



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO DE PUNO

FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



**OPTIMIZACIÓN DE CAPEX – OPEX EN LA EXPLOTACIÓN DE
DESMONTES DE MINERAL ESTAÑO DE BAJA LEY MEDIANTE
LA TECNOLOGÍA ORE SORTING EN LA UNIDAD MINERA SAN
RAFAEL - MINSUR S.A. – 2019.**

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. EDWIN CARCAUSTO MAMANI

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO DE MINAS

PUNO - PERÚ

2019



DEDICATORIA

A mi distinguida madre que se encuentra en el cielo y mi padre, por su apoyo desinteresado para poder culminar mis estudios universitarios y lograr mi anhelo de ser Ingeniero de Minas.

A mi querida esposa Marisol, por su apoyo incondicional y a mis hijos Dennis, Mikey y Heydi, por ser un gran aliento para seguir adelante en mi vida profesional.

A mis hermanos, por su apoyo incondicional y aliento en cada etapa de mi vida estudiantil, para lograr culminar mis estudios de Ingeniería de Minas

Edwin Carcausto Mamani



AGRADECIMIENTO

Mi agradecimiento a Dios creador del universo y la vida, por concederme salud para culminar mis estudios superiores.

A la Facultad de Ingeniería de Minas, al personal docente y administrativo por haber transmitido los conocimientos, experiencias y orientación vocacional para mi formación profesional como Ingeniero de Minas.

Mi especial agradecimiento al personal administrativo la Unidad Minera San Rafael - MINSUR S.A., por haberme brindado la oportunidad de realizar el presente estudio de investigación.

Edwin Carcausto Mamani



ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE ANEXOS

RESUMEN 10

ABSTRACT..... 11

INTRODUCCIÓN 12

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 13

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA 13

1.2.1 Pregunta general 13

1.2.2 Preguntas específicas 13

1.3 FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS 13

1.3.1 Hipótesis general..... 13

1.3.2 Hipótesis específicas 14

1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN 14

1.4.1 Objetivo general..... 14

1.4.2 Objetivos específicos 14

1.5 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN..... 14

1.6 CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO 15

1.6.1 Ubicación 15

1.6.2 Accesibilidad 15



1.6.3	Clima y vegetación	16
1.6.4	Topografía y fisiografía	16
1.6.5	Geología regional.....	17
1.6.6	Geología local	19
1.6.7	Geología estructural.....	19
1.6.8	Geología económica	20

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1	ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	23
2.2	BASES TEÓRICAS.....	24
2.2.1	Clasificación de mineral basado en sensores	24
2.2.2	Principios de funcionamiento	24
2.2.3	Tipos de sensores	28
2.2.4	Dimensionamiento del equipo	29
2.2.5	Beneficios	30
2.2.6	Mecánica de rotura de rocas	31
2.2.7	Métodos para la evaluación económica	33
2.2.8	Estimación de los costos de operación	36
2.3	DEFINICIONES CONCEPTUALES	40

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1	DISEÑO METODOLÓGICO	41
3.2	POBLACIÓN	41
3.3	MUESTRA	41
3.4	OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....	42
3.4.1	Variable independiente	42
3.4.2	Variable dependiente	42



3.5 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	42
CAPÍTULO IV	
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	
4.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	44
4.2 CONTRASTACIÓN DE LAS HIPÓTESIS.....	45
4.3 INVERSION (CAPEX)	45
4.3.1 Activos fijos.....	45
4.3.2 Inversión anterior requerida en la Planta Ore Sorting	45
4.3.3 Inversión actual requerida en la Planta Ore Sorting	47
4.4 COSTOS (OPEX)	48
4.5 COSTOS DE PRODUCCIÓN (OPEX)	49
4.6 DISCUSIÓN DE RESULTADOS	49
V. CONCLUSIONES	50
VI. RECOMENDACIONES.....	51
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	52
ANEXOS.....	53

Área : Ingeniería de Minas

Línea : Análisis de costos mineros

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 26 de diciembre del 2019.



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1. Operacionalización de Variables.....	42
Tabla N° 2. Producción de estaño en la cancha II	45
Tabla N° 3. Equipos requeridos en la planta Ore Sorting Anterior	46
Tabla N° 4. Equipos requeridos en la planta Ore Sorting Actual	47
Tabla N° 5. Estructura de costos de la explotación de desmontes de estaño.....	48
Tabla N° 6. Consolidado de costos de producción anterior.....	49
Tabla N° 7. Consolidado de costos de producción optimizado	49



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1. Esquema de un clasificador basado en sensores tipo tolva.....	25
Figura N° 2. Esquema de alimentación de mineral tamizado.....	26



ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo N° 1 Plano de Ubicación	54
Anexo N° 2 Planta Ore Sorting	55
Anexo N° 3 Pruebas de Ore Sorting	56



RESUMEN

La Unidad Minera San Rafael propiedad de la Cía. Minera MINSUR S.A., se encuentra ubicada dentro de la jurisdicción del Distrito de Antauta, Provincia de Melgar y Departamento de Puno. En la actualidad la Minera San Rafael viene afrontando problemas de reservas de estaño, como tal ha visto por conveniente recuperar los desmontes de mineral de estaño de baja ley de 0,64 %, minimizando el Opex en la explotación de los desmontes de mineral estaño y optimizando los Capex en el proceso de la explotación de los desmontes de estaño. El objetivo del proyecto de investigación es optimizar el Capex – Opex en la explotación de desmontes de mineral estaño mediante la tecnología Ore Sorting en la Unidad Minera San Rafael – MINSUR S.A. – 2019. La metodología para desarrollar el presente proyecto de investigación, consistirá en su primera etapa en realizar la evaluación de los Capex - Opex en la explotación de los desmontes de mineral de estaño de baja ley mediante la tecnología Ore Sorting que significa selección de mineral con sensores que reconocen el mineral a base de color, densidad atómica, transparencia o conductividad. En dicha evaluación se considerará la selección de mineral de estaño con sensores, granulometría, ley del desmonte, recuperación, dichos controles se realizarán durante 12 días equivalente a 24 guardias. Posteriormente en el proyecto de investigación se analizará, la recuperación de toneladas del mineral de estaño, la ley del mineral y la cotización en el mercado de metales. Los datos se registrarán en las fichas de control correspondiente. Finalmente, con los resultados obtenidos se realizará el análisis comparativo de los costos de explotación y los beneficios obtenidos mediante la tecnología Ore Sorting en la Unidad Minera San Rafael – MINSUR-S.A.

Palabras claves: Optimización, Capex, Opex, explotación, desmonte, Ore Sorting.



ABSTRACT

The San Rafael Mining Unit owned by the Cía. Minera MINSUR S.A., is located within the jurisdiction of the District of Antauta, Province of Melgar and Department of Puno. At present, the San Rafael Minera has been facing problems of tin reserves, as such it has been deemed convenient to recover the 0.56% low-grade tin ore waste, minimizing the Opex in the exploitation of the tin ore waste and optimizing the Capex in the process of exploitation of tin strips. The objective of the research project is to optimize Capex - Opex in the exploitation of tin ore clearings through Ore Sorting technology in the San Rafael Minera Unit - MINSUR S.A. - 2019. The methodology to develop this research project, will consist in its first stage in carrying out the evaluation of the Capex - Opex in the exploitation of low-grade tin ore waste by means of the Ore Sorting technology that means ore selection with sensors that recognize the mineral based on color, atomic density, transparency or conductivity. In this evaluation, the selection of tin ore with sensors, granulometry, clearing law, recovery will be considered, such controls will be carried out for 12 days equivalent to 24 guards. Later in the research project, the recovery of tons of tin ore, the ore law and the market price of metals will be analyzed. The data will be recorded in the corresponding control sheets. Finally, with the results obtained, a comparative analysis of the operating costs and the benefits obtained through the Ore Sorting technology in the San Rafael Mining Unit - MINSUR-S.A.

Keywords: Optimization, Capex, Opex, exploitation, clearing, Ore Sorting.



INTRODUCCIÓN

La Unidad Minera San Rafael propiedad de la Cía. Minera MINSUR S.A., se encuentra ubicada dentro de la jurisdicción del Distrito de Antauta, Provincia de Melgar y Departamento de Puno. En la actualidad la Minera San Rafael viene afrontando problemas de reservas de estaño, como tal ha visto por conveniente recuperar los desmontes de mineral de estaño de baja ley de 0,64 %, minimizando el Opex en la explotación de los desmontes de mineral estaño y optimizando los Capex en el proceso de la explotación de los desmontes de estaño. El objetivo del proyecto de investigación es optimizar el Capex – Opex en la explotación de desmontes de mineral estaño mediante la tecnología Ore Sorting en la Unidad Minera San Rafael – MINSUR S.A. – 2019.

El estudio de investigación se ha dividido en Cuatro capítulos, en el Capítulo I, se ha considerado la Introducción del estudio de investigación, en el Capítulo II, se ha desarrollado, la Revisión de literatura, analizando las bases teóricas fundamentales y definiciones conceptuales que serán la base para realizar el estudio de investigación, en el capítulo III, se describe los Materiales y métodos utilizados en la investigación, en el Capítulo IV, se muestra los Resultados y discusiones de la Optimización de Capex – Opex en la explotación de desmontes de mineral estaño mediante la tecnología Ore Sorting en la Unidad Minera San Rafael – MINSUR S.A.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Actualmente la Unidad Minera San Rafael – Puno, viene explotando el yacimiento mineral de estaño mediante el método de Taladros Largos y mediante la evaluación realizada viene afrontando problemas de reservas de estaño, como tal ha visto por conveniente recuperar los desmontes de mineral de estaño de baja ley de 0,64 %, optimizando el Capex – Opex en la explotación de desmontes de mineral estaño mediante la tecnología Ore Sorting.

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1 Pregunta general

¿Cómo optimizamos los Capex - Opex en la explotación de los desmontes de mineral estaño de baja ley mediante la tecnología Ore Sorting en la Unidad Minera San Rafael - MINSUR S.A. – 2019?

1.2.2 Preguntas específicas

- a) ¿Cómo optimizamos los Capex en la explotación de los desmontes de mineral estaño de baja ley mediante la tecnología Ore Sorting en la Unidad Minera San Rafael - MINSUR S.A. – 2019?
- b) ¿Cómo minimizamos los Opex en la explotación de los desmontes de mineral estaño de baja ley mediante la tecnología Ore Sorting en la Unidad Minera San Rafael - MINSUR S.A. – 2019?

1.3 FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS

1.3.1 Hipótesis general

Mediante la aplicación de la tecnología de Ore Sorting, se optimizará los Capex – Opex en la explotación de los desmontes de mineral estaño de baja ley en la Unidad Minera San Rafael - MINSUR S.A. – 2019.



1.3.2 Hipótesis específicas

- a) Mediante la tecnología Ore Sorting se optimizará los Capex en la explotación de los desmontes de mineral estaño de baja ley en la Unidad Minera San Rafael - MINSUR S.A. – 2019.
- b) Mediante la tecnología Ore Sorting se minimizará los Opex en la explotación de los desmontes de mineral estaño de baja ley en la Unidad Minera San Rafael - MINSUR S.A. – 2019.

1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1 Objetivo general

Optimizar los Capex - Opex en la explotación de los desmontes de mineral estaño de baja ley mediante la tecnología Ore Sorting en la Unidad Minera San Rafael - MINSUR S.A. – 2019.

1.4.2 Objetivos específicos

- a) Optimizar los Capex en la explotación de los desmontes de mineral estaño de baja ley mediante la tecnología Ore Sorting en la Unidad Minera San Rafael - MINSUR S.A. – 2019.
- b) Minimizar los Opex en la explotación de los desmontes de mineral estaño de baja ley mediante la tecnología Ore Sorting en la Unidad Minera San Rafael - MINSUR S.A. – 2019.

1.5 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La Unidad Minera San Rafael de la Cía. Minera MINSUR S.A., actualmente afronta problemas de escasas reservas de estaño y como resultado de varios años de explotación del yacimiento mineral tiene acumulado un promedio de 245,000 TM de desmontes de estaño con una ley de 0,60% a 0,90%, cuya recuperación significa un beneficio económico para la Unidad Minera San Rafael.

La recuperación del mineral de estaño de los desmontes se realizará con sensores de Rayos X, que detectan los metales y lo separa de la ganga, por lo que es



necesario realizar el presente estudio de investigación de optimización de Capex - Opex en la explotación de los desmontes de mineral estaño de baja ley mediante la tecnología de Ore Sorting en la Unidad Minera San Rafael, MINSUR S.A. – Puno.

El presente proyecto de investigación justifica plenamente su ejecución, será de mucha importancia para la Unidad Minera San Rafael y para realizar en otras empresas mineras con características similares a bajos costos de explotación y obtener mayor beneficio económico para la Empresa Minera

1.6 CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

1.6.1 Ubicación

La Mina San Rafael propiedad de la Cía. Minera MINSUR S.A., se encuentra ubicada en la Cordillera Oriental de los Andes, dentro de la jurisdicción de:

Distrito : Antauta

Provincia : Melgar

Departamento : Puno

Sus coordenadas geográficas aproximadas son:

14° 13' 45" Latitud Sur

70° 19' 19" Longitud Oeste

Sus coordenadas UTM:

Norte : 8'427,664

Este : 356,270

A una altura promedio de 4 523 m.s.n.m.

1.6.2 Accesibilidad

En la actualidad la Mina San Rafael cuenta con los siguientes accesos:

Vía terrestre: Lima – Arequipa – Juliaca – Azángaro – Mina San Rafael

Cuzco – Sicuani – Santa Rosa – Nuñoa – Mina San Rafael.



Vía Aérea: Lima – Juliaca y de Juliaca a la Mina por vía terrestre.

1.6.3 Clima y vegetación

En la Mina San Rafael, prevalece el clima frígido, durante todo el año, con muchas variaciones de temperatura.

El clima está dividido en 2 estaciones marcadamente diferentes durante el año, una seca y fría entre abril y noviembre, en esta época se producen las más bajas temperaturas (helada), la temperatura oscila por lo general los 0°C y -15°C, los meses de junio, julio y parte de agosto son los meses de las heladas, que las temperaturas llegan a su punto crítico.

La vegetación en la zona es muy escasa debido al clima frígido, también se puede decir que la vegetación es muy escasa, porque la mayor parte del Área de la zona, está constituida por afloramientos de roca.

La vegetación de la zona es típica de la región Puna y Cordillera, consta así en su totalidad de plantas como ichu y pastos propios de la zona.

1.6.4 Topografía y fisiografía

La cordillera oriental en el sur del Perú está limitada por el altiplano y la faja subandina, la cual se caracteriza por la presencia de macizos y picos nevados, con cumbres que sobrepasan los 5,000 msnm de altitud los cuales en su mayoría se encuentran cubiertos de nieve perpetua. Esta cadena también es conocida como la Cordillera de Carabaya, un ramal de ésta, es la que contiene el cuerpo mineralógico de San Rafael. El nevado Quenamari presenta dos picos nevados: San Bartolomé de Quenamari que alcanza a una cota de 5,299 msnm y San Francisco de Quenamari, cuya cota es de 5,297 msnm.

El Nevado Quenamari tiene forma semicircular con una topografía empinada en su parte superior y ondulada en la parte inferior.

En la parte alta hay morrenas en los flancos de estos valles los que a su vez han sido disectados por procesos fluvio-glaciares.



1.6.5 Geología regional

En la Cordillera Oriental no se conocen afloramientos del cámbrico, los cuales han podido ser erosionadas o no han sido identificados.

Las rocas del ordovícico se depositaron en una gran cuenca que empieza desde Salta y Jutay (Argentina), pasando a Bolivia en el lado de la Cordillera oriental, penetrando en territorio peruano (J.A.DOUGLAS 1920), reconoció esta formación por una fase flihoide Lutitas, luego se produjo una emersión del Continente, pasando de Lutitas a una serie detrítica de tipo fliish, alternando con estratos gruesos de pizarras, determinándose así una edad del cavadociano (ordovícico superior), denotando de esta forma un cambio en el contexto paleográfico de la cuenca paleozoica y posteriormente una total emersión del continente, depositándose así horizontes de tillitas y finalmente una nueva emersión de la cuenca paleozoica en el siluriano, depositándose esquistos, pizarras dando lugar a la formación Ananea.

Luego de esta orogenia, hubo depósitos continentales que están en concordancia angular con los depósitos del Devónico. En este nuevo depósito que es del MISIIANO, se depositaron en la base cuarcitas, dolomitas, en medio de una secuencia marina y en el techo vuelve una secuencia continental compuesta de areniscas y tillitas, lo que indica que se depositó en un ambiente detaico, posteriormente hubo una sumersión (fundimiento), creando un ambiente marino de poca profundidad, intercalada con cenizas producto de una actividad volcánica tipo explosivo cerca de la zona litoral.

Un nuevo período está marcado por el grupo Copacabana, que es edad Lúmico inferior a medio, se depositaron calizas en un ambiente marino de mediana profundidad por la presencia de areniscas finas, descansa en concordancia al grupo Tarma. A fine de esta formación de sedimentos calcáreos, se produce una segunda orogenia Tardiherciniana que plegó y fracturó fuertemente a los estratos del paleozoico inferior, para dar lugar posteriormente a los depósitos de molasas y depósitos volcano-sedimentos, denominándose a estos depósitos como el grupo MITU, con su correspondiente levantamiento epirogénico.



No se tiene afloramiento del Mesozoico regionalmente, porque tal vez hayan sido erosionadas, pero se sabe que ha habido oscilaciones del continente.

a) Estratigrafía

La estratigrafía del área de estudio, corresponde a una secuencia de 800 m., de potencia de pizarras y filitas de color gris oscuro, de grano fino con un alineamiento inicial de los componentes.

Esta secuencia está cortada por diques andesíticos y de cuarzo, que poseen un rumbo de N50°W, similar al rumbo de las estructuras mineralizadas, que tienen un rumbo que varía entre N°30°W, y N°40°W.

Un cuerpo intrusivo granodiorítico, se encuentra cortando toda esta secuencia sedimentaria, sufriendo una metamorfosis a pizarras en las partes más alejada a contacto y a filitas en las partes más cercanas. Esta roca granodiorítica se caracteriza por presentar fenocristales de ortosa, plagioclasas, feldspatos y cuarzos; presentando un color gris claro y textura porfirítica.

Con la delimitación del intrusivo, debajo de la superficie y determinada por la identificación litológica en las labores mineras a diferentes niveles; se concluye que el cuerpo intrusivo granodiorítico que se presenta en la Mina San Rafael, al acercarse a superficie se adelgaza a manera de dique y se inflexiona al NW y llega a superficie coincidiendo con los afloramientos mapeados en superficie.

Esta unidad estratégica, es de carácter informal, porque el piso de esta columna, no ha sido posible determinarlos, mientras que el tipo sí, y está conformado por materiales no consolidados que ocupan área representados por resto glaciares y aluviales. En las partes superiores, al puede los nevados la acción de la nieve ha ocasionado la formación de estrías en las superficies lisas, debido al rozamiento y por efecto de gravedad al deslizarse la nieve.

b) Rocas ígneas

En la región se ha logrado identificar diques andesíticos y de cuarzo que afloran a superficie, cortando perpendicularmente toda secuencia, llegando inclusive al puede el nevado San Bartolomé de Quenamari, los cuales por ser más resistentes



al intemperismo que las rocas adyacentes, han quedado en relieve a manera de crestas, a lo largo de su recorrido.

En la Mina san Rafael, el intrusivo aflora al NW del nevado San Bartolomé de Quenamari, en el nivel 4730 msnm, frente a la antigua planta de cobre, al costado del antiguo hospital y en el trayecto de la carretera que asciende a la antena retransmisora, también en las labores del umbral.

Con excepción de la zona de umbral, los afloramientos no son muy extensos y se manifiestan en una zona única, que el al W del nevado.

1.6.6 Geología local

En la mina San Rafael, la litología que predomina es una secuencia de pizarras y filitos grises oscuras, que afloran en los flancos del nevado Quenamari; el cual posee dos picos: San Bartolomé y san Francisco de Quenamari. Observando de Sur a Norte, hacia los nevados, se puede seguir una secuencia ascendente de rocas que poseen iguales características, a partir del margen norte de la laguna Chojñocota hasta la superficie de los nevados, la roca es la misma.

En las partes bajas, en superficie son más notorias las pizarras con su característico clivaje y a la vez más afectados por el intemperismo, la edad asignada de pizarras y filitas en el MISISIPIANO y corresponden al grupo Ambo.

Las filitas y cuarcitas del paleozoico inferior, con correlaciones con la formación Sandra, en base a un fósil encontrado en los alrededores del nevado Quenamari y determinado como MICHELINOCEURUS MNAUTILUS del ordovícico superior.

1.6.7 Geología estructural

El área de la mina San Rafael, ha sido afectada con tectónica herciniana, principalmente por la fase Tardiherciniana, la que ha afectado a los grupos. Ambo, Tarma y Copacabana que no afloran en l zona (AUDEAUD 1969).



Además del levantamiento andino y la intrusión con características del stock, se produjeron. Fracturas, diaclasas y fallas. Algunas han sido rellenadas por soluciones hidrotermales, constituyendo las vetas actuales.

Las vetas se presentan en un sistema más o menos paralelas bien formadas en el cuerpo intrusivo, pero al pasar a las pizarras se ramifican, probablemente debido a la incompetencia de estos últimos a la fracturación.

La veta San Rafael es una fractura que tiene una longitud aproximada de 4 Km., de los cuales la mitad está en roca intrusiva y el resto en pizarras y filitas, presenta ramales y lazos cimoides.

Las fracturas se produjeron probablemente debido a su enfriamiento brusco o a los esfuerzos locales producidos por la intrusión ígnea.

Las diaclasas son apreciables en la zona de alteración, en el caso de las pizarras y son perpendiculares al plano de clivaje.

Las tectónicas tardiherciniana andina han delineado los plegamientos, como también los fracturamientos y fallamientos especialmente en el paleozoico, los cuales se caracterizan por fallas inversas, sobrescurrimiento y pliegues. La tectónica del terciario se manifiesta principalmente por un fallamiento de dirección NW-SE, que afectan a las intrusiones MIOCENICAS y que muchas veces coinciden con reactivaciones de un fallamiento anterior. Este fallamiento dio lugar a las fracturas preliminares.

1.6.8 Geología económica

En la Mina San Rafael, la mineralización se encuentra principalmente como relleno de fracturas y de reemplazamiento en el intrusivo y en grupo ambo, la principal veta en el intrusivo es San Rafael, la cual contiene cobre y estaño.

El estaño y el cobre se extraen de la casiterita y calcopirita respectivamente como minerales principales, los cuales se encuentran en vetas asociadas a otros minerales que, por su ocurrencia en poca cantidad y valorización económica actual, no son considerados económicos.



San Rafael, tiene estructuras mineralizadas como: Andes peruanos, San Germán, María Elena, Pedro, Mariano, San Rafael, Vicente, Patricia, Jorge, Guillermo y Santo Domingo; todas estas estructuras contienen cobre y estaño.

a) Características del yacimiento

La veta San Rafael, lo mismo que otras estructuras de la zona, son depósitos generados por soluciones hidrotermales, son depósitos generados por soluciones hidrotermales, tanto de relleno de fracturas como de reemplazamiento o sustitución, el modo de formación se debe probablemente a la diferenciación magmática, la cual produce fluidos acuosos, en que la mayoría de los metales se pueden concentrar; estos fluidos al desprenderse del magma, pueden transportarse a través de las diferentes aberturas de las rocas y dejar su contenido mineral en las cavidades emplazadas en el cuerpo intrusivo en las rocas metamórficas, dando lugar a la formación de depósitos hidrotermales (epitermales) de estaño y cobre respectivamente.

b) Mineralogía

Se han considerado cuatro etapas principales de carácter hipogénico en la veta San Rafael, que constituyeron a la secuencia de mineralización (Palma 1981).

Los minerales económicos principales son: chalcopirita y casiterita, y en menor proporción galena, esfalerita y tetraedrita.

c) Zoneamiento y paragénesis

En la veta San Rafael hay un marcado zoneamiento vertical de cobre en la parte superior y estaño en la parte inferior.

El zoneamiento se presenta por una zona superior de zinc, plomo y plata seguida por otra de cobre y en profundidad de estaño, teniendo como foco al intrusivo.

La mineralización se presenta bandeada, masiva, diseminada y brechada, esta última engloba varios minerales pre-existentes, lo que indica las diferentes etapas de mineralización. Este brechamiento impide reconstruir la verdadera secuencia de mineralización.



En la veta San Rafael el estaño en agujas llega hasta el nivel 4600msnm, en la parte sur y central, baja bruscamente hasta el nivel 4450 msnm, en su parte norte. Debajo de la zona de estaño en agujas se encuentra el estaño madera de color claro y por debajo de la cumbre del nevado San Bartolomé de Quenamari y hacia el norte aparecen tres cuerpos de brecha mineralizada con estaño. Se pueden apreciar los isovalores de estaño en la misma veta, varían desde 0.54 % en la parte superior, hasta más del 10% en los niveles inferiores.

En lo que se refiere a cocientes metálicos Sn/Cu llegan a 100 y cerca de 200 en la parte norte, zona de mayor riqueza mineral. Los cocientes 50 y 100 tienden a continuar hacia el contacto y en profundidad.



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Cutmore, N. y Eberhardt, J. (2002) The Future of Ore Sorting in Sustainable Processing, Green Processing Conference, Australia, Indica que la tecnología de Ore Sorting contribuye a prolongar la vida útil de la mina, recuperando desmontes de baja ley y su posterior enriquecimiento de la ley del yacimiento, con una recuperación de 2.5 a 3.5 % de estaño.

Gallegos, G. A. (2017) Evaluación económica de alternativas para la explotación y tratamiento de mineral marginal mediante “*ore sorting*” y lixiviación en pilas en U.P. Alpacay, Minera Yanaquihua S.A.C., Arequipa-Perú, concluye que el proyecto de explotación y tratamiento de mineral marginal de la U.P. Alpacay demostró ser rentable la pre concentración del mineral con la tecnología Ore Sorting con sensores, como con lixiviación en pilas.

Se calculó los costos de operación en 233 \$/TM de mineral extraído, el costo de tratamiento de planta es de 79 \$/TM, costo que incluye administración de la unidad minera. La inversión total del proyecto del *ore sorting* que asciende a 1.65 millones de dólares, tiene un periodo de retorno de la inversión de 2,58 años en el caso de Ore Sorting y de 3.13 años en el caso de lixiviación. El costo operativo del *ore sorting* es de 1.3 \$/TM.

Wotruba, H. (2011): Potential of sensor-based sorting for the gold mining industry, World Gold 2011, Canadá. Concluye que la tecnología Ore Sorting es aplicable para la industria minera tanto en sulfuros, oro, diamantes, caliza y otros similares.

Foggiatto, B. (2014): The economics of large scale ore sorting, Technical solutions, Ausenco Service's Ltd, Australia. Concluye que la tecnología Ore Sorting contribuye a prolongar la vida útil de la mina y aumenta el valor global del yacimiento.



Wotruba, H. y Harbeck, H. (2010): Sensor-Based Sorting, Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, 7th, Estados Unidos. Concluye que los sensores reconocen el material objetivo a base de las características como color, densidad atómica, transparencia y conductividad. Como un término general para todas las aplicaciones las partículas son detectadas individualmente por una técnica de sensor y luego rechazadas por un sistema mecánico de eyección. Los sensores pueden ser programados para reconocer ciertas características como color, densidad, conductividad, etc. Existen dos tipos de clasificadores, los de tipo faja y tipo tolva.

La tecnología Ore Sorting primeramente ha sido aplicado en Alemania, posteriormente en Canadá y Australia. Esta tecnología ha sido aplicada desde el año 2001.

2.2 BASES TEÓRICAS

2.2.1 Clasificación de mineral basado en sensores

La clasificación de minerales, en inglés llamada “*ore sorting*”, es normalmente definida como el proceso de identificar diferencias en ciertas características físicas o químicas mediante un mecanismo basado en sensores que cambia las posiciones y trayectorias de las partículas seleccionadas, rechazando en etapas tempranas el material no deseado. De esta manera la fracción predeterminada del valor de metal objetivo es el único material en el que se va a incurrir en costos adicionales en energía y reactivos de los subsiguientes procesos de beneficio.

La clasificación de los minerales ha sido usada desde antes en operaciones de procesamiento de minerales. Sin embargo, sus inicios se dan a escala artesanal debido a la capacidad humana de percibir diferencias entre los minerales con valor económico y la ganga, actividad que es conocida como pallaqueo.

2.2.2 Principios de funcionamiento

Para permitir la pre concentración en tamaños de partícula relativamente grandes, es obviamente necesario que los elementos valiosos estén ocurriendo en una forma más concentrada que las partículas que se van a eliminar. Una vez que se ha establecido que puede haber condiciones geológicas y mineralógicas adecuadas

para la clasificación, se hacen pruebas simples con algunas piezas representativas de residuos (estériles) y mineral de roca. Esta prueba verificará si existen diferencias físicas suficientes para permitir la clasificación con las tecnologías actualmente disponibles.

La industria minera necesita reducir los costos de energía en general, particularmente en el chancado. Una forma de hacerlo es reducir la cantidad de roca residual que desperdicia energía al ser triturada y molida. Al rechazar el material sin valor en etapas tempranas de concentración, se tiene un gran beneficio para el medio ambiente, pues se reduce el uso de energía, uso de reactivos y la disposición de relaves es muy inferior a los casos base.

La clasificación basada en sensores ha sido introducida por Wotruba y Harbeck (Wotruba y Harbeck, 2010) como un término general para todas las aplicaciones donde las partículas son detectadas individualmente por una técnica de sensor y luego rechazadas por un sistema mecánico de eyección. Los sensores pueden ser programados para reconocer ciertas características como color, densidad, conductividad, etc. Existen dos tipos de clasificadores, los de tipo faja y tipo tolva.

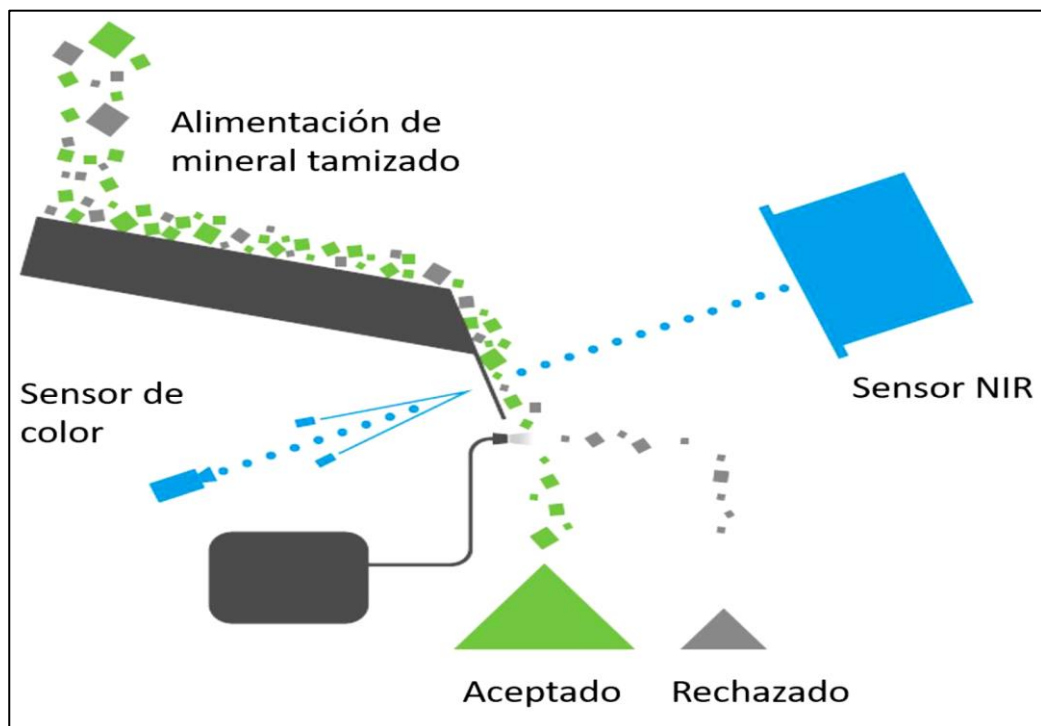


Figura N° 1. Esquema de un clasificador basado en sensores tipo tolva

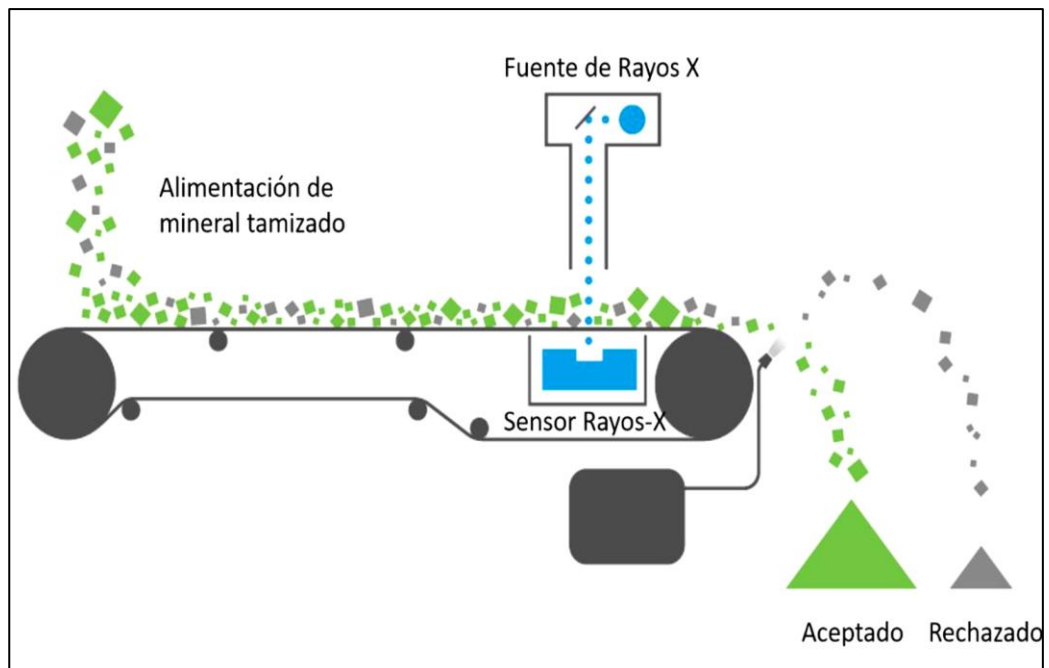


Figura N° 2. Esquema de alimentación de mineral tamizado

Los principios de funcionamiento pueden ser divididos en 5 subprocesos. Todos los subprocesos contribuyen al rendimiento global de la máquina de clasificación basada en sensores. Los principios de funcionamiento serán resumidos brevemente en los siguientes párrafos.

a) Acondicionamiento del material

El material alimentado al clasificador basado en sensores debe prepararse para la detección y para el proceso de separación mecánica con aire comprimido. La mayoría de clasificadores o "sorters" pueden procesar rocas de 3/4 de pulgada hasta 6 pulgadas. Dependiendo del tamaño del material alimentado las tasas de tratamiento pueden llegar hasta 100 toneladas por hora por máquina.

Para todas las aplicaciones y técnicas de detección, la alimentación debe ser tamizada en intervalos de tamaño con una relación entre el tamaño máximo de partícula y el tamaño mínimo de partícula de menos de tres (3:1).

Para esta relación se introduce el término "coeficiente de tamaño-rango", ya que es una cifra clave para describir la aplicabilidad de la clasificación basada en sensores a una fracción. La relación es una cifra empírica. Si es demasiado alta, la



precisión de la detección disminuye porque las partículas grandes pueden cubrir las pequeñas.

Para la separación mecánica, una relación demasiado elevada es también desventajosa, ya que las partículas pequeñas podrían ser arrastradas hacia la fracción rechazada por turbulencias en la cámara de rechazo cuando se rechazan las partículas más grandes.

La mayoría de sistemas actuales usan sistemas de transporte personalizados para presentar la partícula y la expulsión del aire. Las partículas de mineral usualmente necesitan ser presentas en rangos estrechos (2:1 a 4:1) para su clasificación eficiente. (Cutmore & Eberhardt, 2002)

b) Presentación del material

Para la detección, evaluación y eyección de partículas individuales cada partícula debe presentarse sola al sistema de detección. El objetivo es conseguir una sola capa de partículas con la mayor cobertura sin que las partículas se toquen entre sí. La presentación se logra mediante los sistemas antes mencionados - el clasificador de tipo de cinta y el clasificador de tipo tolva.

En ambos sistemas el material es alimentado por un alimentador vibratorio sobre una rampa de aceleración. Mientras que la detección en el clasificador de tolva se realiza en la tolva, en el clasificador de tipo de correa el flujo de material se dirige a una cinta de alta velocidad y se mide allí.

c) Detección

Existen varios sistemas de detección que están disponibles en sistemas de clasificación basados en sensores con aplicación en la industria de minerales.

d) Procesamiento de datos

Los datos adquiridos por el sistema de detección se evalúan mediante algoritmos de clasificación previamente definidos. El algoritmo describe parámetros para decidir si las partículas están destinadas a ser rechazadas o aceptadas.

Para derivar la decisión, se pueden evaluar y combinar todos los parámetros de los datos multidimensionales (información espacial e información de propiedades) para introducir patrones y combinaciones de propiedades en algoritmos de clasificación inteligentes y confiables.

e) Separación mecánica

La separación mecánica suele tener lugar mediante una serie de válvulas de aire de alta velocidad. La alimentación se divide en la máquina en una fracción aceptada y rechazada, siendo una de ellas el concentrado y la otra las colas o viceversa.

2.2.3 Tipos de sensores

En la actualidad, existen casi una decena de tipos de sensores. Su aplicabilidad dependerá íntegramente de la mineralogía del material a pre concentrar. Dentro de los más importantes para la industria de los metales base tenemos a la detección por rayos X y los sensores ópticos. Los demás tipos de sensores serán abordados en la tabla.

a) Rayos X

La detección por rayos X (XRT, por sus siglas en inglés) es probablemente uno de los tipos de sensores más versátiles; puede ser ampliamente usado en aplicaciones para minería de vetas angostas donde hay una diferencia en densidad entre la veta y la roca caja. El sistema de rayos X es capaz de mirar dentro de las rocas, sumar el peso del material valioso y decidir si una roca en particular debe ser aceptada o rechazada.

El sistema genera una imagen de rayos X para cada roca a medida que pasa a través del clasificador y utiliza procesamiento de imágenes digitales de alta velocidad para determinar la cantidad de mineral deseado dentro de cada roca. Tiene la ventaja de no confiar en la información de la superficie de la roca, a diferencia de los métodos de detección alternativos, que se basan en la fluorescencia óptica superficial o propiedades de reflectancia de la luz para indicar la ley.



b) Óptica

El reconocimiento de material óptico ha existido desde hace bastante tiempo, pero los últimos avances abren una amplia variedad de nuevas aplicaciones.

Mediante la combinación de sistemas de posicionamiento de objetos láser 3D con cámaras a color CCD, es posible separar las partículas basadas en el color sin la necesidad de un fondo no reflectante, lo cual era prácticamente sólo alcanzable al tener partículas en caída libre frente a un fondo negro en antiguos sistemas.

Esto significa que ahora las partículas pueden ser detectadas y reconocidas mientras viajan en un cinturón a una velocidad mucho mayor y se separan con mayor precisión.

Debido a las propiedades que tienen los diferentes tipos de elementos a clasificar, cada tipo de sensor tiene un campo de aplicación, en el caso del oro al ser un metal precioso, se recomienda los sensores radiométricos, rayos X y colorimétricos.

2.2.4 Dimensionamiento del equipo

La alimentación en toneladas por hora (m) es proporcional al tamaño promedio de las partículas (d_{50}) y al ancho de trabajo de la máquina (bs). $m=d_{50} \times bs$ (tph)

a) Reducción de peso

La reducción de peso, es el porcentaje de material que se va a tener como productor después de pasar el material tamizado por la faja de alimentación del sorter y se expresa matemáticamente de la siguiente manera:

$$\text{Mass Recovery \%} = \text{Product Tonnes} / \text{Feed Tonnes}$$

b) Recuperación de oro

Debido a efectos operativos u otros inherentes a la mineralogía del mineral, o a problemas en chancado se pierde algo de contenido fino del material alimentado, que es cuantificado con la siguiente fórmula matemática

$$\text{Au Recovery \%} = \text{Product Au} / \text{Feed Au}$$



c) **Relación de enriquecimiento**

Es el valor matemático que indica el incremento de la ley alimentada al equipo.

$$\text{Upgrade Ratio} = \text{Au Recovery} / \text{Mass Recover}$$

2.2.5 **Beneficios**

a) **Reducción de costos de procesamiento**

Cuando se rechazan el mineral sin valor económico del flujo de explotación de la mina, los costos específicos por tonelada de trituración, lixiviación o flotación y fundición se reduce. Esto tiene un impacto directo en el consumo de energía y reactivos, especialmente porque los residuos contribuyen de forma desproporcionada a esos insumos, así como a los medios de desgaste, molienda y energía.

Además, la ley de alimentación más alta y la reducción de los desechos perturbadores en forma proporcional pueden llevar a una mayor recuperación en el concentrador, así como en la fundición y conduce a beneficios adicionales. Estos efectos tienen una influencia directa en la ley de corte. Los bloques de minería altamente diluidos, así como los vertederos de basura pueden convertirse en reservados.

Después de un enfoque contundente de la integración de minas a plantas, la introducción de la pre - concentración también puede resultar en un cambio del método minero cuando se aplica la minería en masa en lugar de la extracción selectiva con la clasificación subsiguiente basada en sensores.

b) **Reducción de los costes de transporte**

La clasificación basada en sensores es una técnica compacta y flexible que requiere poca infraestructura y puede aplicarse en ubicaciones estratégicas dentro de la operación física de minería y procesamiento de minerales.

Especialmente cuando las operaciones de satélites son minadas a decenas de kilómetros de distancia de un centro de procesamiento de la reducción de la masa movida puede tener un enorme impacto sobre la rentabilidad global de una operación. Las plantas de pre - concentración semiautomáticas o estacionarias

también se pueden implementar cerca de la cara en operaciones mineras centralizadas que permiten el relleno directo.

c) Sostenibilidad

La clasificación basada en sensores es una técnica de procesamiento que necesita poco o nada de agua, sin reactivos y poca energía. Las instalaciones completas son pequeñas cuando se comparan con la separación del medio denso y se pueden operar en áreas ambientalmente sensibles para producir un pre concentrado que se transporta a un sitio central de procesamiento. Los desechos gruesos rechazados tienen menos superficies que reaccionan químicamente y reducen el impacto del drenaje ácido de las minas.

En algunos casos, los residuos gruesos podrían incluso venderse como agregados, lo que contribuiría tanto a la utilización de la reserva como a la rentabilidad. La reducción descrita anteriormente de la ley de corte contribuye a la utilización máxima de los recursos.

En general, la clasificación basada en sensores agrega beneficios económicos, ambientales y sociales a las operaciones mineras.

2.2.6 Mecánica de rotura de rocas

A. Proceso de fracturamiento

La fragmentación de rocas por voladura comprende a la acción de un explosivo y a la consecuente respuesta de la masa de roca circundante, involucrando factores de tiempo, energía termodinámica, ondas de presión, mecánica de rocas y otros, en un rápido y complejo mecanismo de interacción.

Una explicación sencilla, comúnmente aceptada estima que el proceso ocurre en varias etapas o fases que se desarrollan casi simultáneamente en un tiempo extremadamente corto, de pocos milisegundos, durante el cual ocurre la completa detonación de una carga confinada, comprendiendo desde el inicio de la fragmentación hasta el total desplazamiento del material volado, estas etapas son:

a) Detonación del explosivo y generación de la onda de choque.



- b) Transferencia de la onda de choque a la masa de la roca iniciando su agrietamiento.
- c) Generación y expansión de gases a alta presión y temperatura que provocan el fracturamiento y movimiento de la roca.
- d) Desplazamiento de la masa de roca triturada para formar la pila de escombros o detritos.

B. Fragmentación de la roca

Este mecanismo aún no está plenamente definido, existiendo varias teorías que tratan de explicarlo entre las que mencionamos a:

- a) Teoría de reflexión (ondas de tensión reflejadas en una cara libre).
- b) Teoría de expansión de gases.
- c) Teoría de ruptura flexural (por expansión de gases).
- d) Teoría de torque (torsión) o de cizallamiento.
- e) Teoría de caracterización.
- f) Teoría de energía de los frentes de onda de compresión y tensión.
- g) Teoría de liberación súbita de cargas.
- h) Teoría de nucleación de fracturas en fallas y discontinuidades.

Una explicación sencilla, comúnmente aceptada, que resume varios de los conceptos considerados en estas teorías, estima que el proceso ocurre en varias etapas o fases que se desarrollan casi simultáneamente en un tiempo extremadamente corto, de pocos milisegundos, durante el cual ocurre la completa detonación de una carga confinada, comprendiendo desde la fragmentación hasta el total desplazamiento del material fracturado.

Estas etapas son:

- a) Detonación del explosivo y generación de la onda de choque.
- b) Transferencia de la onda de choque a la masa de la roca iniciando su agrietamiento.
- c) Generación y expansión de gases a alta presión y temperatura que provocan la fracturación y movimiento de la roca.



- d) Desplazamiento de la masa de roca triturada para formar la pila de escombros o detritos.

2.2.7 Métodos para la evaluación económica

En todas las industrias, ya sea para corporaciones o individuos, el análisis económico de proyectos potenciales de inversión se hace para seleccionar el proyecto que dará el valor máximo de la inversión de capital disponible. Los inversores usualmente usan técnicas de análisis económico basadas en la tasa de rendimiento, el valor presente, el valor anual, el valor futuro o varios análisis de equilibrio para alcanzar las decisiones de análisis económico. Cuando las técnicas que acabamos de mencionar se basan en el manejo del valor temporal del dinero con una tasa de interés compuesta, estas técnicas se denominan técnicas de análisis de flujo de efectivo descontado. La comprensión de este concepto requiere la definición de los términos "tasa de descuento" y "flujo de caja".

El término "descuento" se considera generalmente como sinónimo de "valor presente" en el trabajo de evaluación económica. Al manejar el valor temporal del dinero, los inversionistas quieren tener en cuenta el hecho de que un dólar en la mano hoy tiene un valor mayor que un dólar en un futuro, porque un dólar en la mano hoy puede ser puesto a trabajar ahora en una cuenta bancaria u otras inversiones para acumular intereses, o retornos sobre inversiones. El interés compuesto es el método generalmente acatado para estandarizar el tiempo de los cálculos de dinero a fines de calcular el interés acumulado, o el retorno sobre la inversión. El valor actual de un valor futuro es la suma de dinero que se invertida hoy, a una tasa de interés específica, crecería hasta el valor futuro dado. Cuando se trabaja con tasas de interés positivas, los valores actuales son siempre inferiores a los valores futuros.

Dado que el término "descuento" implica reducir el valor de algo, el uso de los términos "descuento" y "valor presente" tiene significado equivalente porque ambos se refieren a la reducción del valor de los bienes. El término "flujo de caja" se utiliza para referirse a la entrada o salida neta de dinero que ocurre durante un período de operación especificado tal como un mes o un año. ¿Cómo puede decidir una compañía si un proyecto es viable o no, o si un proyecto es mejor que otro



proyecto? Las dos medidas más comunes se basan en Valor presente neto y Retorno sobre la inversión (o tasa interna de retorno).

Alternativamente puede utilizarse cualquiera de los dos criterios; sin embargo, los métodos no siempre dan la misma respuesta. Un proyecto pequeño con un rendimiento muy alto podría tener un valor presente neto menor que un proyecto más grande con un rendimiento inferior.

En la práctica, incluso después de un estudio detallado, las características de cada oportunidad de inversión rara vez se comprenden muy bien al principio. El hecho de que un proyecto tenga una rentabilidad superior al costo del capital no significa que necesariamente debe proceder, incluso si no hay mejores proyectos disponibles de inmediato.

De hecho, la guía del costo del capital es sólo un instrumento muy contundente para la selección de proyectos. La decisión final no puede cuantificarse tan precisamente como sugieren los procedimientos estándar de flujo de efectivo descontado.

Sin embargo, con todas sus fallas, el procedimiento aún caracteriza con precisión el enfoque adoptado por la mayoría de las grandes organizaciones de todo el mundo para llevar a cabo este tipo de evaluación.

a) Valor actual neto

El valor actual neto (NPV, por sus siglas en inglés) puede ser descrito como un intento racional de poner un valor en la propiedad mineral expresado en dinero. También se describe como una medida de la liquidez. Una definición más precisa es que el VAN es la diferencia entre el valor presente de los flujos de efectivo positivos y negativos, descontados a la hora actual a una tasa de interés predeterminada. Los analistas financieros lo definen simplemente como la suma de los flujos de efectivo descontados. El cálculo del VAN considera que los beneficios calculados de una empresa minera propuesta son una anualidad por la vida estimada de la mina. En términos simples, el VAN es el valor presente de la anualidad menos la inversión inicial y generalmente se expresa en millones de dólares.



El procedimiento NPV también puede usarse para ayudar a evaluar el valor de una mina operativa que está a la venta. Los cálculos requieren flujos de efectivo proyectados a intervalos regularmente espaciados (meses, trimestres o años). El VAN se puede calcular utilizando la fórmula dada a continuación, o utilizando una tabla de dólares de valor presente.

La mayoría de los programas informáticos de hojas de cálculo también proporcionan una función incorporada para calcular el VNA dada una serie de flujos de efectivo.

Para el cálculo del VAN, se tiene que determinar primero la tasa de descuento. Una cifra del 10-15% es común en la industria minera. El descuento normalmente consiste en la suma de dos componentes: la tasa de retorno segura más una tasa de riesgo. La tasa de retorno seguro es una tasa tangible del mercado real, proporcionada por una inversión alternativa segura, como las facturas o bonos del gobierno. La tasa de riesgo es la suma del costo de oportunidad base, el costo de transacción, el riesgo del proyecto, el técnico y el operacional.

b) Tasa interna de retorno

La tasa de retorno de la inversión (ROI, por sus siglas en inglés) o también llamada tasa interna de retorno (IRR, por sus siglas en inglés) es la rentabilidad de la inversión de capital inicial expresado como un porcentaje en que tanto el período de inversión de capital como el flujo de ingresos subsiguiente se descuentan a la fecha de inicio. Más sencillamente, puede describirse como la tasa máxima de interés que podría pagarse por el capital empleado durante la vida de la inversión minera sin que la empresa incurra en una pérdida.

La fórmula estándar dada a continuación define la tasa de rendimiento de la inversión como la tasa de descuento a la que el valor presente de los flujos de efectivo positivos es igual al valor actual de los flujos de efectivo negativos. Es el valor del "factor de descuento" en la fórmula anterior cuando se iguala a cero.

c) Plazo

La mayoría de los programas informáticos de hojas de cálculo también proporcionan una función incorporada para calcular la TIR; sin embargo, la IRR



también se puede calcular manualmente por ensayo y error e interpolación entre resultados.

El valor obtenido de este cálculo económico es tradicionalmente la medida más significativa de la factibilidad del proyecto. También se emplea comúnmente para clasificar escenarios alternativos para un proyecto individual o varios proyectos propuestos que compiten por recursos limitados.

Para confirmar o negar la viabilidad de un proyecto se establece una tasa de retorno límite. Al igual que la tasa de descuento desarrollada para el cálculo NPV, se puede decir que la tasa límite de retorno comprende la suma de una tasa segura y una tasa de riesgo arbitrario. Presumiblemente, el valor límite determinado para la tasa de retorno tiene una visión más conservadora del riesgo en cuenta que la tasa de descuento determinada para el VAN, ya que normalmente se encuentra que es al menos un 5% más alta.

El plazo de recuperación (también conocido como *payback*) es el período de tiempo que el flujo de caja acumulado podría igualar el capital de pre-producción invertido sin considerar el valor temporal del dinero. Es decir, el *payback* es el tiempo necesario para que las entradas de efectivo igualen las salidas de efectivo. Esta medida no se considera tan significativa como las otras dos (NPV e IRR). Una de las razones por las que se calcula es determinar si el proyecto cumple con el requisito empírico de que la devolución se produzca no más tarde de la fecha en que se agoten la mitad de las reservas de mineral. El reembolso se obtiene resolviendo el valor máximo de 'n' en la fórmula anterior (con un "factor de descuento" de cero) o inspeccionando la hoja de cálculo del flujo de caja.

2.2.8 Estimación de los costos de operación

El costo de operación depende del sistema de explotación, tamaño de yacimiento, su forma, grado de irregularidad, resistencia del mineral, resistencia de las cajas, carga de los terrenos, método de acceso y de preparación, tamaño de la producción y también el nivel de salarios. El sistema de explotación influye mucho sobre los trabajos de tajeo y de preparación y parcialmente sobre el transporte del mineral. Se debe buscar un compromiso entre los siguientes valores: precio de costo, factor de recuperación, factor de dilución. (Muñoz López, 2012).



Los índices de consumo de mano de obra, materiales y energía dependen de las propiedades de las rocas, de la mecanización de los trabajos y de la escala de producción. El consumo de explosivo en tajeo y preparación aumenta en roca dura. La carga de los terrenos es un factor de inseguridad de mantenimiento elevado y rendimiento mediocre. (Muñoz López, 2012).

El valor del costo depende también de la amortización de las inversiones, cuya norma se fija en relación con el tamaño y vida de la mina y de los gastos generales, cuyo valor absoluto se determina sobre todo por el tamaño de la producción, su estructura y las condiciones naturales. (Muñoz López, 2012).

Esas dificultades se centran en la búsqueda de correlaciones aceptables entre costos y métodos de explotación. Debido a la gran variedad de componentes de los costos totales de operación y las características tan particulares de cada una de las operaciones mineras, los estimadores de costos se encuentran con grandes problemas parara la determinación de los mismos. No obstante, se pueden utilizar los siguientes métodos:

- Método del proyecto similar
- Método de la relación costo – capacidad
- Método de los componentes del costo
- Método del costo detallado.

a) Método del proyecto similar

Consiste en suponer que el proyecto, procesos u objeto de estudio es semejante a otro ya existente del cual se conocen los costos. Aunque se disponga de una información detallada existen circunstancias y condiciones como son la geología local, el equipo en operación y la estrategia de la empresa hacen que se aparten mucho del proyecto en estudio. Por ello se utiliza otro sistema que consiste en aprovechar parte de los datos disponibles, como son los costos del personal y estimar los costos totales a partir de las relaciones conocidas entre los diversos componentes. (Muñoz López, 2012).

b) Método de la relación costo – capacidad

Este método se basa en el empleo de gráficos o formulas en los que se han



correlacionado los costos con las capacidades de producción de diferentes explotaciones. Esencialmente es el mismo método que se utiliza en la estimación de los costos de capital. La base estadística de la que se parte si no es homogénea amplia y puede dar lugar a la introducción de errores con este procedimiento de estimación. Los datos que han servido para la elaboración de tales relaciones deben estar referidos a un método de explotación específico, con condiciones geográficas y geológicas semejantes. La extrapolación de los costos a partir de los correspondientes a una capacidad de producción conocida se efectúa con fórmulas iguales a las del costo capital. Sin embargo la variación de los costos de operación es más compleja que la de los costos de capital y requiere una descomposición de los mismos. (*Muñoz López, 2012*)

c) Método de los componentes del costo

Cuando el proyecto ha progresado hasta el punto en que se conoce la plantilla de personal, las obras de infraestructura, los consumos de materiales, los equipos necesarios, es posible desarrollar un sistema de estimación de costos basado en los gastos unitarios o elementales tales como:

- Dólares/metro
- Dólares/tonelada

d) Método del costo detallado

Finalmente, los costos de operación deben deducirse a partir de los costos principales. Para ello es necesario conocer índices tales como consumo de combustible por hora de operación, vida de los útiles de perforación, consumos específicos de explosivo, accesorios de voladura y otros. En primer lugar, se fijan los criterios básicos de organización relativos a días de trabajo año, relevos al día y horas de trabajo por relevo. Seguidamente para los niveles de producción previstos se establecen los coeficientes de disponibilidad y eficiencia con los cuales se determinan la capacidad de los equipos necesarios y el número de estos. Por último para cada grupo de máquinas se elabora una tabla detallada indicando las distintas partidas que engloba el costo horario de funcionamiento: personal, materiales, consumos, desgastes, mantenimiento y servicios. Conociendo el número de horas necesarias para una determinada producción el costo horario de



la máquina que intervienen en dicho proceso se obtiene de manera inmediata el costo de operación. (Muñoz López, 2012).

Este procedimiento constituye el único método seguro para estimar los costos de operación de un proyecto. En la estimación de los costos horario de los equipos los conceptos que se deben tener en cuenta son:

1. Costos directos de funcionamiento

- a. Consumos
 - Energía eléctrica
 - Combustibles
 - Lubricantes
- b. Reparaciones
- c. Neumáticos
- d. Elementos de desgaste
- e. Operador

2. Costos indirectos

- a. Amortización
- b. Intereses del capital
- c. Seguros
- d. Impuestos

3. Imprevistos

El porcentaje de imprevistos se aplica sobre los costos de operación (directos, indirectos y generales) para tener en cuenta alguna eventualidad durante el periodo de trabajo. Estos problemas son debidos a condiciones climatológicas adversas, colapsos de terrenos, inundaciones. Las cifras que se utilizan varían entre el 10 a 25%, dependiendo del nivel de detalle de estimación de los costos. (Muñoz López, 2012).

Para el análisis de costos se utilizará los siguientes costos:

- Costos unitarios
- Costos directos



- Costos indirectos
- Costos totales

2.3 DEFINICIONES CONCEPTUALES

1. Frente

Es el lugar en donde se emplaza personal, para realizar el avance de una labor.

2. Parámetros

Se denomina así a las diversas ratios obtenidos en la práctica, a través de la observación en el lugar de trabajo.

3. Macizo rocoso

Es el conjunto de los bloques de la matriz rocosa y de las discontinuidades.

4. Yacimiento

Es la concentración u ocurrencia natural de uno o más minerales que se encuentra depositado en la naturaleza.

5. Desmonte de mina

Es el material estéril o mineral de baja ley (con una ley de mineral que se encuentra por debajo del nivel económico conocido como Cut Off) que se obtiene al momento de realizar el corte de mineral en la operación de mina o que es obtenido como material de desbroce.



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 DISEÑO METODOLÓGICO

Según las características del proyecto de investigación es de tipo descriptivo y experimental, el estudio se refiere a la optimización de Capex - Opex explotación de los desmontes de mineral estaño de baja ley mediante la tecnología Ore Sorting en la Unidad Minera San Rafael, MINSUR S.A. – 2019.

La metodología para desarrollar el presente proyecto de investigación, consistirá en su primera etapa en realizar la evaluación de los Capex - Opex en la explotación de los desmontes de mineral de estaño de baja ley mediante la tecnología Ore Sorting que significa selección de mineral con sensores que reconocen el mineral a base de color, densidad atómica, transparencia o conductividad. En dicha evaluación se considerará la selección de mineral de estaño con sensores, granulometría, ley del desmonte, recuperación, dichos controles se realizarán durante 12 días equivalente a 24 guardias. Posteriormente en el proyecto de investigación se analizará, la recuperación de toneladas del mineral de estaño, la ley del mineral y la cotización en el mercado de metales. Los datos se registrarán en las fichas de control correspondiente. Finalmente, con los resultados obtenidos se realizará el análisis comparativo de los costos de explotación y los beneficios obtenidos mediante la tecnología Ore Sorting en la Unidad Minera San Rafael – MINSUR-S.A.

3.2 POBLACIÓN

La población considerada para el estudio de investigación está constituida por los desmontes de mineral de la Cancha I, Cancha II y Cancha III, con una ley de 0,3 % de estaño en la Unidad Minera San Rafael - MINSUR S.A.

3.3 MUESTRA

Para la muestra se ha considerado los desmontes de mineral de la Cancha II con una ley de 0,8 % de estaño en la Unidad Minera San Rafael - MINSUR S.A.



3.4 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

3.4.1 Variable independiente

La tecnología de Ore Sorting en la Unidad Minera San Rafael - Minsur S.A.

3.4.2 Variable dependiente

Optimización de Capex – Opex en la explotación de desmontes de mineral estaño de baja ley en la Unidad Minera San Rafael - Minsur S.A.

Tabla N° 1

Operacionalización de Variables

VARIABLES	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN
Variable independiente La tecnología de Ore Sorting en la Unidad Minera de San Rafael – Minsur S.A.	- Producción - Recuperación	- Tm - %
Variable dependiente Optimización de Capex-Opex en la explotación de desmontes de mineral estaño de baja ley en la Unidad Minera de San Rafael – Minsur S.A.	- Costo de capital - Costo de equipos - Costo de producción	- US\$ - US\$/Tm - US\$/Tm

Fuente: Unidad Minera San Rafael.

3.5 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

En las técnicas de recolección de datos se consideran procedimientos y actividades que permiten la obtención de la información necesaria para realizar el control de costos, libretas de campo, formatos de control de datos, cámara fotográfica y equipos de escritorio.



Reporte diario de operación

- Equipos utilizados
- Producción
- Número de horas operadas de los equipos.

Reporte mensual de operación.

- Equipos utilizados
- Producción
- Número de horas operadas de los equipos.



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS

El estudio se ha realizado en los desmontes de mineral de la Cancha II, con una ley de 0,5 a 0,8 % de estaño, la recuperación es con la tecnología Ore Sorting en la Unidad Minera San Rafael - MINSUR S.A.

Los Ore Sorting son clasificadores que incorporan sensores unidos a un potente procesador de datos.

Los sensores reconocen el material objetivo sobre la base de características como color, densidad atómica, transparencia o conductividad.

La tecnología Ore Sorting contribuye a prolongar la vida útil de la mina y aumentar el valor global del yacimiento.

Actualmente se ha construido una planta de Ore Sorting en Minsur Unidad San Rafael en Puno cuya capacidad es de 200 t/h

Producción	:	2 800Tm/día
Ley del Sn	:	De 0.80% se eleva a 2.5 %
Granulometría	:	-75 mm a +8 mm
% Estéril/Mineral	:	80/ 20
Procesos	:	Chancado primario / Zaranda

Tecnología adecuada para tratamiento de minerales de baja Ley y leyes marginales.

Mayor disponibilidad de la capacidad de la planta de beneficio.

Menor consumo de energía y agua en los procesos siguientes.

Tabla N° 2

Producción de estaño en la cancha II

RUBRO	DIARIO Tm/día	MENSUAL Tm/mes	ANUAL Tm/año
Producción	2800	72 800	873 600

Fuente: Unidad Minera San Rafael

4.2 CONTRASTACIÓN DE LAS HIPÓTESIS

HIPOTESIS 1.

Mediante la tecnología Ore Sorting se optimizará los Capex en la explotación de los desmontes de mineral estaño de baja ley en la Unidad Minera San Rafael - MINSUR S.A. – 2019.

4.3 INVERSION (CAPEX)

4.3.1 Activos fijos

Anteriormente según los archivos de la Unidad Minera San Rafael se tiene una inversión histórica mayor que la inversión actual. (Ver Tabla 2).

Tomando en consideración el esquema específico del consolidado de inversiones mostrado en las tablas correspondientes se muestran el consolidado de activos fijos y sus respectivos rubros que lo componen en las siguientes tablas.

4.3.2 Inversión anterior requerida en la Planta Ore Sorting

Para el tratamiento de los desmontes de estaño provenientes de la Cancha II, se ha instalado una planta de clasificación de minerales mediante la tecnología Ore Sorting, cuya instalación ha requerido una inversión mayor que el actual debido a que estaba en la etapa de prueba (Ver Tabla 3).

Tabla N° 3

Equipos requeridos en la planta Ore Sorting Anterior

ITEM	DESCRIPCIÓN	UND. MEDIDA	CANT.	PRECIO \$	TOTAL \$
1.00	ZONA CHANCADO				
1.01	Tolva de Gruesos de 16m3	Und	1	198,600.00	198,600.00
1.02	Alimentador Vibratorio	Und	1	49,300.00	49,300.00
1.03	Zaranda Escalper	Und	1	58,200.00	58,200.00
1.04	Chancadora Trío	Und	1	450,000.00	450,000.00
1.05	Electroimán Estacionario	Und	1	25,500.00	25,500.00
1.06	Faja Electroimán	Und	1	28,300.00	28,300.00
1.07	Faja Muestreador	Und	1	250,000.00	250,000.00
1.08	Faja 1	Und	1	187,000.00	187,000.00
1.09	Faja 11	Und	1	170,000.00	170,000.00
1.10	Faja 12 "Z"	Und	1	615,000.00	615,000.00
2.00	ZONA CLASIFICACIÓN				
2.01	Zaranda Doble Piso	Und	1	1,200,500.00	1,200,500.00
2.02	Zaranda Triple Piso	Und	1	1,558,900.00	1,558,900.00
2.03	Chancadora Cónica HP 200	Und	1	380,000.00	380,000.00
2.04	Faja 3	Und	1	180,000.00	180,000.00
2.05	Faja 8	Und	1	170,000.00	170,000.00
2.06	Fajas 4, 5, 6, 7, 9	Und	5	192,000.00	960,000.00
2.07	Mallas	Und	15	7,500.00	112,500.00
2.08	Montaje Edificio de Clasificación	Und	1	1,750,900.00	1,750,900.00
3.00	ZONA SORTER				
3.01	Tolvas	Und	5	36,500.00	182,500.00
3.02	Belt Feeders	Und	5	110,000.00	550,000.00
3.03	Feeders	Und	5	180,500.00	902,500.00
3.04	Zarandas de Seguridad	Und	5	200,000.00	1,000,000.00
3.05	Cámara Sorter	Und	5	350,600.00	1,753,000.00
3.06	Sorter marca TOMRA	Und	4	1,480,000.00	5,920,000.00
3.07	Fajas	Und	4	182,900.00	731,600.00
3.08	Montaje Edificio Sorter	Und	1	1,700,500.00	1,700,500.00
4.00	SUB ESTACIÓN ELÉCTRICA				
4.01	Sub Estación Eléctrica 10 KV	Und	1	278,650.00	278,650.00
5.00	IMPREVISTOS				
5.01	Imprevistos	Glb	1	1,118,173.00	1,118,173.00
	TOTAL				22,481,623.00

Fuente: Unidad Minera San Rafael

4.3.3 Inversión actual requerida en la Planta Ore Sorting

Para tratar los desmontes de estaño provenientes de la Cancha II, se ha instalado una planta cuya instalación ha requerido la siguiente inversión (Ver Tabla 4).

Tabla N° 4
Equipos requeridos en la planta Ore Sorting Actual

ITEM	DESCRIPCIÓN	UND. MEDIDA	CANT.	PRECIO \$	TOTAL \$
1.00	ZONA CHANCADO				
1.01	Tolva de Gruesos de 16m3	Und	1	198,600.00	198,600.00
1.02	Alimentador Vibratorio	Und	1	49,300.00	49,300.00
1.03	Zaranda Escalper	Und	1	58,200.00	58,200.00
1.04	Chancadora Trío	Und	1	450,000.00	450,000.00
1.05	Electroimán Estacionario	Und	1	25,500.00	25,500.00
1.06	Faja Electroimán	Und	1	28,300.00	28,300.00
1.07	Faja 1	Und	1	187,000.00	187,000.00
1.08	Faja 11	Und	1	170,000.00	170,000.00
1.09	Faja 12 "Z"	Und	1	615,000.00	615,000.00
2.00	ZONA CLASIFICACIÓN				
2.01	Zaranda Doble Piso	Und	1	1,200,500.00	1,200,500.00
2.02	Zaranda Triple Piso	Und	1	1,558,900.00	1,558,900.00
2.03	Chancadora Cónica HP 200	Und	1	380,000.00	380,000.00
2.04	Faja 3	Und	1	180,000.00	180,000.00
2.05	Faja 8	Und	1	170,000.00	170,000.00
2.06	Fajas 4, 5, 6, 7, 9	Und	5	192,000.00	960,000.00
2.07	Mallas	Und	15	7,500.00	112,500.00
2.08	Montaje Edificio de Clasificación	Und	1	1,750,900.00	1,750,900.00
3.00	ZONA SORTER				
3.01	Tolvas	Und	4	36,500.00	146,000.00
3.02	Belt Feeders	Und	4	110,000.00	440,000.00
3.03	Feeders	Und	4	180,500.00	722,000.00
3.04	Zarandas de Seguridad	Und	4	200,000.00	800,000.00
3.05	Cámara Sorter	Und	4	350,600.00	1,402,400.00
3.06	Sorter marca TOMRA	Und	4	1,480,000.00	5,920,000.00
3.07	Fajas	Und	4	182,900.00	731,600.00
3.08	Montaje Edificio Sorter	Und	1	1,700,500.00	1,700,500.00
4.00	SUB ESTACIÓN ELÉCTRICA				
4.01	Sub Estación Eléctrica 10 KV	Und	1	278,650.00	278,650.00
5.00	IMPREVISTOS				
5.01	Imprevistos	Glb	1	1,118,173.00	1,118,173.00
	TOTAL				21,354,023.00

Fuente: Unidad Minera San Rafael

HIPOTESIS 2.

Mediante la tecnología Ore Sorting se minimizará los Opex en la explotación de los desmontes de mineral estaño de baja ley en la Unidad Minera San Rafael - MINSUR S.A. – 2019.

4.4 COSTOS (OPEX)

Tomando en consideración el esquema específico del consolidado de costos se muestra la estructura de costos de la explotación de estaño mediante la tecnología Ore Sorting. (Ver Tabla 5)

Tabla N° 5
Estructura de costos de la explotación de desmontes de estaño
TASA DE CAMBIO: 1\$ U.S.A. A S/. 3.35

RUBROS	VALOR UNITARIO (S/.)	TOTAL EN \$ U.S.A.
I. COSTOS DE PRODUCCION:		1 171 641.59
1.1 COSTOS DIRECTOS:		399 151.17
a) Mano de obra directa	SUELDO	273 492.54
Jefe de guardia	4 500	16 119.40
Operadores técnicos (3)	2 600	27 940.29
Operador volquete (6)	2 400	51 582.09
Operador cargador frontal (2)	2 600	18 626.87
Operador Excavadora (2)	2 600	18 626.87
Supervisor de limpieza (3)	5 800	5 194.03
Operadores de limpieza (9)	4 200	135 402.99
b) Materiales directos		125 658.63
- Combustible		90 402.38
- Accesorios		35 256.25
1.2 COSTOS INDIRECTOS:		772 490.42
a) Mano de obra indirecta.	SUELDO	98 149.27
Superintendente	8 000	28 656.72
Ingeniero de Seguridad	6 000	21 492.54
Ingeniero jefe de planta	6 000	21 492.54
Maestro mecánico (1)	3 200	11 462.69
Ayudante de mecánica (2)	2 100	15 044.78
c) Mantenimiento de maquinaria. 3 %		637 075.50
d) Materiales indirectos.		37 265.65

Fuente: Unidad Minera San Rafael, MINSUR S.A.

4.5 COSTOS DE PRODUCCIÓN (OPEX)

Tomando en consideración el esquema específico del consolidado de costos de producción, se especifica en la Tabla 6.

Tabla N° 6
Consolidado de costos de producción anterior

DETALLE	DÓLARES
Mano de obra directa	273 492.54
Mano de obra indirecta	98 149.27
Materiales directos	125 658.63
Materiales indirectos	37 265.65
Imprevistos 5%	26 728.30
Total	561 294.39

Fuente: Unidad Minera San Rafael, MINSUR S.A.

Tabla N° 7
Consolidado de costos de producción optimizado

DETALLE	DÓLARES
Mano de obra directa	246 143.29
Mano de obra indirecta	88 334.34
Materiales directos	113 092.77
Materiales indirectos	33 539.09
Imprevistos 5%	24 055.52
Total	505 165.82

Fuente: Unidad Minera San Rafael, MINSUR S.A.

4.6 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Según los resultados obtenidos en la Tablas 5, 6 y 7, los costos de producción mediante la tecnología Ore Sorting, se resume que los costos se han optimizado de 561 294.39 US\$ a 505 165.82US\$, con una diferencia 56 128.57 US\$, en la Unidad Minera San Rafael, MINSUR S.A.



V. CONCLUSIONES

Mediante la tecnología de Ore Sorting para la explotación de los desmontes de estaño, la inversión (Capex) se ha optimizado de 23 481 623 US\$ a 22 297 643 US\$, con una diferencia de 1 183 980 US\$ en la Unidad Minera San Rafael - MINSUR S.A. – 2019.

Mediante la tecnología de Ore Sorting los costos (Opex) de explotación para la recuperación de los desmontes de estaño, se ha optimizado de 561 294.39 US\$ a 505 165.82 US\$, con una diferencia de 56 128.57 en la Unidad Minera San Rafael - MINSUR S.A. – 2019.



VI. RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar un estudio detallado de los equipos requeridos para planta de tratamiento con la tecnología Ore Sorting para optimizar las inversiones en los equipos en la Unidad Minera San Rafael MINSUR S.A.

Se debe realizar el estudio de los costos unitarios y el personal requerido en la planta de tratamiento de los desmontes de estaño en la Unidad Minera San Rafael MINSUR S.A.



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Clemente, Y. y Clemente, L. (2009): *Análisis de costos de operación en minería subterránea y Evaluación de proyectos mineros*, Edición Gráfica Industrial E.I.R.L., Perú
- Cutmore, y Eberhardt, (2002): *The Future of Ore Sorting in Sustainable Processing, Green Processing Conference*, Australia.
- Foggiatto, (2014): *The economics of large scale ore sorting, Technical solutions, Ausenco Servicios Ltd*, Australia.
- Gallegos, (2017), *Evaluación económica de alternativas para la explotación y tratamiento de mineral marginal mediante “ore sorting” y lixiviación en pilas en U.P. Alpacay*, Minera Yanaquihua S.A.C., Arequipa-Perú.
- Wotruba, (2011): *Potential of sensor-based sorting for the gold mining industry*, World Gold, Canadá.
- Wotruba, y Harbeck, (2010): *Sensor-Based Sorting, Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*, 7th, Estados Unidos
- Arteaga, (1997): *Manual de Evaluación Técnico Económica de Proyectos Mineros de Inversión*, Instituto Tecnológico Geominero de España, España.
- Bustamante, (2013): *Métodos de valorización de empresas mineras: un análisis para el caso peruano 2008 – 2013*, Perú.
- Bustillo, y López, (1997): *Manual de Evaluación y Diseño de Explotaciones Mineras*, Entorno Gráfico S.L., España.
- Muñoz, (2012) *Estimación de costos de producción en operaciones mina*.



ANEXOS

ANEXO N° 1

PLANO DE UBICACIÓN





ANEXO N° 2

PLANTA ORE SORTING



ANEXO N° 3

PRUEBA DE ORE SORTING

