finalmente, el capital de operación es necesario para hacer que una planta inicie su operación inmediatamente después de haber sido construida. Este capital se emplea para adquirir los insumos que se utilizan para iniciar la operación, pagar las plantillas, etc., los valores calculados se muestran en la tabla anexo 52.

Tabla anexo 55 Capital de operación

Item	Descripción	Total (\$us/me	% Costo
1	Mano de obra directa	4520.00	11.20
2	Mano de obra indirecta	1550.00	3.84
3	Materia prima mineral	21600.00	53.54
4	Materiales e insumos	6383.33	15.82
5	Mantenimiento, accesorios y repuestos	791.67	1.96
6	Gastos generales	5500.00	13.63
Total, capital de operación		40345.00	100.00

El valor calculado para el capital de operación, alcanza un valor de 40345 \$us.

Resumiendo todo los costos de inversión y el capital de operación, se puede observar en la tabla anexa 53.

Tabla anexo 56 Resumen de los costos de inversión y capital de trabajo

Ítem	Descripción	Importe total (\$us)	% inversión
A	Inversión fija	262491.00	86.68
1	Inversión planta	230991.00	76.28
2	Inversión taller	7000.00	2.31
3	Inversión infraestructura	24500.00	8.09
B	Capital de trabajo	40345.00	13.32
TOTAL COSTO INVERSION		302836.00	100.00

En base a estos valores, se observa que el costo de inversión total alcanza un valor de 271336.00 \$us, esto será de denotado como el periodo 0 para la etapa de análisis financiero.

Es importe describir que los equipos con el transcurso del tiempo se devalúan de su valor inicial, tal valor influye también en el análisis financiero, por esa razón se procederá a realizar el cálculo correspondiente, se muestra en la tabla anexa 54.

Tabla anexo 57 Depreciación anual de los equipos

Concepto	1 año	2 año	3 año	4 año	5 año	Deprecación acumulada	Valor de salvamento
Maquinaria y equipo de concentración	48508.11	48508.11	48508.11	48508.11	48508.11	242540.55	0.00
Equipos para servicios	3675.00	3675.00	0.00	0.00	0.00	7350.00	0.00
Infraestructura en general	2572.50	2572.50	2572.50	2572.50	2572.50	12862.50	12862.50
Total	54755.61	54755.61	51080.61	51080.61	51080.61	262753.05	12862.50

1.2.3. Costos de operación

Los costos de operación o producción son aquellos en los que se incurren en forma directa o indirecta en la planta de procesamiento.

Como primer punto se tiene los costos de mano de obra directa, donde está incluido los operadores y el supervisor de operación, como se muestra en la tabla anexo 58.

Tabla anexo 58 Costo de mano de obra directa

Cargos	Nº personal	Salarios		
		Salario (\$us/mes)	Planilla (\$us/mes)	Total (\$us/año)
Responsable molino	3	600.00	1800.00	21600.00
Responsable mesas-flotación	3	600.00	1800.00	21600.00
Personal apoyo	1	120.00	120.00	1440.00
Supervisor	1	800.00	800.00	9600.00
TOTAL	8	2120.00	4520.00	54240.00

El total de contratación por parte de la planta es de 8, y el valor de salarios total es de 4520 \$us mensual y el anual es de 54240 \$us.

Como segundo punto se tiene los costos de mano de obra indirecta, como ser el mecánico industrial, eléctrico, y uno que otro ayudante.

Tabla anexo 59 Costo de mano de obra indirecta

Cargos	N° personal	Salarios		
		Salario (\$us/mes)	Planilla (\$us/mes)	Total (\$us/año)
Taller				
Técnico mecánico industrial	1	600.00	600.00	7200.00
Técnico eléctrico	1	600.00	600.00	7200.00
Ayudantas varias	1	350.00	350.00	4200.00
TOTAL	2	1550.00	1550.00	18600.00

El valor calculo total suma un valor de 1550 \$us mensual, asumiendo que este valor será constante para cada mes, el valor anual será de 18600 \$us.

En el tercer punto se contempla el costo de la materia prima proveniente de la explotación y el transporte hasta la planta procesadora, como se muestra en la tabla anexa 60.

Tabla anexo 60 Costo de la materia prima

Descripción	Cantidad (TM/Mes)	Precio Unit. (\$us/TM)	Valor total (\$us/año)
Costo explotación y transporte	900	24	259200.00
Total			259200.00

Como se observa, el costo de operación minera suma un total para la explotación y transporte de 24 \$us/Tm mineral explotado, dando un total anual para 30 TMD para la planta de 259200 \$us.

En el punto cuarto se tiene los costos de materiales e insumos, donde se muestra los gastos de los repuestos, insumos químicos, soleras, equipos de protección para el operador, etc., como se muestra en la tabla anexo 61.

Tabla anexo 61 Costo materiales e insumos

Descripción	Unidad	Consumo anual	Precio unitario (\$us)	Valor total (\$us/año)
Planta				
Solera para molino	Jgos	2	8500.00	17000.00
Bolas para molino	TM	10	1600.00	16000.00
Impulsores	Jgos	10	1000.00	10000.00
Gomas para correas	m	20	60.00	1200.00
Difusor para el acondicionador	Jgos	2	900.00	1800.00
Z-11 (Colector)	TM	1	1300.00	1300.00
Mibc (Espumante)	Lts	150	12.00	1800.00
Botas, overol, cascos, etc.	Global			3000.00
Correas	Unidad	16	50.00	800.00
Motores trifásicos	Unidad	6	3500.00	21000.00
Sub total				73900.00
Herramientas menores				
Carretillas, palas, escobas, etc.	Global			1200.00
Varios	Global			1500.00
Sub total				2700.00
Total				76600.00

Para el buen funcionamiento de los equipos se requerirá un conjunto repuesto y del mismo modo insumos para la operación, el valor calculado total suma un total de 76600 \$us anuales, el cual está asumiendo todos los materias e insumos necesarios.

Como punto quinto se tiene los costos de mantenimiento, los cuales se muestran en la tabla anexa 62.

Tabla anexo 62 Costo mantenimiento, accesorios y repuestos

Ítem	Descripción	Unidad/cantidad	Valor total (\$us/año)
1	Concentración	Global	8000.00
2	Taller	Global	1500.00
TOTAL			9500.00

Para la función de la planta se requerirá reparaciones externas, revisión eléctrica, cambio de motores, etc., el costo suma un total de 9500 \$us anuales, de los cuales esto están incluido como mantenimiento, accesorios y repuestos.

Tabla anexo 63 Costo general administrativo

Ítem	Descripción	Unidad/cantidad	Valor total (\$us/año)
1	Materiales administrativos	Global	1000.00
2	Gastos administrativos	Global	3000.00
3	Servicios profesionales	Global	60000.00
4	Sociales	Global	1000.00
5	Otros	Global	1000.00
TOTAL			66000.00

Para la parte administrativa, como unidad de registro y el control económico, legal y jurídico también tiene su costo. Así mismo, costos de laboratorio químico, transporte de carga en la planta, eventos recreacionales para los trabajadores, etc., el total se suma un valor de 66000 \$us anual.

Finalmente, resumiendo todos los costos se obtendrá la siguiente tabla anexa 64.

Tabla anexo 64 Resumen de todos los costó de operación

Ítem	Concepto	Valor total (\$us/año)	% costos
1	Mano de obra directa	54240.00	11.20
2	Mano de obra indirecta	18600.00	3.84
3	Materia prima mineral	259200.00	53.54
4	Materiales e insumos	76600.00	15.82
5	Mantenimiento, accesorios, etc	9500.00	1.96
6	General administrativo	66000.00	13.63
Total, costos de tratamiento		484140.00	100.00
Costo (\$us/TM procesada)		1344.83	

En esta tabla, se puedo observar que el costo con valor es de la materia prima, llegando a ser 53.54% del total del costo de operación. El valor total calculado es de 484140 \$us anuales, de los cuales, si se relaciona con la capacidad anual, el valor calculado será de 1344.83 \$us por cada 1 TM procesada.

1.2.4. Evaluación económica

Conociendo todos los ingresos, costos de operación y costos de inversión fija, se procederá a realizar un análisis financiero para un periodo de 5 años, como se muestra en la tabla anexa 62.

Tabla anexo 65 Flujo de cada proyectada

Concepto	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Ingresos		285840.59	300311.27	323402.39	356975.73	403885.27
Ventas		294681.02	309599.247	333404.527	368016.214	416376.567
Impuestos IT (3%)		8840.43	9287.98	10002.14	11040.49	12491.30
Costos producción		484140.00	484140.00	484140.00	484140.00	484140.00
Costo de tratamiento		484140.00	484140.00	484140.00	484140.00	484140.00
Depreciación		46198.20	46198.20	46198.20	46198.20	46198.20
Utilidad antes de impuestos		-244497.61	-230026.93	-206935.81	-173362.47	-126452.93
Imp. a util. emp. -IUE (25%)		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Utilidad después de impuestos		-244497.61	-230026.93	-206935.81	-173362.47	-126452.93
Depreciación		46198.20	46198.20	46198.20	46198.20	46198.20
Inversión fija	262491.00					
Capital de trabajo	40345.00					
Valor salvamento						0.00
Flujo de caja proyectada	-302836.00	-198299.41	-183828.73	-160737.61	-127164.27	-80254.73

Una vez realizada el análisis financiero se procede calcular los indicadores financieros; VAN, TIR, B/C y PRC, para dar conclusiones en base a estos indicadores, como se muestra en las tablas anexas siguientes:

a. CALCULO DEL VAN

Tabla anexo 66 Calculo de valor actual neto (VAN)

Año	Flujo de caja (\$us)	Valor presente (\$us)
0	-302836.00	-271336.00
1	-198299.41	-177053.04
2	-183828.73	-146547.14
3	-160737.61	-114409.86
4	-127164.27	-80815.19
5	-80254.73	-45538.69
VAN	-1021620.75	-835699.92

Tasa descuento	12.00%
----------------	--------

Como se observa en la tabla anexo, el flujo de caja está representado por valores negativos, aun incluyendo la tasa de descuento del 12%.

b. CALCULO DEL TIR

Tabla anexo 67 Calculo de la tasa interna de retorno (TIR)

Año	Flujo de caja (\$us)
0	-302836.00
1	-198299.41
2	-183828.73
3	-160737.61
4	-127164.27
5	-80254.73
TIR	No calculado

Previo antes de calcular la Tasa Interna de Retorno, se observa que el flujo de caja son valores negativos, por lo tanto, no es posible calcular TIR.

c. CALCULO DEL B/C

Tabla anexo 68 Calculo del beneficio costo (B/C)

Año	Ingresos (\$us)	Costos
0		302836.00
1	285840.59	484140.00
2	300311.27	484140.00
3	323402.39	484140.00
4	356975.73	484140.00
5	403885.27	484140.00
Total	1670415.25	2420700.00
B/C	0.69	

Como se observa los ingresos son menores que los costos, se llega a la conclusión que el costo beneficio es de 0.69 lo cual se observa que no es factible.

d. CALCULO DEL PRC

Tabla anexo 69 Calculo del periodo de recuperación del capital

Año	Ingresos (\$us)	Costos
0	-302836.00	0
1	-198299.41	-198299.41
2	-183828.73	-382128.14
3	-160737.61	-542865.75
4	-127164.27	-670030.02
5	-80254.73	
Años	-3.40	

Al momento de calcular el Periodo de Recuperación del Capital, se observa que los ingresos obtenidos no superan los costos de inversión, por lo cual se llega a la conclusión que no es factible.

Resumiendo, todos los indicadores financieros, se observar que cada uno de los indicadores calculados anteriormente, muestran valores negativos, excepto B/C (beneficio costo), llegando a la conclusión de que cada indicador describe que no es factible la operación de la planta de concentración del mineral de Sn de la Empresa Minera "AguadeMina".

ANEXO IV

Dentro de este anexo se describe todos los ejemplares de los resultados obtenidos de los laboratorios.

4.1. CARACTERIZACION MINERALOGICA, FISICA Y QUIMICA

4.1.1. Caracterización mineralógica

En primera instancia se procedió a la técnica de Fluorescencia de Rayos X, los espectros registrados se muestran en las figuras anexas.

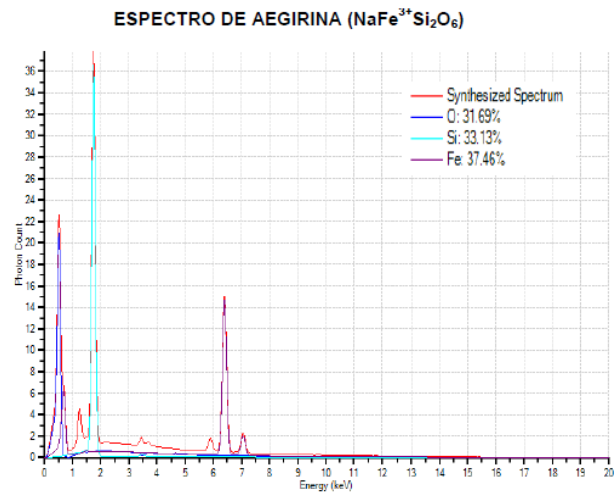


Figura anexo 10 Espectro de Aegirina, reproducida de ICMM

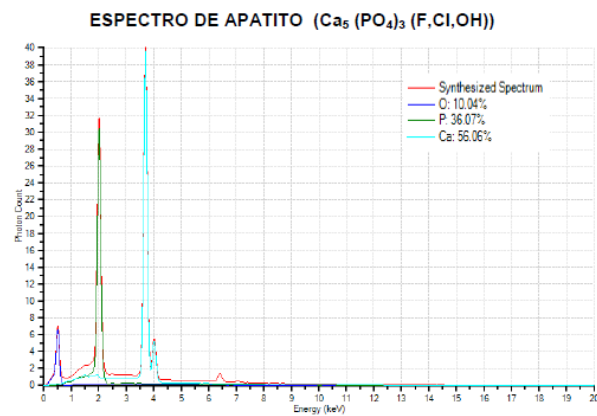


Figura anexo 11 Espectro de Apatito, reproducida de ICMM

ESPECTRO DE BARITINA (BaSO_4)

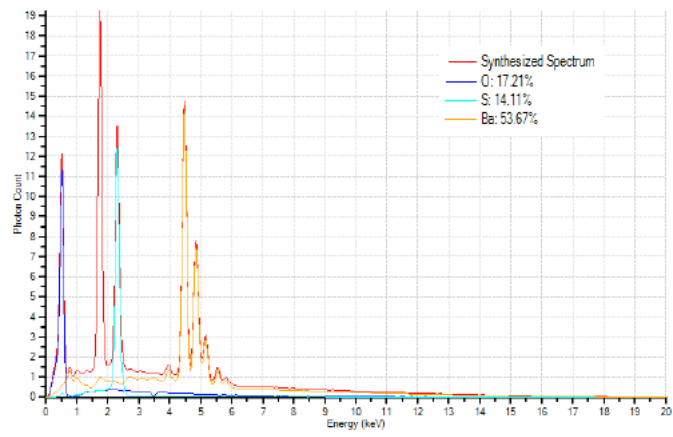


Figura anexo 12 Espectro de Baritina, reproducida de ICMM

ESPECTRO DE CALCOPIRITA (CuFeS_2)

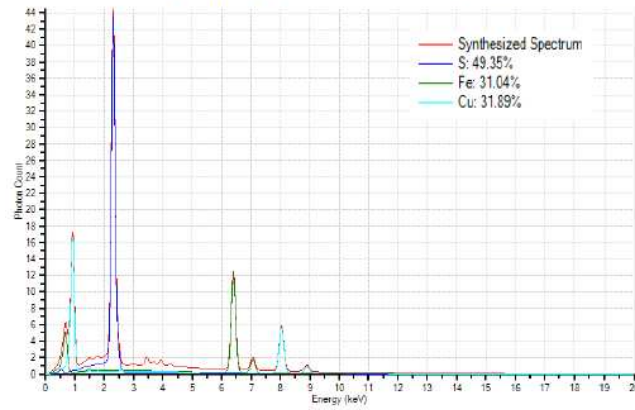


Figura anexo 13 Espectro de calcopirita, reproducida de ICMM

ESPECTRO DE CASITERITA (SnO_2)

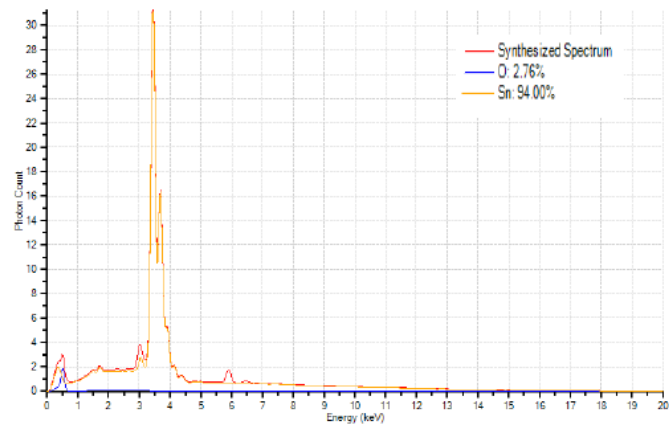


Figura anexo 14 Espectro de Casiterita, reproducida de ICMM

ESPECTRO DE ESFALERITA (ZnS)

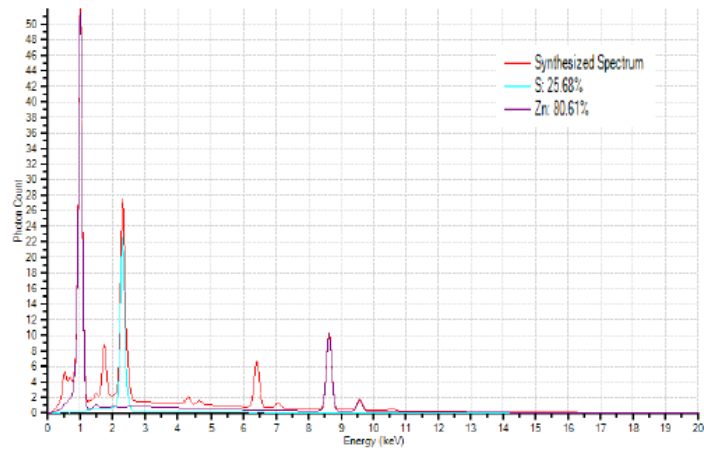


Figura anexo 15 Espectro de Esfalerita, reproducida de ICMM

ESPECTRO DE GALENA (PbS)

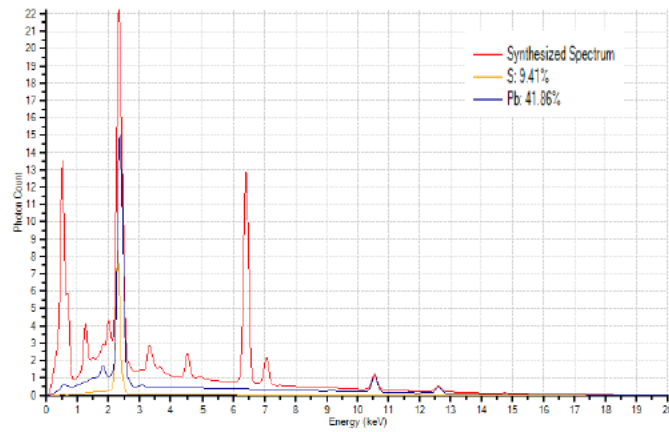


Figura anexo 16 Espectro de Galena, Reproducida de ICMM

ESPECTRO DE GOETHITA FeO₂H

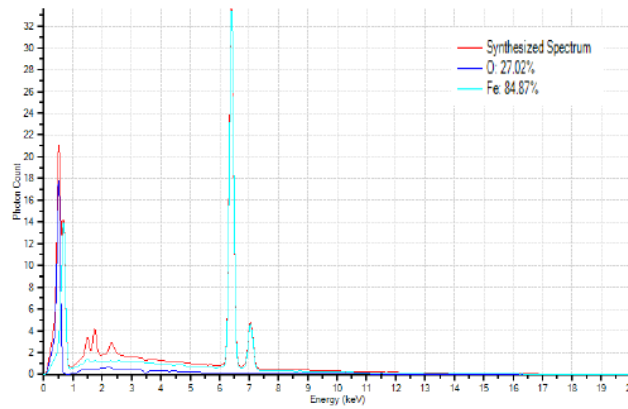


Figura anexo 17 Espectro de Goetita, reproducida de ICMM

ESPECTRO DE HEMATITA (Fe_2O_3)

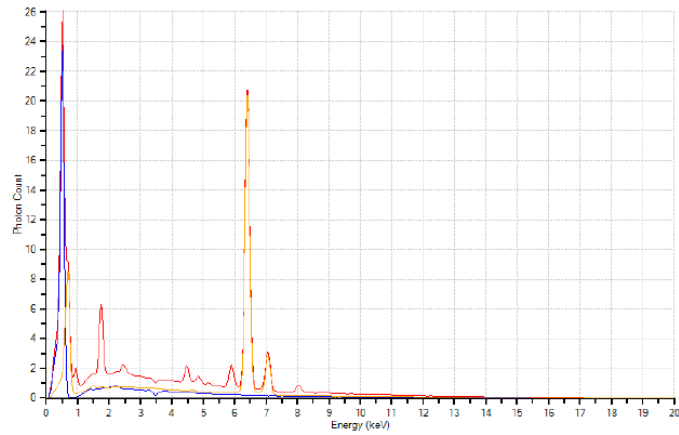


Figura anexo 18 Espectro de Hematita, reproducida de ICMM

ESPECTRO DE ILMENITA ($\text{Fe}^{2+}\text{Ti}^{4+}\text{O}_3$)

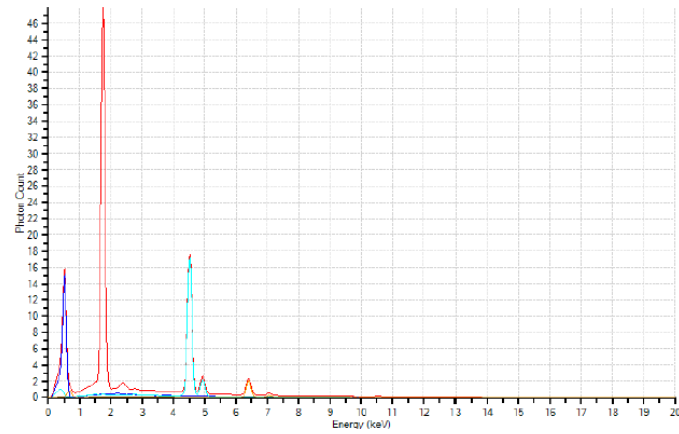


Figura anexo 19 Espectro de Ilmenita, reproducida de ICMM

ESPECTRO DE ORTOCHAMOSITA ($(\text{Fe}^{2+}, \text{Mg}, \text{Fe}^{3+})_5\text{Al}(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH}, \text{O})_8$)

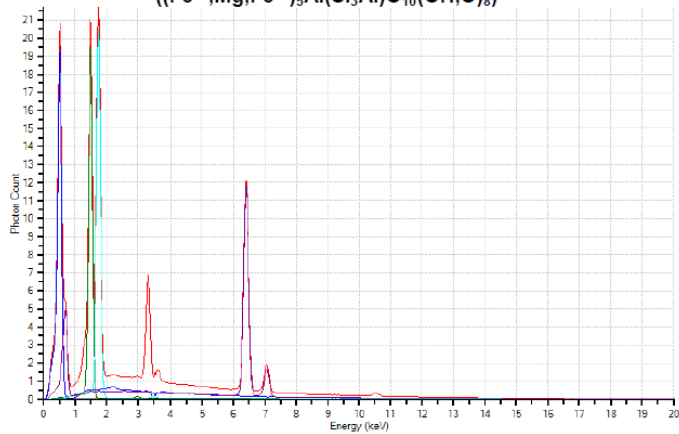


Figura anexo 20 Espectro de la Chamosita, reproducida de ICMM

ESPECTRO DE ORTOCLASA (KAlSi₃O₈)

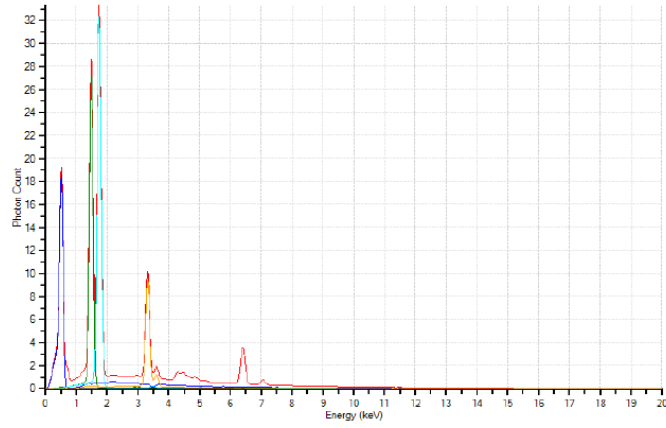


Figura anexo 21 Espectro de ortoclasa, reproducida de ICMM

ESPECTRO DE PIRITA (FeS₂)

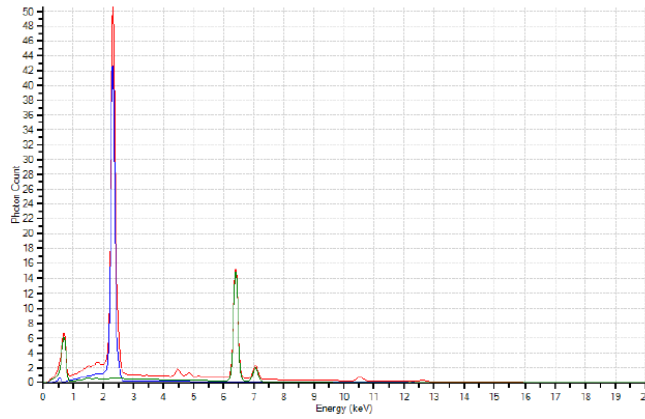


Figura anexo 22 Espectro de Pirita, reproducida de ICMM

ESPECTRO DE RUTILO (TiO₂)

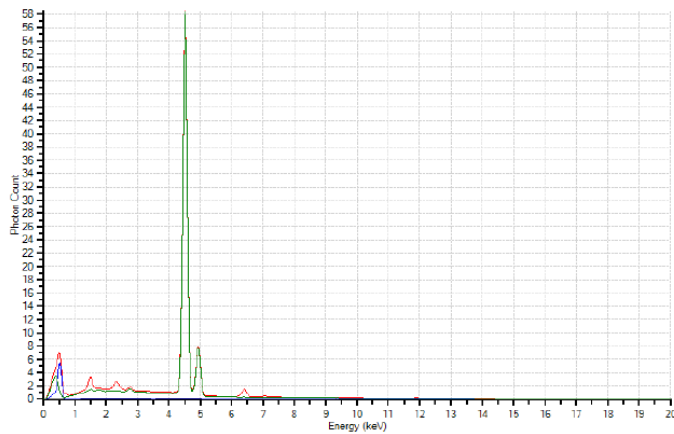


Figura anexo 23 Espectro de Rutilo, reproducida de ICMM

ESPECTRO DE VALENTINITA (Sb_2O_3)

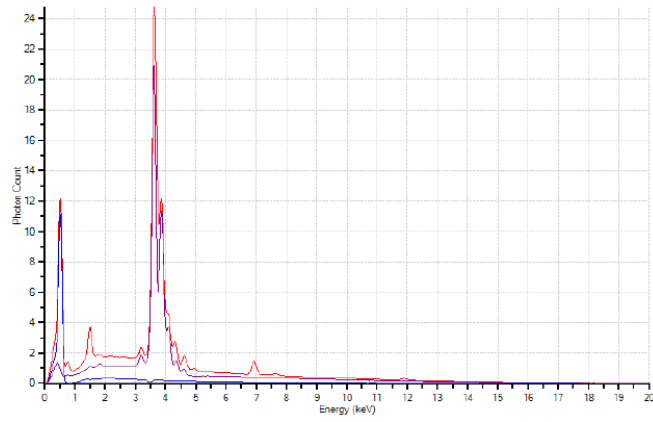


Figura anexo 24 Espectro de Valentinita, reproducida de ICMM

ESPECTRO DE CINCITA (ZnO)

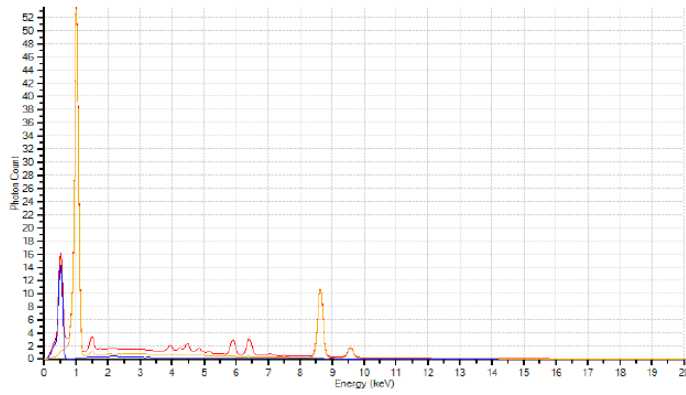


Figura anexo 25 Espectro de Cincita, reproducida de ICMM

ESPECTRO DE ESFALERITA (ZnS) + Ag

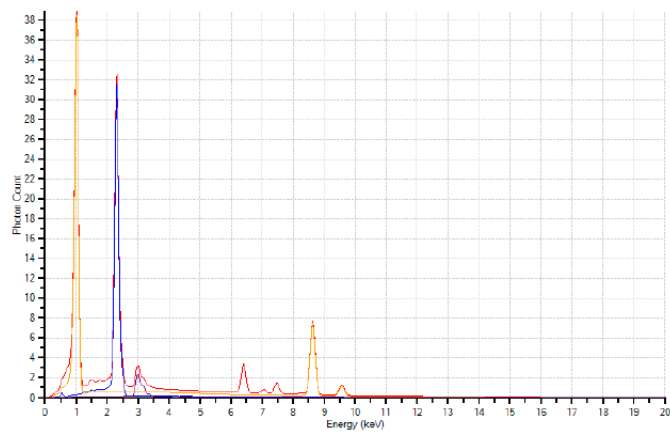


Figura anexo 26 Espectro de Esfalerita, reproducida de ICMM

4.1.2. Caracterización física

4.1.2.1. Análisis granulométrico

Para esta parte, es importante identificar los tamaños presentes en el mineral tomados como muestra representativa. Para eso, se utilizará la función de distribución de Gates-Gaudin-Shumann, el cual está establecido por el siguiente modelo matemático:

$$F(x) = 100 \cdot \left(\frac{x}{x_{max}}\right)^a \dots\dots(1)$$

Donde:

$F(x)$ = Peso paso acumulado (%)

x = Tamaño de partícula (um)

x_{max} = Tamaño máximo de partícula (um)

a = Módulo de distribución

Para que facilitar el cálculo de los coeficientes, existe alternativas para obtener la distribución por una regresión lineal en base logarítmica o una regresión potencial en base al modelo, como se muestra continuación:

Regresión lineal	$\log F(x) = \log\left(\frac{100}{x^a}\right) + a \cdot \log x$
	$\begin{matrix} \uparrow & & \uparrow \\ Y & & X \end{matrix}$
Regresión potencial	$F(x) = \left(\frac{100}{x_{max}^a}\right) \cdot x^a$
	$\begin{matrix} \uparrow & & \uparrow \\ Y & & X \end{matrix}$

Conociendo es aspecto teórico, se realizó un análisis granulométrico a la muestra proveniente de la mina, como se muestra en la figura anexo 25, y los resultados se pueden observar en la tabla anexo 67.

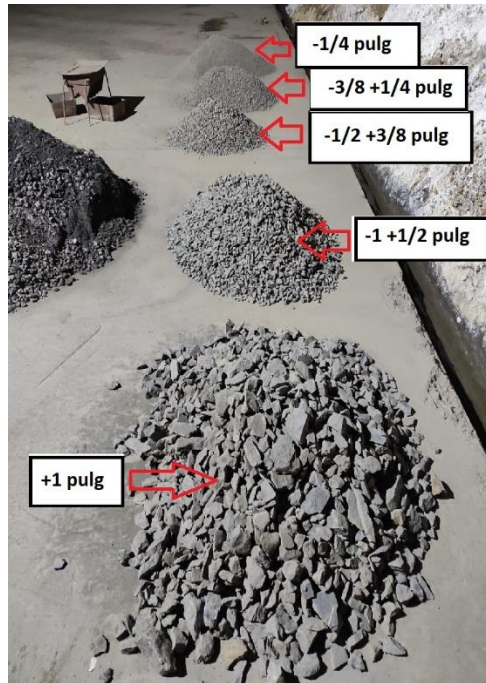


Figura anexo 27 Distribución de rangos de tamaños del mineral de la Mina “Salvadora-racacha”

Tabla anexo 70 Distribución granulométrica del mineral proveniente de la mina “Salvadora-racacha”

Rango	Tamiz	Abertura (um)	Peso (Kg)	% Peso	%PRA	%PPA
+1"	1''	25400	269.0	26.46	26.46	73.54
-1" + 1/2"	1/2 ''	12700	194.5	19.13	45.60	54.40
-1/2" +3/8"	3/8 ''	9525	97.5	9.59	55.19	44.81
-3/8" +1/4"	1/4 ''	6350	155.0	15.25	70.44	29.56
-1/4" + 20#	10# (*)	2000(*)	144.8	14.24	84.68	15.32
-20# + 30#	30# (*)	600(*)	62.3	6.13	90.81	9.19
-30# + 50#	50# (*)	300(*)	39.2	3.86	94.67	5.33
-50# + 100#	100# (*)	150(*)	18.6	1.83	96.50	3.50
-100#	-100# (*)	-150(*)	35.6	3.50	100.00	
		Total	1016.5	100.00		

Nota: La apertura acompañada “(*)”, con hace referencia a que, para el rango de tamaño, donde se realizó un análisis granulométrico en húmedo para una muestra de 5 kg representativa, para facilitar calculo, ya que realizar para 300.5 kg no era muy aconsejable.

Si se grafica el tamaño vs %PRA, se puede observar en la figura anexo 26.

Distribucion granulometrica

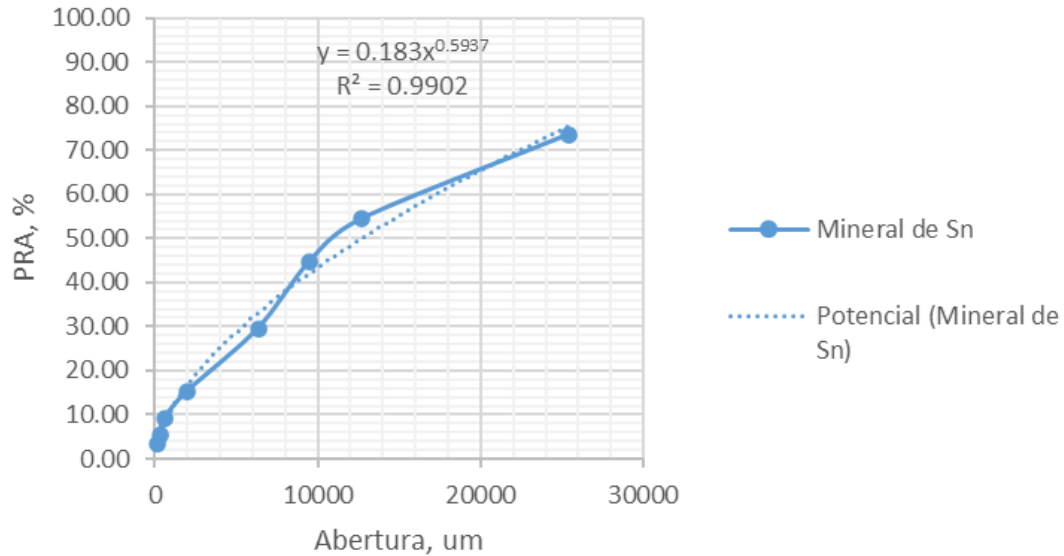


Figura anexo 28 Análisis granulométrico de la muestra proveniente de la Mina

Si a partir de los datos, se puede realizar una regresión potencial que correlacione matemáticamente, con una constante de correlación de 99.15%, el cual lo hace muy considerable, la expresión matemática es:

$$F(x) = 0.1824 \cdot x^{0.5945}$$

Ahora se procede calcular la apertura del 80 % PRA, el cual es:

$$x_{80\%} = 28299.23 \text{ um} = 28.30 \text{ mm}$$

4.1.2.2. Grado de liberación

Para el grado de liberación, se procedió a la cuantificación de la magnitud en que la molienda es capaz de obtener partículas libres, por medio de la técnica del microscopio electrónico. Los resultados obtenidos son:

PARA LA CASITERITA



Figura anexo 29 Grado de liberación de la casiterita (SnO₂) asociada al cuarzo (SiO₂), elaborada por ICMM

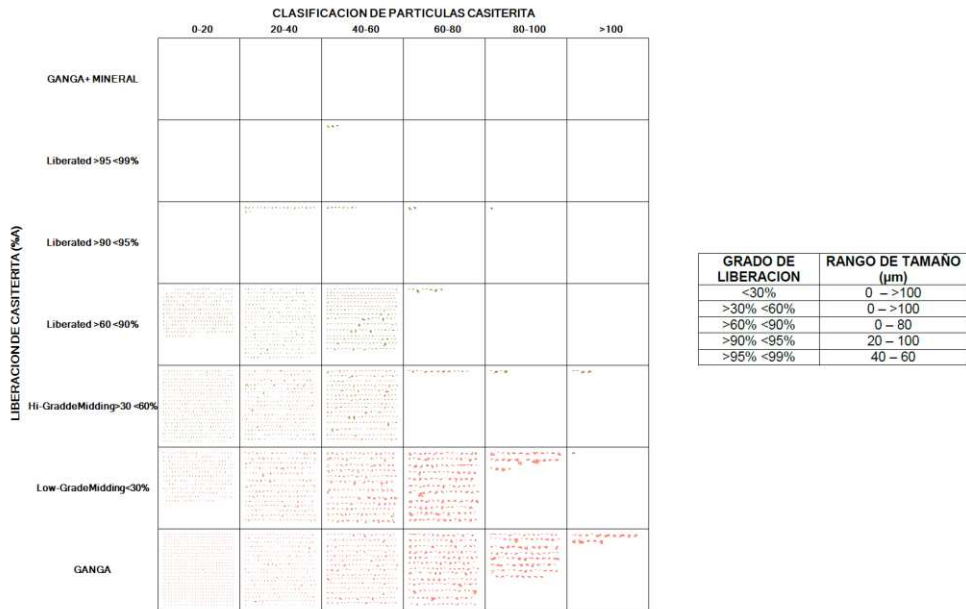


Figura anexo 30 Grado de liberación de la casiterita (SnO₂) asociada a la hematita (Fe₂O₃), elaborada por ICMM

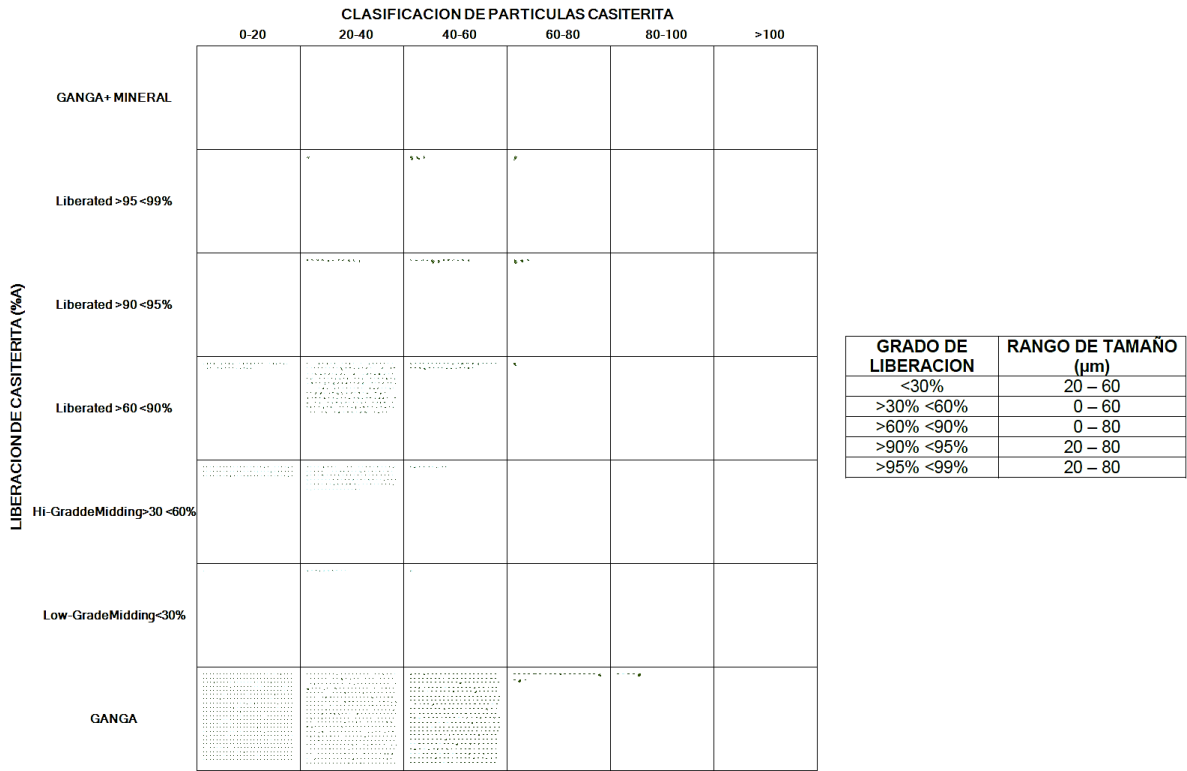
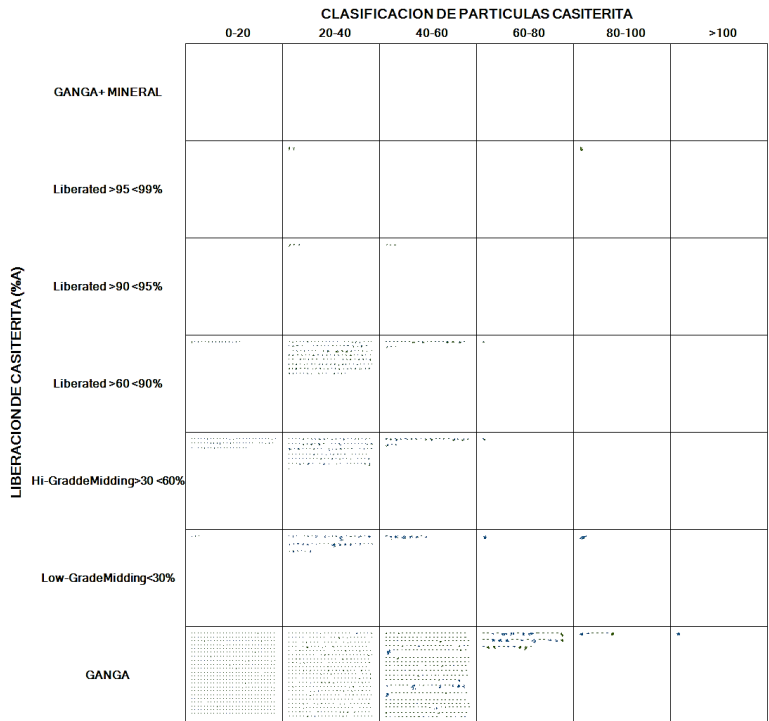
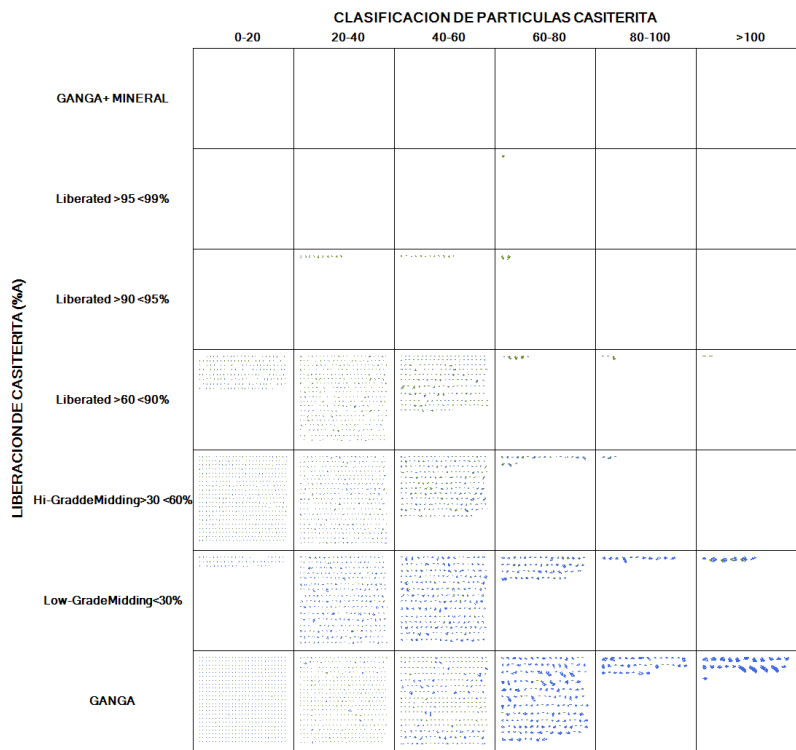


Figura anexo 31 Grado de liberación de la casiterita (SnO₂) asociada a la oligoclasa (NaCa)(SiAl)₄O₈, elaborada por ICMM



GRADO DE LIBERACION	RANGO DE TAMAÑO (µm)
<30%	0 – 100
>30% <60%	0 – 80
>60% <90%	0 – 80
>90% <95%	20 – 60
>95% <99%	20 – 100

Figura anexo 32 Grado de liberación de la casiterita (SnO₂) asociada a la ortoclasa (KAlSi₃O₈), elaborada por ICMM



GRADO DE LIBERACION	RANGO DE TAMAÑO (µm)
<30%	0 – >100
>30% <60%	0 – 100
>60% <90%	0 – >100
>90% <95%	20 – 80
>95% <99%	60 – 80

Figura anexo 33 Grado de liberación de la casiterita (SnO₂) asociada a la chamosita ((Fe²⁺MgFe³⁺)₅Al(AlSi₃O₁₀)(OH, O)₈), elaborada por ICMM

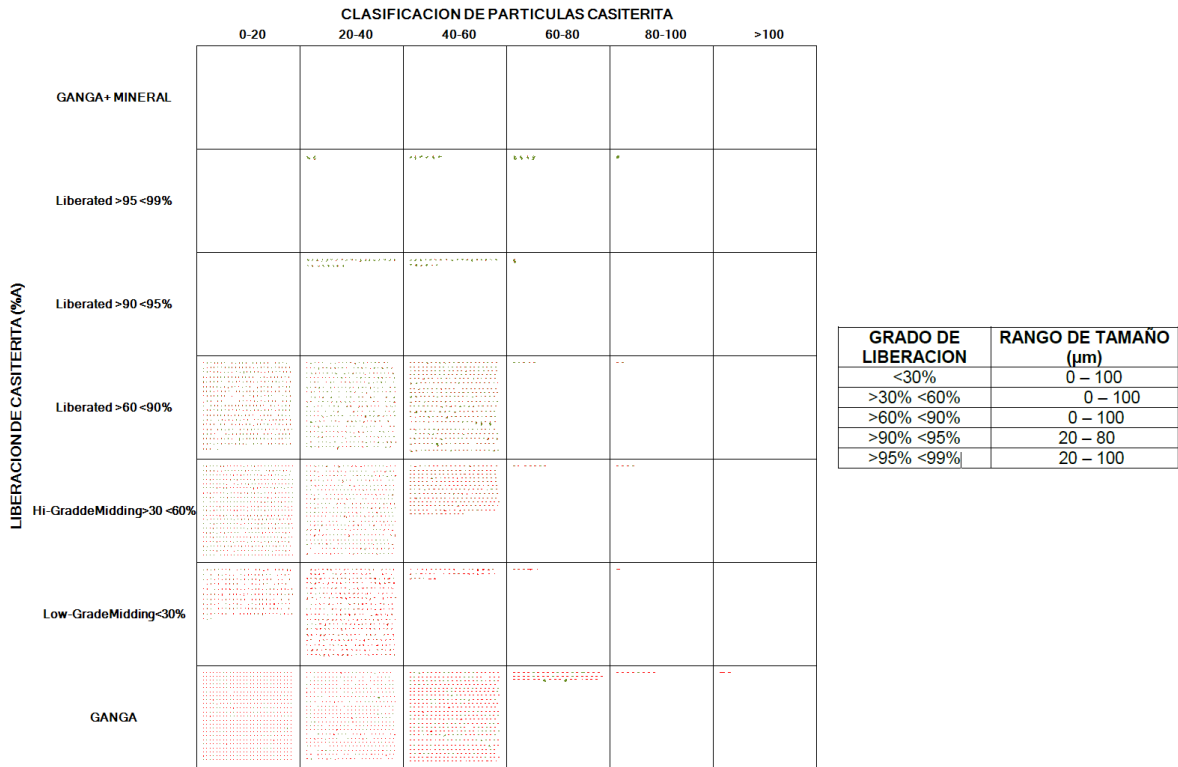


Figura anexo 34 Grado de liberación de la casiterita (SnO₂) asociada a la acmita (NaFe³⁺Si₂O₆), elaborada por ICMM

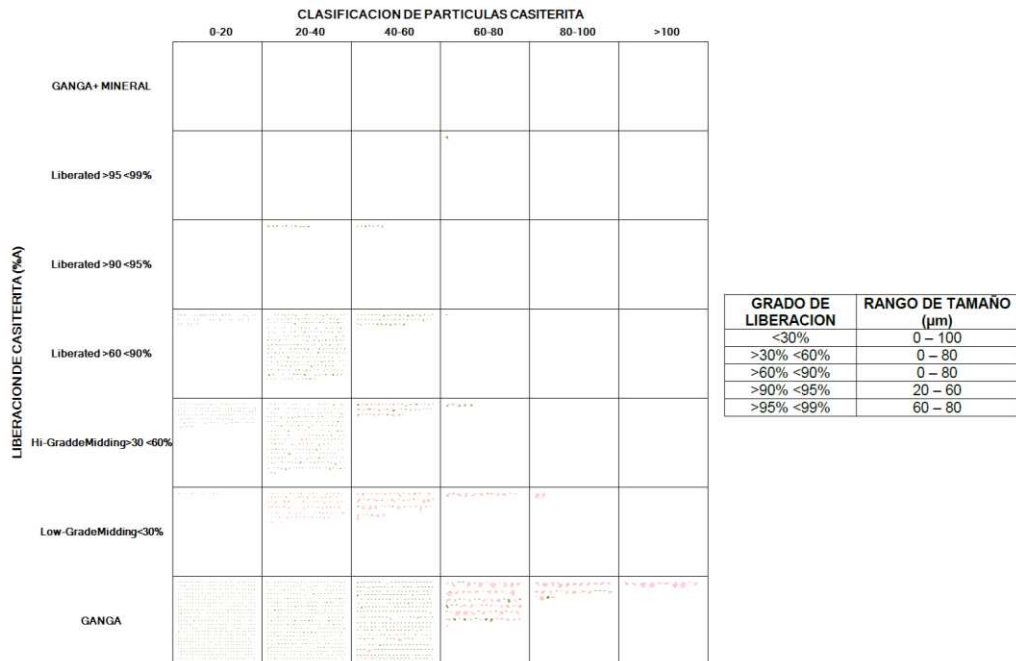


Figura anexo 35 Grado de liberación de la casiterita (SnO₂) asociada a la cristobalita (SiO₂), elaborada por ICMM

PARA LA ESTANNITA

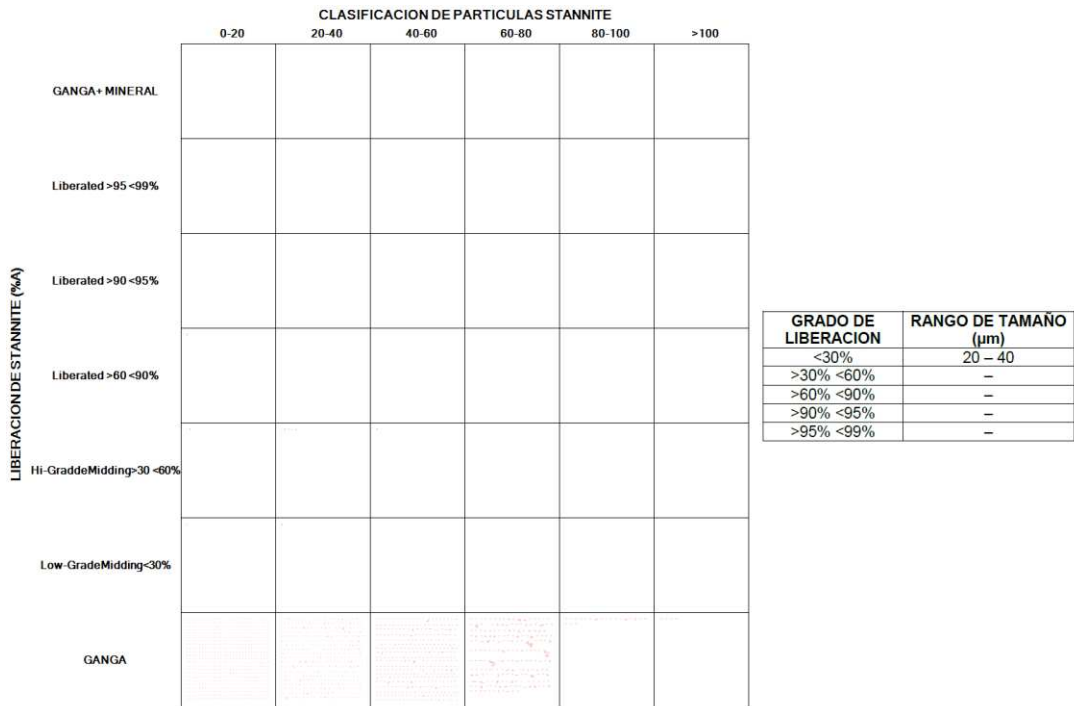


Figura anexo 36 Grado de liberación de la estannita (Cu_2FeSnS_4) asociada al cuarzo (SiO_2), elaborada por ICMM

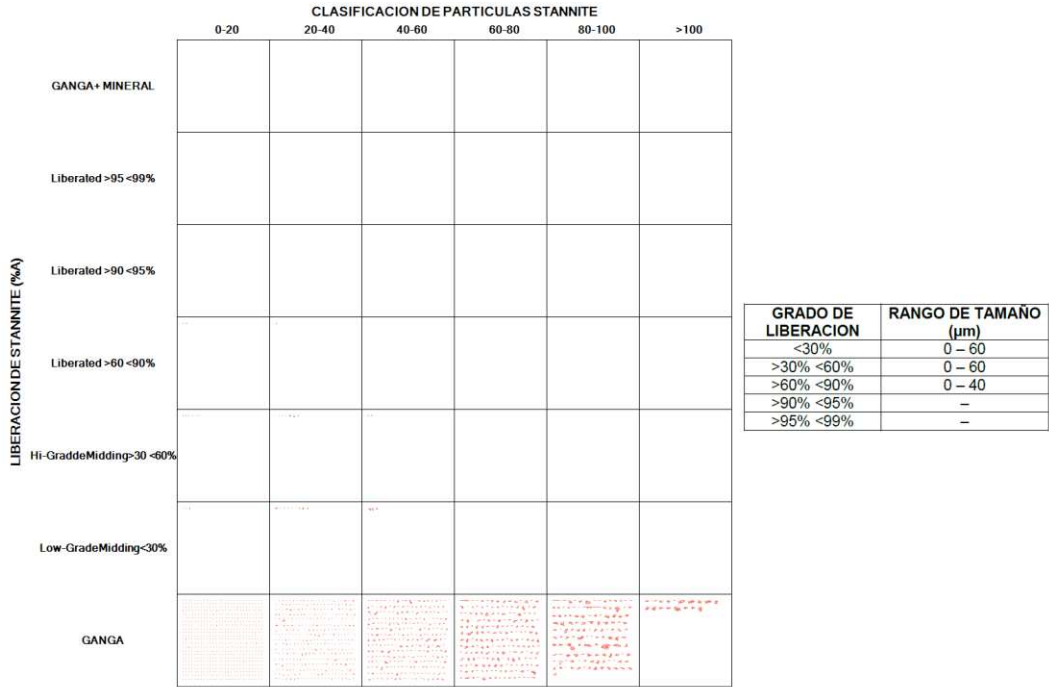


Figura anexo 37 Grado de liberación de la estannita (Cu_2FeSnS_4) asociada a la hematita (Fe_2O_3), elaborada por ICMM

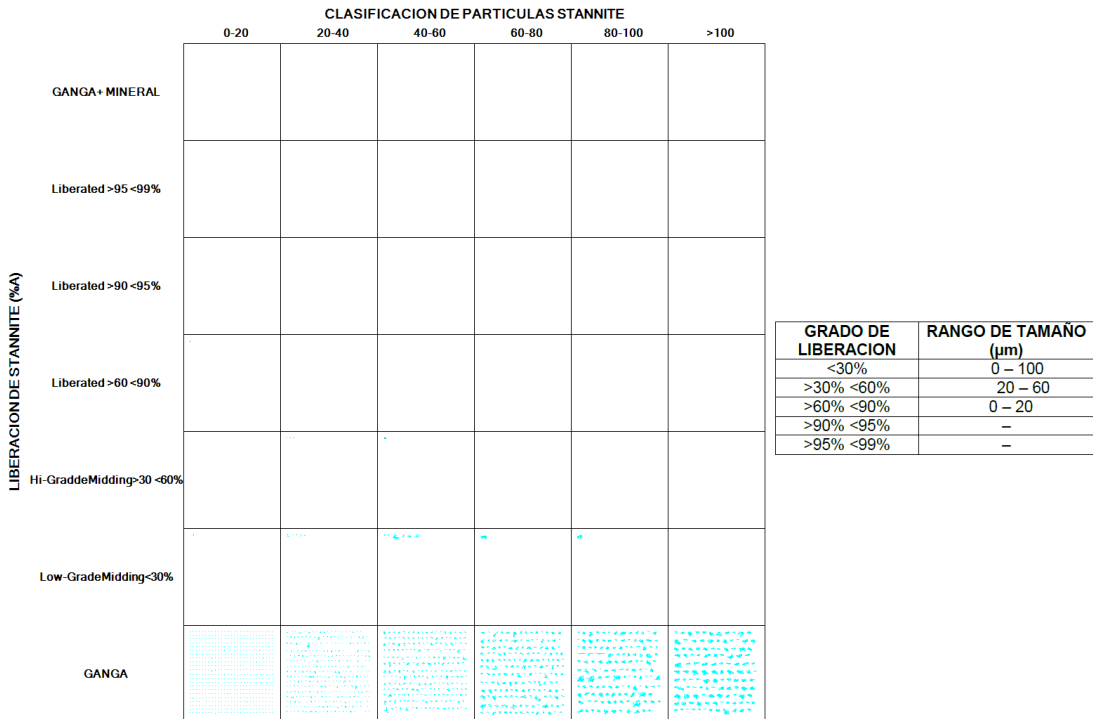


Figura anexo 38 Grado de liberación de la estannita (Cu_2FeSnS_4) asociada a la goetita ($\alpha-FeO(OH)$), elaborada por ICMM

Como se puede observar, se realizó el grado de liberación para la casiterita y la estannita, ya que en estos minerales están presentes el estaño.

4.1.3. Caracterización química

Los resultados obtenidos de los laboratorios químico son los siguientes:

ANÁLISIS QUÍMICO POR TAMAÑOS



LABORATORIO QUÍMICO CONDE MORALES

AV. AL AEROPUERTO - URB. PEDRO FERRARI • TELF.: (591) 2 5276239 • URUO BOLIVIA



INFORME DE ENSAYO

0791839
* ORIGINAL *

CLIENTE : Srs: Cooperativa Minera Copagira Cumpas.
DIRECCIÓN :
CARACTERÍSTICAS : Sobre Cerrado BOLIVAR.
ANÁLISIS DE : Muestra de: Sn
LOTE N° : ADM-P1
FECHA RECEPCIÓN : 12/10/2022 **FECHA MUESTREO** : 07/10/2022 **FECHA ANÁLISIS** : 12/10/2022

+1 PULG

Sn	-----	0.71 %
----	-------	--------

-1+1/2 PULG

Sn	-----	0.50 %
----	-------	--------

-1/2+3/8 PULG

Sn	-----	1.01 %
----	-------	--------

-3/8+1/4 PULG

Sn	-----	1.12 %
----	-------	--------

-1/4 PULG

Sn	-----	2.04 %
----	-------	--------



Umar E. Conde Morales
RESPONSABLE TÉCNICO

Oruro, 13 de Octubre de 2022



c.c. Archivo 20744 - 38 A

Los valores del presente informe de ensayo son resultados de análisis químicos efectuados según normas técnicas adecuadas y se refieren únicamente a las muestras facilitadas por el interesado, de acuerdo a las Condiciones de Trabajo del Laboratorio, P08-F0R-01. La responsabilidad del laboratorio queda limitada solo en casos de negligencia debidamente comprobada y en ningún caso será mayor a cuatro veces la cifra cancelada por el elemento. El Laboratorio NO es responsable de la información suministrada por el Cliente. Las muestras serán almacenadas por un lapso de tres meses. El laboratorio de Análisis Químico "Conde Morales" se encuentra Acreditado por la DTA del IBMETRO, según certificado DTA-CET-027.

Los informes de ensayos acreditados llevan el sello impreso de Acreditación (logo color verde)
 Prohibida la reproducción total o parcial del presente documento.



Figura anexo 39 Resultados del laboratorio químico para los diferentes tamaños, previo al chancado



LABORATORIO QUÍMICO CONDE MORALES

AV. AL AEROPUERTO - URB. PEDRO FERRARI • TELF.: (591) 2 5276239 • ORURO BOLIVIA



INFORME DE ENSAYO

0791839
* ORIGINAL *

CLIENTE : Srs: Cooperativa Minera Copagira Cumpas.
DIRECCIÓN :
CARACTERÍSTICAS : Sobre Cerrado BOLIVAR.
ANÁLISIS DE : Muestra de: Sn
LOTE N° : ADM-P2
FECHA RECEPCIÓN : 12/10/2022 **FECHA MUESTREO** : 07/10/2022 **FECHA ANÁLISIS** : 12/10/2022

+48#		
Sn	-----	0.30 %
-48#+65#		
Sn	-----	1.08 %
-65#+150#		
Sn	-----	1.23 %
-150#		
Sn	-----	1.70 %



Omar C. Conde Ortega
RESPONSABLE TÉCNICO

Oruro, 13 de Octubre de 2022



c.c. Archivo 20744 - 38 A

Los valores del presente informe de ensayo son resultados de análisis químicos efectuados según normas técnicas adecuadas y se refieren únicamente a las muestras facilitadas por el interesado, de acuerdo a las Condiciones de Trabajo del Laboratorio, PGS-FOR-01. La responsabilidad del laboratorio queda limitada solo en casos de negligencia debidamente comprobada y en ningún caso será mayor a cuatro veces la cifra cancelada por el elemento. El Laboratorio NO es responsable de la información suministrada por el Cliente. Las muestras serán almacenadas por un lapso de tres meses. El laboratorio de Análisis Químico "Conde Morales" se encuentra Acreditado por la DTA del IBMETRO, según certificado DTA-CET-027.

Los informes de ensayos acreditados llevan el sello Impreso de Acreditación (logo color verde)

Prohibida la reproducción total o parcial del presente documento.



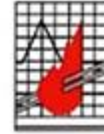
Figura anexo 40 Resultados del laboratorio químico para los diferentes tamaños, posterior a la molienda

ANALISIS DE CABEZA REPRESENTATIVO



LABORATORIO QUÍMICO CONDE MORALES

AV. AL AEROPUERTO - URB. PEDRO FERRARI • TELF.: (591) 2 5276239 • URURO BOLIVA



INFORME DE ENSAYO

0791839
* ORIGINAL *

CLIENTE : Srs: Cooperativa Minera Copagira Cumpas.
DIRECCIÓN :
CARACTERÍSTICAS : Sobre Cerrado BOLIVAR.
ANÁLISIS DE : Muestra de: Sn
LOTE N° : ADM-P2
FECHA RECEPCIÓN : 12/10/2022 **FECHA MUESTREO** : 07/10/2022 **FECHA ANÁLISIS** : 12/10/2022

Estaño

Sn ----- 1.10 %

Zinc

Zn ----- 0.14 %

Plomo

Pb ----- 0.08 %

Cobre

Cu ----- 0.05 %

Arsenico

As ----- 0.19 %



Omar E. Conde Ordoñez
RESPONSABLE TÉCNICO

Oruro, 13 de Octubre de 2022



c.c. Archivo 20744 - 38 A

Los valores del presente informe de ensayo son resultados de análisis químicos efectuados según normas técnicas adecuadas y se refieren únicamente a las muestras facilitadas por el interesado, de acuerdo a las Condiciones de Trabajo del Laboratorio, POS-FOR-01. La responsabilidad del laboratorio queda limitada sólo en casos de negligencia debidamente comprobada y en ningún caso será mayor a cuatro veces la cifra cancelada por el elemento. El Laboratorio NO es responsable de la información suministrada por el Cliente. Las muestras serán almacenadas por un lapso de tres meses. El laboratorio de Análisis Químico "Conde Morales" se encuentra Acreditado por la DTA del IBMETRO, según certificado DTA- CET-027.

Los informes de ensayos acreditados llevan el sello impreso de Acreditación (logo color verde)
Prohibida la reproducción total o parcial del presente documento.



Figura anexo 41 Resultados del laboratorio químico del mineral de la Mina "Salvadora-racacha"

4.2. Pruebas adicionales

PRUEBAS PRELIMINARES

Los resultados obtenidos de las pruebas preliminares (previo al diseño experimental) son:



Dirección Calle SURCO N° 461
Zona San Cristóbal
Tel/Fax: 6221758
NT. 6611665018

REPORTE ANALISIS DE MINERALES

PROCEDENCIA: EMPRESA MINERA AGUA DE MINA

Nro: ADM-LEYES-36/2023

ADM-213	LAB. ADM-2	COLA - 48# + 65#	--	--	--	9.53
ADM-213	LAB. ADM-2	COLA - 65# + 150#	--	--	--	0.12
ADM-213	LAB. ADM-2	COLA - 150#	--	--	--	0.79
ADM-213	LAB. ADM-2	CABEZA - 48# + 65#	--	--	--	1.08
ADM-213	LAB. ADM-2	CABEZA - 65# + 150#	--	--	--	1.23
ADM-213	LAB. ADM-2	CABEZA - 150#	--	--	--	1.7
ADM-213	LAB. ADM-2	MIXTO - 48# + 65#	--	--	--	0.8
ADM-213	LAB. ADM-2	MIXTO - 65# + 150#	--	--	--	0.73
ADM-213	LAB. ADM-2	MIXTO - 150#	--	--	--	2.72
ADM-213	LAB. ADM-2	CONC. - 48# + 65#	--	--	--	13.310000000000002
ADM-213	LAB. ADM-2	CONC. - 65# + 150#	--	--	--	42.5
ADM-213	LAB. ADM-2	CONC. - 150#	--	--	--	55.69

Ing. Carlos Flores Maygua
JEFE DE LABORATORIO
SAVANTAA VFJ



Ing. Gabriela Flores M.
REPRESENTANTE LEGAL
SAVANTAA VFJ

Figura anexo 42 Resultados del laboratorio químico para las pruebas preliminares

PRUEBAS DEL DISEÑO EXPERIMENTAL – ETAPA 1, VARIABLE SIGNIFICATIVA

Los resultados quimicos de las pruebas de variable significativa son:



LABORATORIO QUÍMICO CONDE MORALES

AV. AL AEROPUERTO - URB. PEDRO FERRARI • TELF.: (591) 2 5276239 • ORURO BOLIVIA



INFORME DE ENSAYO

0791839
* ORIGINAL *

CLIENTE : Empresa Minera AguadeMina
DIRECCIÓN :
CARACTERISTICAS : Muestra Sn
ANÁLISIS DE : Estaño, Sn
LOTEN° : ADM-P3

PRUEBA 1

Conc.	-----	18.04	%
=====			
Cola	-----	0.99	%
=====			

PRUEBA 2

Conc.	-----	15.59	%
=====			
Cola	-----	0.96	%
=====			

PRUEBA 3

Conc.	-----	22.05	%
=====			
Cola	-----	0.93	%
=====			





Omar E. Conde Orosco
RESPONSABLE TÉCNICO
ORURO



c.c. Archivo 20744 - 38 A

Los valores del presente informe de ensayo son resultados de análisis quimicos efectuados segun normas técnicas adecuadas y se refieren únicamente a las muestras facilitadas por el interesado, de acuerdo a las Condiciones de Trabajo del Laboratorio, PDS-FOR-01. La responsabilidad del laboratorio queda limitada solo en casos de negligencia debidamente comprobada y en ningún caso será mayor a cuatro veces la otra cancelada por el elemento. El Laboratorio NO es responsable de la información suministrada por el Cliente. Las muestras serán almacenadas por un lapso de tres meses. El laboratorio de Análisis Químico "Conde Morales" se encuentra Acreditado por la OITA del IISMETRO, según certificado OITA- CET-027.
Los informes de ensayos acreditados llevan el sello impreso de Acreditación (logo color verde)
Prohibida la reproducción total o parcial del presente documento.



Figura anexo 43 Resultados del laboratorio químico para el diseño experimental, etapa de variable significativa parte 1.



LABORATORIO QUÍMICO CONDE MORALES

AV. AL AEROPUERTO - URB. PEDRO FERRARI • TEL.: (591) 2 5276239 • ORURO BOLIVIA



INFORME DE ENSAYO

0791839
* ORIGINAL *

CLIENTE : Empresa Minera AguadeMina
DIRECCIÓN :
CARACTERÍSTICAS : Muestra Sn
ANÁLISIS DE : Estaño, Sn
LOTE N° : ADM-P3

PRUEBA 4

Conc. ----- 25.24 %

Cola ----- 0.95 %

PRUEBA 5

Conc. ----- 7.27 %

Cola ----- 1.21 %

PRUEBA 6

Conc. ----- 6.85 %

Cola ----- 1.22 %



Omar E. Conde Ontaraz
RESPONSABLE TÉCNICO
Oruro



c.c. Archivo 20744 - 38 A

Los valores del presente informe de ensayo son resultados de análisis químicos efectuados según normas técnicas adecuadas y se refieren únicamente a las muestras facilitadas por el interesado, de acuerdo a las Condiciones de Trabajo del Laboratorio, PDS-FOR-01. La responsabilidad del laboratorio queda limitada solo en casos de negligencia debidamente comprobada y en ningún caso será mayor a cuatro veces la cifra cancelada por el elemento. El Laboratorio NO es responsable de la información suministrada por el Cliente. Las muestras serán almacenadas por un lapso de tres meses. El laboratorio de Análisis Químico "Conde Morales" se encuentra Acreditado por la DTA del IBMETRO, según certificado DTA-CET-027.
Los informes de ensayos acreditados llevan el sello impreso de Acreditación (logo color verde)
Prohibida la reproducción total o parcial del presente documento.



Figura anexo 44 Resultados del laboratorio químico para el diseño experimental, etapa de variable significativa parte 2.



LABORATORIO QUÍMICO CONDE MORALES

AV. AL AEROPUERTO - URB. PEDRO FERRARI • TELF.: (591) 2 5276239 • OROURO BOLIVIA



INFORME DE ENSAYO

0791839
* ORIGINAL *

CLIENTE : Empresa Minera AguadeMina
DIRECCIÓN :
CARACTERÍSTICAS : Muestra Sn
ANÁLISIS DE : Estaño, Sn
LOTENº : ADM-P3

PRUEBA 7

Conc.	-----	22.70 %
Cola	-----	0.87 %

PRUEBA 8

Conc.	-----	18.31 %
Cola	-----	1.01 %



Omar E. Conde Ontana
RESPONSABLE TÉCNICO
Ouro



c.c. Archivo 20744 - 38 A

Los valores del presente informe de ensayo son resultados de análisis químicos efectuados según normas técnicas adecuadas y se refieren únicamente a las muestras facilitadas por el interesado, de acuerdo a las Condiciones de Trabajo del Laboratorio, POS-FOR-01. La responsabilidad del laboratorio queda limitada solo en casos de negligencia debidamente comprobada y en ningún caso será mayor a cuatro veces la cifra cancelada por el elemento. El Laboratorio NO es responsable de la información suministrada por el Cliente. Las muestras serán almacenadas por un lapso de tres meses. El laboratorio de Análisis Químico "Conde Morales" se encuentra Acreditado por la OTA del IBMETRO, según certificado OTA- CET-027.
Los informes de ensayos acreditados llevan el sello impreso de Acreditación (logo color verde)
Prohibida la reproducción total o parcial del presente documento.



Figura anexo 45 Resultados del laboratorio químico para el diseño experimental, etapa de variable significativa parte 3

PRUEBAS DEL DISEÑO EXPERIMENTAL – ETAPA 2, DISEÑO HEXAGONAL

Pruebas de optimizacion -48#+65#



LABORATORIO QUÍMICO CONDE MORALES

AV. AL AEROPUERTO - URB. PEDRO FERRARI • TELF.: (591) 2 5276239 • ORURO BOLIVIA



INFORME DE ENSAYO

0791839
* ORIGINAL *

CLIENTE : Empresa Minera AguadeMina
DIRECCIÓN :
CARACTERISTICAS : -48#+65#
ANÁLISIS DE : Muestra Sn
LOTE N° : ADM-P4

PRUEBA 1

Conc.	-----	6.47 %
Cola	-----	0.87 %

PRUEBA 2

Conc.	-----	8.37 %
Cola	-----	1.00 %

PRUEBA 3

Conc.	-----	9.35 %
Cola	-----	0.88 %



Omar E. Conde Ontana
RESPONSABLE TÉCNICO
Oruro



c.c. Archivo 20744 - 38 A

Los valores del presente informe de ensayo son resultados de análisis químicos efectuados según normas técnicas adecuadas y se refieren únicamente a las muestras facilitadas por el interesado, de acuerdo a las Condiciones de Trabajo del Laboratorio, POS-FOR-01. La responsabilidad del laboratorio queda limitada solo en casos de negligencia debidamente comprobada y en ningún caso será mayor a cuatro veces la cifra cancelada por el elemento. El Laboratorio NO es responsable de la información suministrada por el Cliente. Las muestras serán almacenadas por un lapso de tres meses. El laboratorio de Análisis Químico "Conde Morales" se encuentra Acreditado por la DTA del IBMETRO, según certificado DTA- CET-027.
Los informes de ensayos acreditados llevan el sello impreso de Acreditación (todo color verde)
Prohibida la reproducción total o parcial del presente documento.



Figura anexo 46 Resultados del laboratorio químico para el diseño experimental, etapa de diseño hexagonal para -48#+65# (parte 1)



LABORATORIO QUÍMICO CONDE MORALES

AV. AL AEROPUERTO - URB. PEDRO FERRARI • TELF.: (591) 2 5276239 • ORURO BOLIVA



INFORME DE ENSAYO

0791839
* ORIGINAL *

CLIENTE : Empresa Minera AguadeMina
DIRECCIÓN :
CARACTERISTICAS : -48#+65#
ANÁLISIS DE : Muestra Sn
LOTE Nº : ADM-P4

PRUEBA 4

Conc.	-----	10.82 %
Cola	-----	0.87 %

PRUEBA 5

Conc.	-----	9.82 %
Cola	-----	0.84 %

PRUEBA 6

Conc.	-----	9.34 %
Cola	-----	0.98 %



Omar E. Conde Ortega
RESPONSABLE TÉCNICO
ORURO



c.c. Archivo 20744 - 38 A

Los valores del presente informe de ensayo son resultados de análisis químicos efectuados según normas técnicas adecuadas y se refieren únicamente a las muestras facilitadas por el interesado, de acuerdo a las Condiciones de Trabajo del Laboratorio, PGS-FOR-01. La responsabilidad del laboratorio queda limitada solo en casos de negligencia gravemente comprobada y en ningún caso será mayor a cuatro veces la cifra cancelada por el elemento. El Laboratorio NO es responsable de la información suministrada por el Cliente. Las muestras serán almacenadas por un lapso de tres meses. El laboratorio de Análisis Químico "Conde Morales" se encuentra Acreditado por la DTA del IBAMETRO, según certificado DTA-CET-027.
Los informes de ensayos acreditados llevan el sello impreso de Acreditación (logo color verde)
Prohibida la reproducción total o parcial del presente documento.



Figura anexo 47 Resultados del laboratorio químico para el diseño experimental, etapa de diseño hexagonal para -48#+65# (parte 2)



LABORATORIO QUÍMICO CONDE MORALES

AV. AL AEROPUERTO - URB. PEDRO FERRARI • TELF.: (591) 2 5276239 • URUO BOLIVA



INFORME DE ENSAYO

0791839
* ORIGINAL *

CLIENTE : Empresa Minera AguadeMina
DIRECCIÓN :
CARACTERÍSTICAS : -48#+65#
ANÁLISIS DE : Muestra Sn
LOTE N° : ADM-P4

PRUEBA 7

Conc.	-----	12.04 %
Cola	-----	0.89 %

PRUEBA 8

Conc.	-----	8.17 %
Cola	-----	0.78 %



Imax E. Conde Ontora
RESPONSABLE TÉCNICO
ORURO



c.c. Archivo 20744 - 38 A

Los valores del presente informe de ensayo son resultados de análisis químicos efectuados según normas técnicas adecuadas y se refieren únicamente a las muestras recibidas por el laboratorio, de acuerdo a las Condiciones de Trabajo del Laboratorio, PGS-FOR-01. La responsabilidad del laboratorio queda limitada solo en casos de negligencia debidamente comprobada y en ningún caso será mayor a cuatro veces la cifra cancelada por el elemento. El Laboratorio NO es responsable de la información suministrada por el Cliente. Las muestras serán almacenadas por un lapso de tres meses. El laboratorio de Análisis Químico "Conde Morales" se encuentra Acreditado por la DTA del IBMETRO, según certificado DTA- CET-027.
Los informes de ensayos acreditados llevan el sello impreso de Acreditación (logo color verde)
Prohibida la reproducción total o parcial del presente documento.



Figura anexo 48 Resultados del laboratorio químico para el diseño experimental, etapa de diseño hexagonal para -48#+65# (parte 3)

Pruebas de optimizacion -65#+150#



LABORATORIO QUÍMICO CONDE MORALES

AV. AL AEROPUERTO - URB. PEDRO FERRARI • TELF.: (591) 2 5276239 • ORURO BOLIVA



INFORME DE ENSAYO

0791839
* ORIGINAL *

CLIENTE : Empresa Minera AguadeMina
DIRECCIÓN :
CARACTERÍSTICAS : -65#+150#
ANÁLISIS DE : Muestra Sn
LOTE N° : ADM-P4

PRUEBA 1

Conc.	-----	23.13 %
Cola	-----	0.82 %

PRUEBA 2

Conc.	-----	19.75 %
Cola	-----	0.80 %

PRUEBA 3

Conc.	-----	12.60 %
Cola	-----	0.74 %



Omar E. Conde Ontoria
RESPONSABLE TÉCNICO
ORURO



c.c. Archivo 20744 - 38 A

Los valores del presente informe de ensayo son resultados de análisis químicos efectuados según normas técnicas adecuadas y se refieren únicamente a las muestras facilitadas por el interesado, de acuerdo a las Condiciones de Trabajo del Laboratorio, PSB-FOR-01. La responsabilidad del laboratorio queda limitada solo en casos de negligencia debidamente comprobada y en ningún caso será mayor a cuatro veces la cifra cancelada por el elemento. El Laboratorio NO es responsable de la información suministrada por el Cliente. Las muestras serán almacenadas por un lapso de tres meses. El laboratorio de Análisis Químico "Conde Morales" se encuentra Acreditado por la DTA del IBMETRO, según certificado DTA- CET-027.

Los informes de ensayos acreditados llevan el sello impreso de Acreditación (logo color verde)

Prohibida la reproducción total o parcial del presente documento.



Figura anexo 49 Resultados del laboratorio químico para el diseño experimental, etapa de diseño hexagonal para -65#+150# (parte 1)



LABORATORIO QUÍMICO CONDE MORALES

AV. AL AEROPUERTO - URB. PEDRO FERRARI • TELF.: (591) 2 5276239 • ORURO BOLIVIA



INFORME DE ENSAYO

0791839
* ORIGINAL *

CLIENTE : Empresa Minera AguadeMina
DIRECCIÓN :
CARACTERÍSTICAS : -65#+150#
ANÁLISIS DE : Muestra Sn
LOTE N° : ADM-P4

PRUEBA 4

Conc.	-----	22.85 %
Cola	-----	0.97 %

PRUEBA 5

Conc.	-----	12.45 %
Cola	-----	0.97 %

PRUEBA 6

Conc.	-----	11.51 %
Cola	-----	0.85 %



Iman C. Conde Ontora
RESPONSABLE TÉCNICO
Oruro



c.c. Archivo 20744 - 38 A

Los valores del presente informe de ensayo son resultados de análisis químicos efectuados según normas técnicas adecuadas y se refieren únicamente a las muestras facilitadas por el interesado de acuerdo a las Condiciones de Trabajo del Laboratorio, PDS-FOR-01. La responsabilidad del laboratorio queda limitada solo en casos de negligencia debidamente comprobada y en ningún caso será mayor a cuatro veces la cifra cancelada por el elemento. El Laboratorio NO es responsable de la información suministrada por el Cliente. Las muestras serán almacenadas por un lapso de tres meses. El laboratorio de Análisis Químico "Conde Morales" se encuentra Acreditado por la DTA del IBMETRO, según certificado DTA-CET-027.

Los informes de ensayos acreditados llevan el sello impreso de Acreditación (logo color verde)

Prohibida la reproducción total o parcial del presente documento.



Figura anexo 50 Resultados del laboratorio químico para el diseño experimental, etapa de diseño hexagonal para -65#+150# (parte 2)



LABORATORIO QUÍMICO CONDE MORALES

AV. AL AEROPUERTO - URB. PEDRO FERRARI • TELF.: (591) 2 5276239 • ORURO BOLIVIA



INFORME DE ENSAYO

0791839
* ORIGINAL *

CLIENTE : Empresa Minera AguadeMina
DIRECCIÓN :
CARACTERÍSTICAS : -65#+150#
ANÁLISIS DE : Muestra Sn
LOTE N° : ADM-P4

PRUEBA 7

Conc.	-----	19.28	%
Cola	-----	1.02	%

PRUEBA 8

Conc.	-----	14.30	%
Cola	-----	0.70	%



Omar E. Conde Ortega
RESPONSABLE TÉCNICO
ORURO



c.c. Archivo 20744 - 38 A

Los valores del presente informe de ensayo son resultados de análisis químicos efectuados según normas técnicas adecuadas y se refieren únicamente a las muestras facilitadas por el interesado, de acuerdo a las Condiciones de Trabajo del Laboratorio, PCB-FOR-01. La responsabilidad del laboratorio queda limitada solo en casos de negligencia debidamente comprobada y en ningún caso será mayor a cuatro veces la cifra cancelada por el elemento. El Laboratorio NO es responsable de la información suministrada por el Cliente. Las muestras serán almacenadas por un lapso de tres meses. El laboratorio de Análisis Químico "Conde Morales" se encuentra Acreditado por la DTA del IBPRETRO, según certificado DTA- CET-027.

Los informes de ensayos acreditados llevan el sello impreso de Acreditación (logo color verde)
Prohibida la reproducción total o parcial del presente documento.



Figura anexo 51 Resultados del laboratorio químico para el diseño experimental, etapa de diseño hexagonal para -65#+150# (parte 3)

Pruebas de optimizacion -150#



**LABORATORIO QUÍMICO
CONDE MORALES**

AV. AL AEROPUERTO - URB. PEDRO FERRARI • TELF.: (591) 2 5276239 • ORURO BOLIVIA



INFORME DE ENSAYO

0791839
* ORIGINAL *

CLIENTE : Empresa Minera AguadeMina
DIRECCIÓN :
CARACTERÍSTICAS : -150#
ANÁLISIS DE : Muestra Sn
LOTEN° : ADM-P4

PRUEBA 1

Conc. ----- 24.91 %

Cola ----- 1.24 %

PRUEBA 2

Conc. ----- 18.11 %

Cola ----- 1.41 %

PRUEBA 3

Conc. ----- 24.45 %

Cola ----- 1.31 %



Oruro
Oruro
RESPONSABLE TÉCNICO



c.c. Archivo 20744 - 38 A

Los valores del presente informe de ensayo son resultados de análisis químicos efectuados según normas técnicas adecuadas y se refieren únicamente a las muestras facilitadas por el interesado, de acuerdo a las Condiciones de Trabajo del Laboratorio, PGS-FQS-01. La responsabilidad del laboratorio queda limitada solo en casos de negligencia objetivamente comprobada y en ningún caso será mayor a cuatro veces la cifra cancelada por el elemento. El Laboratorio NO es responsable de la información suministrada por el Cliente. Las muestras serán almacenadas por un lapso de tres meses. El laboratorio de Análisis Químico "Conde Morales" se encuentra Acreditado por la DTA del ISMETRO, según certificado DTA- CET-027.
Los informes de ensayos acreditados llevan el sello impreso de Acreditación (logo color verde)
Prohibida la reproducción total o parcial del presente documento.



Figura anexo 52 Resultados del laboratorio químico para el diseño experimental, etapa de diseño hexagonal para -150# (parte 1)



LABORATORIO QUÍMICO CONDE MORALES

AV. AL AEROPUERTO - URB. PEDRO FERRARI • TEL.: (591) 2 5276239 • ORURO BOLIVIA



INFORME DE ENSAYO

0791839
* ORIGINAL *

CLIENTE : Empresa Minera AguadeMina
DIRECCIÓN :
CARACTERÍSTICAS : -150#
ANÁLISIS DE : Muestra Sn
LOTE N° : ADM-P4

PRUEBA 4

Conc.	-----	27.91 %
Cola	-----	1.07 %

PRUEBA 5

Conc.	-----	13.15 %
Cola	-----	1.49 %

PRUEBA 6

Conc.	-----	14.90 %
Cola	-----	1.53 %



Oruro
Oruro
RESPONSABLE TÉCNICO



c.c. Archivo 20744 - 38 A

Los valores del presente informe de ensayo son resultados de análisis químicos efectuados según normas técnicas adecuadas y se refieren únicamente a las muestras facilitadas por el interesado, de acuerdo a las Condiciones de Trabajo del Laboratorio, POS-FQR-01. La responsabilidad del laboratorio queda limitada solo en casos de negligencia debidamente comprobada y en ningún caso será mayor a cuatro veces la cifra cancelada por el elemento. El Laboratorio NO es responsable de la información suministrada por el Cliente. Las muestras serán almacenadas por un lapso de tres meses. El laboratorio de Análisis Químico "Conde Morales" se encuentra Acreditado por la DTA del IBMETRO, según certificado DTA-CET-027.
Los informes de ensayos acreditados llevan el sello Impreso de Acreditación (logo color verde)
Prohibida la reproducción total o parcial del presente documento.



Figura anexo 53 Resultados del laboratorio químico para el diseño experimental, etapa de diseño hexagonal para -150# (parte 2)



LABORATORIO QUÍMICO CONDE MORALES

AV. AL AEROPUERTO - URB. PEDRO FERRARI • TELF.: (591) 2 5276239 • ORURO BOLIVIA



INFORME DE ENSAYO

0791839
* ORIGINAL *

CLIENTE : Empresa Minera AguadeMina
DIRECCIÓN :
CARACTERÍSTICAS : -150#
ANÁLISIS DE : Muestra Sn
LOTE N° : ADM-P4

PRUEBA 7

Conc.	-----	25.36 %
Cola	-----	1.23 %

PRUEBA 8

Conc.	-----	25.67 %
Cola	-----	1.11 %



Omar E. Conde Ontana
RESPONSABLE TÉCNICO
ORURO



c.c. Archivo 20744 - 38 A

Los valores del presente informe de ensayo son resultados de análisis químicos efectuados según normas técnicas adecuadas y se refieren únicamente a las muestras facilitadas por el interesado, de acuerdo a las Condiciones de Trabajo del Laboratorio, PDS-FOR-01. La responsabilidad del laboratorio queda limitada solo en casos de negligencia debidamente comprobada y en ningún caso será mayor a cuatro veces la otra cancelada por el elemento. El Laboratorio NO es responsable de la información suministrada por el Cliente. Las muestras serán almacenadas por un lapso de tres meses. El laboratorio de Análisis Químico "Conde Morales" se encuentra Acreditado por la DTA del IBMETRO, según certificado DTA-CET-027.

Los informes de ensayos acreditados llevan el sello impreso de Acreditación (logo color verde)

Prohibida la reproducción total o parcial del presente documento.



Figura anexo 54 Resultados del laboratorio químico para el diseño experimental, etapa de diseño hexagonal para -150# (parte 3)

Evaluación de la operación en planta

Para poder realizar las evaluaciones técnica y económica se debe tomar muestras y enviar al laboratorio, como es muestra en la figura anexo 53.



Dirección Calle SURCO Nº 461
Zona San Cristóbal
Tel/Fax: 6221758
NT: 6611665018

REPORTE ANALISIS DE MINERALES

PROCEDENCIA: EMPRESA MINERA AGUA DE MINA

Nro: ADM-LEYES-36/2023

Nro	No Parte	Nombre	Description	Zn	Ag	Pb	Sn
1	ADM-215	ADM-4	CABEZA	---	---	---	1.10
	ADM-215	ADM-4	CONC. 1 JOSE	---	---	---	72.85
	ADM-215	ADM-4	CONC. 1 NELSON	---	---	---	74.60
	ADM-215	ADM-4	CONC. 1 DORAEMON	---	---	---	73.95
	ADM-215	ADM-4	CONC. 2 JOSE	---	---	---	34.85
	ADM-215	ADM-4	CONC. 2 NELSON	---	---	---	36.84
	ADM-215	ADM-4	CONC. 2 DORAEMON	---	---	---	34.42
	ADM-214	ADM-3	COLA NELSON	---	---	---	0.99
	ADM-214	ADM-3	COLA JOSE	---	---	---	0.90
	ADM-214	ADM-3	COLA DORAEMON	---	---	---	0.96

Potosí

Ing. Carlos Flores Maygua
JEFE DE LABORATORIO
SAVANTAA VEJ

Ing. Gabriela Flores M.
REPRESENTANTE LEGAL
SAVANTAA VEJ



Figura anexo 55 Resultados del laboratorio químico para la evaluación técnica

AUTOR: Roly Vladimir Aguayo Huarachi

CORREO: rolyvladimir1@gmail.com

CELULAR: 78782885



MINISTERIO DE DESARROLLO PRODUCTIVO Y ECONOMÍA PLURAL



2024-TTES-248-D-1

DIRECCIÓN DE DERECHO DE AUTOR Y DERECHOS CONEXOS RESOLUCIÓN ADMINISTRATIVA NRO. 1-1014/2024 La Paz, 02 de abril de 2024

VISTOS:

La solicitud de Inscripción de Derecho de Autor presentada en fecha 27 de marzo de 2024, por ROLY VLADIMIR AGUAYO HUARACHI con C.I. N° 10038348 LP, con número de trámite DA 547/2024, señala la pretensión de inscripción del Proyecto de Grado titulado: "Optimización del proceso de recuperación del mineral de Estaño en mesas gravimétricas para la Empresa Minera "Agua de Mina", cuyos datos y antecedentes se encuentran adjuntos y expresados en el Formulario de Declaración Jurada.

CONSIDERANDO:

Que, en observación al Artículo 4º del Decreto Supremo N° 27938 modificado parcialmente por el Decreto Supremo N° 28152 el "Servicio Nacional de Propiedad Intelectual SENAPI, administra en forma desconcentrada e integral el régimen de la Propiedad Intelectual en todos sus componentes, mediante una estricta observancia de los regímenes legales de la Propiedad Intelectual, de la vigilancia de su cumplimiento y de una efectiva protección de los derechos de exclusiva referidos a la propiedad industrial, al derecho de autor y derechos conexos; constituyéndose en la oficina nacional competente respecto de los tratados internacionales y acuerdos regionales suscritos y adheridos por el país, así como de las normas y regímenes comunes que en materia de Propiedad Intelectual se han adoptado en el marco del proceso andino de integración".

Que, el Artículo 16º del Decreto Supremo N° 27938 establece "Como núcleo técnico y operativo del SENAPI funcionan las Direcciones Técnicas que son las encargadas de la evaluación y procesamiento de las solicitudes de derechos de propiedad intelectual, de conformidad a los distintos regímenes legales aplicables a cada área de gestión". En ese marco, la Dirección de Derecho de Autor y Derechos Conexos otorga registros con carácter declarativo sobre las obras del ingenio cualquiera que sea el género o forma de expresión, sin importar el mérito literario o artístico a través de la inscripción y la difusión, en cumplimiento a la Decisión 351 Régimen Común sobre Derecho de Autor y Derechos Conexos de la Comunidad Andina, Ley de Derecho de Autor N° 1322, Decreto Reglamentario N° 23907 y demás normativa vigente sobre la materia.

Que, la solicitud presentada cumple con: el Artículo 6º de la Ley N° 1322 de Derecho de Autor, el Artículo 26º inciso a) del Decreto Supremo N° 23907 Reglamento de la Ley de Derecho de Autor, y con el Artículo 4º de la Decisión 351 Régimen Común sobre Derecho de Autor y Derechos Conexos de la Comunidad Andina.

Que, de conformidad al Artículo 18º de la Ley N° 1322 de Derecho de Autor en concordancia con el Artículo 18º de la Decisión 351 Régimen Común sobre Derecho de Autor y Derechos Conexos de la Comunidad Andina, referentes a la duración de los Derechos Patrimoniales, los mismos establecen que: "la duración de la protección concedida por la presente ley será para toda la vida del autor y por 50 años después de su muerte, a favor de sus herederos, legatarios y cesionarios"

Que, se deja establecido en conformidad al Artículo 4º de la Ley N° 1322 de Derecho de Autor, y Artículo 7º de la Decisión 351 Régimen Común sobre Derecho de Autor y Derechos Conexos de la Comunidad Andina que: "...No son objeto de protección las ideas contenidas en las obras literarias, artísticas, o el contenido ideológico o técnico de las obras científicas ni su aprovechamiento industrial o comercial"

Que, el artículo 4, inciso e) de la ley N° 2341 de Procedimiento Administrativo, instituye que: "... en la relación de los particulares con la Administración Pública, se presume el principio de buena fe. La confianza, la cooperación y la lealtad en la actuación de los servidores públicos y de los



Oficina Central - La Paz Av. Montes, N° 515, entre Esq. Uruguay y C. Batallón Illimani. Telfs: 2115700 2119276 - 2119251

Oficina - Santa Cruz Av. Uruguay, Calle prolongación Quijarro, N° 29, Edif. Bicentenario. Telfs: 3121752 - 72042936

Oficina - Cochabamba Calle Bolívar, N° 737, entre 16 de Julio y Antezana. Telfs: 4141403 - 72042957

Oficina - El Alto Av. Juan Pablo II, N° 2560 Edif. Multicentro El Ceibo Ltda. Piso 2, Of. 5B, Zona 16 de Julio. Telfs: 2141001 - 72043029

Oficina - Chuquisaca Calle Kilómetro 7, N° 366 casi esq. Urmilagoitia, Zona Parque Bolívar. Telf: 72005873

Oficina - Tarija Av. La Paz, entre Calles Ciro Trigo y Avaroa Edif. Santa Clara, N° 243. Telf: 72015286

Oficina - Oruro Calle 6 de Octubre, N° 5837, entre Ayacucho y Junín, Galería Central, Of. 14. Telf: 67201288

Oficina - Potosí Av. Villazón entre calles Wenceslao Alba y San Alberto, Edif. AM. Salinas N° 242, Primer Piso, Of. 17. Telf: 72018160

www.senapi.gob.bo



MINISTERIO DE DESARROLLO PRODUCTIVO Y ECONOMÍA PLURAL

ciudadanos ...", por lo que se presume la buena fe de los administrados respecto a las solicitudes de registro y la declaración jurada respecto a la originalidad de la obra.

POR TANTO:

El Director de Derecho de Autor y Derechos Conexos sin ingresar en mayores consideraciones de orden legal, en ejercicio de las atribuciones conferidas.

RESUELVE:

INSCRIBIR en el Registro de Tesis, Proyectos de Grado, Monografías y Otras Similares de la Dirección de Derecho de Autor y Derechos Conexos, el Proyecto de Grado titulado: **"Optimización del proceso de recuperación del mineral de Estaño en mesas gravimétricas para la Empresa Minera "AguadeMina" a favor del autor y titular: ROLY VLADIMIR AGUAYO HUARACHI con C.I. Nº 10038348 LP,** quedando amparado su derecho conforme a Ley, salvando el mejor derecho que terceras personas pudieren demostrar.

Regístrese, Comuníquese y Archívese.

CASA/m

Firmado Digitalmente por:
Servicio Nacional de Propiedad Intelectual - SENAPI
CARLOS ALBERTO SORUCO ARROYO
DIRECTOR DE DERECHO DE AUTOR Y DERECHOS CONEXOS
LA PAZ - BOLIVIA

Firma:



pzgRk5Kn7j196j

PARA LA VALIDACIÓN DEL PRESENTE DOCUMENTO INGRESAR A LA PÁGINA WEB www.senapi.gob.bo/verificacion Y COLOCAR CÓDIGO DE VERIFICACION O ESCANEAR CODIGO QR.



Oficina Central - La Paz
Av. Montes, Nº 515,
entre Esq. Uruguay y
C. Batallón Illimani.
Telfs: 2115700
2119276 - 2119251

Oficina - Santa Cruz
Av. Uruguay, Calle
prolongación Quijarro,
Nº 29, Edif. Bicentenario.
Telfs: 3121752 - 72042936

Oficina - Cochabamba
Calle Bolívar, Nº 737,
entre 16 de Julio y Antezana.
Telfs: 4141403 - 72042957

Oficina - El Alto
Av. Juan Pablo II, Nº 2560
Edif. Multicentro El Ceibo
Ltda. Piso 2, Of. 5B,
Zona 16 de Julio.
Telfs: 2141001 - 72043029

Oficina - Chuquisaca
Calle Kilómetro 7, Nº 366
casi esq. Urriolagoitia,
Zona Parque Bolívar.
Telf: 72005873

Oficina - Tarija
Av. La Paz, entre
Calles Ciro Trigo y Avaroa
Edif. Santa Clara, Nº 243.
Telf: 72015286

Oficina - Oruro
Calle 6 de Octubre, Nº 5837,
entre Ayacucho
y Junín. Galería Central,
Of. 14.
Telf: 67201288

Oficina - Potosí
Av. Villazón entre calles
Wenceslao Alba y San Alberto,
Edif. AM. Salinas Nº 242,
Primer Piso, Of. 17.
Telf: 72018160

www.senapi.gob.bo

