

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA

FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS, GEOLOGÍA Y CIVIL

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



**“APLICACIÓN DE INDICADORES KPI’S PARA REDUCIR LOS COSTOS DEL
CICLO OPERATIVO DE EXPLOTACIÓN, UNIDAD MINERA APUMAYO 2022”**

PRESENTADO POR EL BACHILLER: NUÑEZ VARGAS JOEL

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO DE MINAS

ASESOR

Dr. VICTOR FÉLIX FLORES MORENO

AYACUCHO - PERÚ

2022

DEDICATORIA

En estas líneas quiero expresar mi eterna
gratitud con Dios.

A mis padres por ser el pilar de formación
y el motivo de cada meta.

AGRADECIMIENTO

Mi más grande agradecimiento a la UNSCH, por las enseñanzas, que hoy me permiten lograr este propósito.

A mis docentes por los conocimientos impartidos.

Al Dr. Víctor Félix Flores Moreno, por asumir conmigo el reto y guiarme y acompañarme en este último peldaño que me permite lograr el sueño anhelado.

RESUMEN

La tesis para optar el título de ingeniero de minas por la universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga denominada **“APLICACIÓN DE INDICADORES KPI’S PARA REDUCIR LOS COSTOS DEL CICLO OPERATIVO DE EXPLOTACION, UNIDAD MINERA APUMAYO 2022”**, tiene por propósito conocer de qué manera la aplicación de indicadores kpi’s permite reducir los costos del ciclo operativo de explotación, unidad minera Apumayo 2022.

La metodología empleada responde a una investigación de tipo aplicada, de nivel descriptivo - explicativo, con un diseño cuasi experimental. La población del presente estudio se conformó por las operaciones mineras de la Unidad Minera Apumayo, la muestra estuvo conformado por todos los procesos del ciclo de minado: Perforación, Voladura, Carguío y Transporte

El principal resultado del análisis expuesto es: el Periodo I tiene un Cash Flow negativo, debido a que se extrajo mayor desmonte y a partir de abril entra planta en operaciones, mientras que para los Periodos II y III, el Cash Flow es positivo, en vista que se extrajo con normalidad las toneladas de mineral presupuestadas. En consecuencia, al final del año se obtiene una Cash Flow de US\$ 4,830,913.28.

Palabras clave: Ciclo de minado, rendimiento indicadores KPI’s

ABSTRACT

The purpose of the thesis to obtain the title of mining engineer from the National University of San Cristobal de Huamanga called "APPLICATION OF KPI'S INDICATORS TO REDUCE THE COSTS OF THE OPERATIVE CYCLE OF EXPLORATION, MINING UNIT APUMAYO 2022", is to know how the application of KPI'S indicators allows reducing the costs of the operational cycle of exploitation, mining unit Apumayo 2022.

The methodology used is an applied research, descriptive-explanatory, with a quasi-experimental design. The population of this study was formed by the mining operations of the Apumayo Mining Unit, the sample was formed by all the processes of the mining cycle: Drilling, Blasting, Loading and Transportation.

The main result of the above analysis is: Period I has a negative Cash Flow, due to the fact that more waste was extracted and as of April the plant starts operations, while for Periods II and III, the Cash Flow is positive, since the budgeted tons of ore were extracted normally. Consequently, at the end of the year the Cash Flow is US\$ 4,830,913.28.

Key words: Mining cycle, performance, KPI's indicators.

Índice de contenido

ASESOR	¡Error! Marcador no definido.
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
RESUMEN	vi
ABSTRACT	vii
Índice de contenido	viii
Índice de figuras.....	x
Índice de tablas	xi
Índice de anexos.....	xiii
INTRODUCCIÓN	1
Capítulo I	2
Planteamiento del Problema	2
1.1. Descripción de la realidad problemática	2
1.2. Formulación del problema	3
<i>1.2.1. Problema General</i>	3
<i>1.2.2. Problemas Específicos</i>	3
1.3. Objetivos	4
<i>1.3.1. Objetivo General</i>	4
<i>1.3.2. Objetivos Específicos</i>	4
1.4. Justificación	4
1.4.1. Justificación teórica	4
1.4.2. Justificación práctica	4
1.4.3. Justificación económica	5
1.5. Limitaciones	5
1.6. Hipótesis	6
<i>1.6.1. Hipótesis General</i>	6
<i>1.6.2. Hipótesis Específico</i>	6
1.7. Variables e Indicadores	6
<i>1.7.1. Variable Dependiente</i>	6
1.7.2. Variable Independiente:.....	6

Capítulo II	8
Marco Teórico.....	8
2.1. Generalidades	8
2.1.1. Ubicación	8
2.1.2. Geología	10
2.2. Antecedentes de la Investigación	13
2.3. Bases Teóricas	17
2.3.1. Planeamiento de Minado	17
2.3.2. Horizontes de Planificación minera.....	18
2.3.2.1. Planeamiento de minado a Corto Plazo	18
2.3.2.2. Planeamiento de minado a Mediano Plazo	19
2.3.2.3. Planeamiento de minado a Largo Plazo.....	20
2.3.3. Diseño de Mina.....	20
2.3.3.1. Generación de pits anidados	21
2.3.3.2. Selección de fases	22
2.3.3.3. Secuenciamiento y construcción del plan de producción	23
2.3.4. Ciclo de Minado	23
2.3.5. Gestión de tiempos en Operación Mina	24
2.3.6. Indicadores Claves de Desempeño (KPI's).....	27
2.3.6.1. Características de los KPI's	27
2.3.6.2. Ventajas de los KPI's.....	28
2.3.6.3. Sistema de Indicadores	28
2.3.7. Indicadores Operacionales de Mina	29
2.3.7.1. KPI's de Perforación.....	29
2.3.7.2. KPI's de Voladura	30
2.3.7.3. KPI's Carguío	30
2.3.7.4. KPI's Transporte.....	31
2.3.8. Presupuestos en Minería.....	31
2.3.9. Herramientas de Control de Indicadores de Gestión.....	32
2.3.9.1. Análisis de Pareto	32
2.3.9.2. Diagrama de Ishikawa	33
2.4. Definiciones conceptuales	34

Capítulo III	36
Metodología de la Investigación.....	36
3.1. Tipo de Investigación	36
3.2. Diseño de Investigación	37
3.3. Población	38
3.4. Muestra	38
3.5. Muestreo	38
3.6. Metodología de trabajo	39
3.7. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	39
3.7.1. Técnicas de recolección de datos.....	39
3.7.2. Técnicas de análisis y procesamiento de datos.....	39
3.7.3. Procesamientos de datos	39
3.8. Equipos utilizados de recolección y procesamiento de datos	40
3.8.1. Equipos utilizados en la recolección de datos	40
3.8.2. Programas utilizados para el procesamiento de datos	41
3.1. Desarrollo de la investigación.....	41
3.9. Descripción de las etapas de Investigación	41
3.9.1. Programa de Minado y Presupuesto del Periodo I (Periodo Preliminar)	42
3.9.2. Programa de Minado y Presupuesto del Periodo II (Línea Base)	44
3.9.3. Programa de Minado y Presupuesto del Periodo III (Periodo Meta)	46
3.9.4. Plan de llenado al botadero.....	47
3.10. Método de Explotación	48
3.11. Diseño de Mina	50
3.11.1. Aspectos Geomecánicos	50
3.12. Ciclo de Minado	57
3.12.1. Perforación.....	57
3.12.2. Voladura	60
3.12.3. Carguío	62
3.12.4. Transporte	62
3.13. Proceso Metalúrgico	64
3.13.1. Chancado	64
3.13.2. Lixiviación.....	64

3.13.3. Riego del Mineral	65
3.13.4. Conducción y recepción de las Soluciones en las Pozas PLS e ILS	66
3.13.5. Recuperación de la solución en planta “Merrill Crowe”	67
3.13.6. Componentes de la Planta Merrill Crowe.....	68
3.13.7. Clarificación	68
3.13.8. Desoxigenación.....	69
3.13.9. Separación del Precipitado	71
3.13.10. Fundición	72
3.13.11. Destrucción del Cianuro	73
3.13.12. Suministro de Energía.....	74
3.13.13. Abastecimiento de Agua.....	74
3.13.14. Servicios Auxiliares	75
}Capítulo IV	76
Resultados y Discusión	76
4.1. Diagrama por Áreas.....	76
4.2. Análisis de variables de estudio	79
4.3. Discusión de Resultados.....	83
Conclusiones	96
Recomendaciones	98
Bibliografía	99

Índice de figuras

Figura 1. Ubicación de Unidad Minera Apumayo	9
Figura 2. Geología regional de Apumayo	10
Figura 3. Metodología de la Planificación Minera	18
Figura 4. Flujo de proceso del planeamiento a corto plazo	19
Figura 5. Ilustración del carguío y acarreo	31
Figura 6. Diagrama de Ishikawa	33
Figura 7. Diseño de Investigación.....	37
Figura 8. Plan de llenado al Botadero Apumayo	48
Figura 9. Parámetros de Diseño del Pit Apumayo, 2021	55
Figura 10. Vista en planta de los Tajos Apumayo y Huamán Loma	56
Figura 11. Perforadora DM-45 de Atlas Copco.....	57
Figura 12. Aceros de perforación (Brocas) de DM-45 Atlas Copco	58
Figura 13. Diseño de Carga de taladros en la voladura de Apumayo, 2021	61
Figura 14. Equipo de carguío Excavadora CAT 345	62
Figura 15. Volquete Volvo FMX 440 de 22 m3 circulando en rampa	63
Figura 16. Planta Merrill Crowe, Apumayo 2021.....	65
Figura 17. Sistema de tuberías para riego de mineral	65
Figura 18. Diagrama de Flujo - Planta Merrill Crowe.....	67
Figura 19. Esquema de la planta Merrill Crowe	68
Figura 20. Filtros clarificadores con área de 1200 ft2 por unidad	69
Figura 21. Torre de vacío en la planta Merrill Crowe.....	70
Figura 22. Cono de precipitación en la planta Merrill Crowe	70
Figura 23. Filtro prensa en la planta Merrill Crowe.....	71
Figura 24. Diagrama de flujo de fundición y recuperación de polvos.....	72
Figura 25. Planta de destrucción del cianuro	74
Figura 26. Incidencia Costos por Áreas	76
Figura 27. Incidencia en Costos Mina	77
Figura 28. Resultado de Costos Unitarios del ciclo de Minado por periodos.....	91
Figura 29. Representación gráfica de los costos de operación en los 3 Periodos	93

Índice de tablas

Tabla 1.	Identificación de variables dependientes e independientes	7
Tabla 2.	Vía de acceso a Unidad Minera Apumayo – Ruta 01	8
Tabla 3.	Vía de acceso a Unidad Minera Apumayo – Ruta 02.....	9
Tabla 4.	Gestión del tiempo total.....	24
Tabla 5.	Listado de equipos de operación en UO de Apumayo	40
Tabla 6.	Programa de Minado Estimado Periodo I (largo plazo) 2021	42
Tabla 7.	Programa de Minado Ejecutado Periodo I (largo plazo) – 2021	43
Tabla 8.	Presupuesto Estimado Periodo I (largo plazo) 2021	43
Tabla 9.	Presupuesto Ejecutado Periodo I (largo plazo) 2021.....	43
Tabla 10.	Programa de Minado Estimado Periodo II	44
Tabla 11.	Programa de Minado Ejecutado Periodo II	44
Tabla 12.	Presupuesto OPEX Estimado Apumayo Mayo – Julio del 2021.....	45
Tabla 13.	Presupuesto OPEX Ejecutado Periodo II del 2021	45
Tabla 14.	Programa de Minado estimado del Periodo III - 2021	46
Tabla 15.	Programa de Minado ejecutado del Periodo III – 2021	46
Tabla 16.	Presupuesto OPEX y FORECAST estimado del Periodo III – 2021	47
Tabla 17.	Presupuesto OPEX y FORECAST ejecutado del Periodo III – 2021	47
Tabla 18.	Detalles del plan de llenado de desmonte al botadero.....	48
Tabla 19.	Criterio para la clasificación de la masa rocosa	51
Tabla 20.	Determinación de RMR básico en Apumayo Sur	52
Tabla 21.	Calidad de dominios estructurales (DE) - Área Apumayo	53
Tabla 22.	Resumen de calidades de la masa rocosa – Área Huamanloma	53
Tabla 23.	Parámetros Geométricos de Diseño.....	54
Tabla 24.	Dimensiones de los tajos	56
Tabla 25.	Leyenda de áreas y costo periodo.....	77
Tabla 26.	Datos iniciales y KPI's de perforación en el Periodo II y III	79
Tabla 27.	Datos iniciales y KPI's de voladura en el Periodo II y III.....	80
Tabla 28.	Datos iniciales y KPI's de carguío en el Periodo II y III.....	81
Tabla 29.	Datos iniciales y KPI's de transporte en el Periodo II y III.....	82
Tabla 30.	Cálculo rendimiento perforadora por día.....	84
Tabla 31.	Gestión de equipos de perforación por día	84

Tabla 32. Cálculo del costo por metro perforado	85
Tabla 33. Parámetros de Voladura.....	86
Tabla 34. Cálculo del costo por tonelada volada.....	86
Tabla 35. Rendimiento de Excavadora 345 en el Periodo II.....	87
Tabla 36. Rendimiento de Excavadora 345 en el Periodo III.....	87
Tabla 37. Rendimiento de Cargador Frontal 992C en el Periodo II.....	88
Tabla 38. Rendimiento de Cargador Frontal 992 en el Periodo III.....	88
Tabla 39. Rendimiento Horario del Volquete en Mineral en el Periodo II.....	89
Tabla 40. Rendimiento Horario del Volquete en Mineral en el Periodo III.....	89
Tabla 41. Rendimiento del Volquete en Desmote en el Periodo II.....	90
Tabla 42. Rendimiento del Volquete en Desmontes en el Periodo III.....	90
Tabla 43. Resultado de Costos Unitarios del ciclo de Minado por periodos.....	92
Tabla 44. Comparación de Costos Operativos entre Periodo II y III.....	92
Tabla 45. Comparación Costos de Operación Presupuestado vs Ejecutado.....	93
Tabla 46. Cash Flow Anual de los 3 Periodos.....	94

Índice de anexos

Anexo 1: Impactos identificados en la etapa de operación	101
Anexo 2: Excavadora 345	102
Anexo 3: Cargador CAT 992C para mineral	102
Anexo 4: Cargador CAT 992C para desmonte	103
Anexo 8: Volquete Volvo FMX 440	103

INTRODUCCIÓN

La minería es una actividad dinámica y compleja, donde pueden surgir costos elevados respecto a lo proyectado, por ello las organizaciones implementan medidas de control en sus diferentes procesos para reducir los costos y dar cumplimiento a lo planificado.

Este estudio se desarrolla en tres periodos de operación: Periodo I (Periodo Preliminar) entre enero y abril, que manifiesta elevada extracción de desmonte a alto costo, Periodo II entre mayo y julio, denominado “línea base” con un costo de 10.28 US\$/t y con las medidas correctivas, a través de la aplicación de los indicadores KPI’s, alcanzar costos unitarios más reales en las variables dependientes y evitar no ser rentable el proyecto, Periodo III, desarrollado entre agosto y diciembre, denominado “meta”, aplica presupuestos Opex y Forecast estandarizados en las operaciones del Grupo Aruntani, logrando un costo de producción de 8.56 US\$/t de mineral, el objetivo posterior es controlar y mejorar los indicadores en los posteriores escenarios de mediano y largo plazo, previamente se elaboró los indicadores de rentabilidad económica mediante la aplicación del VAN (Valor Actual Neto) y TIR (Tasa Interna de Retorno) para calcular el futuro financiero.

Esta tesis está dividida en capítulos detallándose de la siguiente manera: En el Capítulo I. Planteamiento del Estudio, se formula el problema, objetivos, hipótesis, justificación, limitaciones. En el Capítulo II de Marco Teórico, bases teóricas y definiciones de términos básicos. En el Capítulo III detalla la metodología estudio. En el Capítulo IV Plantea resultados y discusiones sobre reducción de costos y las medidas planteadas para la rentabilidad del proyecto.

Capítulo I

Planteamiento del Problema

1.1. Descripción de la realidad problemática

En la actualidad, a nivel mundial, las distintas empresas mineras llevan un monitoreo de sus operaciones, en donde implementan diversos mecanismos con el único fin de reducir costos y dar cumplimiento a las metas planificadas. Muchas empresas mineras que explotan oro y plata en América cuentan con KPI's que le proporcionan información de gran valor sobre sus operaciones en la etapa de explotación, logrando así obtener una ventaja competitiva y alcanzar mejoras a través del tiempo.

La unidad de Apumayo, es una empresa minera del grupo Aruntani, dedicada a la explotación de oro y plata con una producción de 10,000 toneladas diarias de mineral, presentando como problemática general un desbalance productivo en sus diversas actividades. Inicialmente en el año 2010 se contaba con una reserva estimada de 21'485,694 t de mineral y 49'107,887 t de desmonte con un Stripping de 2.3 y una Ley de 0,39 g/t de Au pero durante el periodo de desbroce, el modelo geológico no reflejaba la cantidad de reservas iniciales que se estimó, por ello, se desarrolló un programa de perforación de Sondajes DDH 2 e Infill Drilling³, con el objeto de sincerar los datos del modelo geológico de reservas, obteniendo una reducción en la estimación de ellas. Finalmente, las nuevas reservas estimadas fueron de 12, 600,000 t para Apumayo con leyes de 0.42 g/t de oro y 59.9 g/t de plata y un SR (Stripping Ratio) de 2.4 y para Huamanloma, 4,000,000 TM de reservas con 0.43 g/t de oro y un SR de 2.7, sumando un total de reservas de 16, 600,000 t. Para fines de evaluar la ejecución del proyecto se analiza su desarrollo por periodos, en este contexto: Periodo I entre enero a abril del 2021, con un SR promedio de 13.47 y un costo de producción de 28.77 US\$/t, este periodo demandó un elevado desbroce para descubrir el cuerpo

mineralizado generando altos costos operativos, por ello, en estas condiciones, hay un riesgo económico de inversión. Este desequilibrio productivo obliga a realizar el Periodo II por 03 meses entre mayo y julio con un nuevo Presupuesto OPEX y la aplicación de los indicadores de gestión KPI's (indicadores claves de rendimiento) con un plan de minado de explotación de bancos con mayores leyes en una secuencia de push back de 5 niveles o fases, logrando mejorar la producción de mineral y los rendimientos para diseñar la meta base con una ley de corte de 0.17 g/t de oro (Ver Anexo 2), y un costo de producción de 10.28 US\$/t en promedio, con un SR total del periodo igual a 3.52.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema General

¿De qué manera la aplicación de indicadores kpi's permite reducir los costos del ciclo operativo de explotación, unidad minera Apumayo 2022?

1.2.2. Problemas Específicos

- ❖ ¿Cómo es el plan de minado en la unidad minera Apumayo 2022?
- ❖ ¿Cuáles son las actividades del ciclo de minado con mayor incidencia en la unidad minera Apumayo 2022?
- ❖ Como la aplicación de los indicadores KPI's en los procesos con mayor incidencia permite identificar y mejorar su gestión de desempeño.
- ❖ ¿De que manera será posible la reducción de los costos operativos del ciclo de minad en la unidad minera Apumayo 2022?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Conocer de qué manera la aplicación de indicadores kpi's permite reducir los costos del ciclo operativo de explotación, unidad minera Apumayo 2022.

1.3.2. Objetivos Específicos

- ❖ Identificar cómo es el plan de minado en la unidad minera Apumayo 2022.
- ❖ Conocer cuáles son las actividades del ciclo de minado con mayor incidencia en la unidad minera Apumayo 2022.
- ❖ Determinar como la aplicación de los indicadores KPI's en los procesos con mayor incidencia permite identificar y mejorar su gestión de desempeño.
- ❖ Identificar de que manera será posible la reducción de los costos operativos del ciclo de minad en la unidad minera Apumayo 2022.

1.4. Justificación

1.4.1. Justificación teórica

El propósito de esta investigación es servir de marco orientador a directivos y técnicos de la Unidad Minera Apumayo para incrementar sus conocimientos técnicos sobre la aplicación adecuada de herramientas como los indicadores de desempeño KPI's.

1.4.2. Justificación práctica

Este estudio se justifica porque existe la necesidad de mejorar los costos operativos de los procesos del ciclo de minado a través de la aplicación de indicadores claves de desempeño teniendo en cuenta la eficiencia, eficacia, calidad y economía, garantizando los resultados económicos

adecuados para su rentabilidad obteniendo mejores resultados en los programas de largo plazo y evitando grandes pérdidas por no haber controlado las actividades productivas.

1.4.3. Justificación económica

Con el estudio se determinará qué tan efectivo es la aplicación de indicadores claves de desempeño en la optimización de sus costos operativos de perforación, voladura, carguío y transporte, así como verificar que los volúmenes de producción en la explotación de recursos mineros (oro y plata) se encuentren equilibrados con la inversión realizada, para permitir la optimización de los costos de explotación y este se refleje en la rentabilidad del proyecto.

1.5. Limitaciones

El análisis y evaluación de costos y presupuestos se basa en condiciones genuinas de la operación, y tendrá una aplicación específica en la unidad operativa Apumayo (Tajos Apumayo y Huamanloma), durante los meses Agosto – Diciembre del 2021. Es un trabajo de referencia para mediana minería, sin duda el tamaño de esta minería no es lo suficientemente atractivo para grandes inversionistas (compañías, corporaciones, etc.); pero debido al alcance descriptivo del modelo geológico 4 , que engloba un aproximado de 250,000 oz de mineral (Au), es lo suficientemente justificable para inversiones de empresas nacionales o locales; que generalmente utilizan equipos convencionales y cuyos métodos de exploración, perforación, carguío y transporte atienden a su propia naturaleza.

1.6. Hipótesis

1.6.1. *Hipótesis General*

La aplicación de indicadores kpi's permite reducir los costos del ciclo operativo de explotación, unidad minera Apumayo 2022.

1.6.2. *Hipótesis Específico*

- ❖ El plan de minado en la unidad minera Apumayo 2022
- ❖ Las actividades del ciclo de minado con mayor incidencia en la unidad minera Apumayo 2022.
- ❖ Como la aplicación de los indicadores KPI's en los procesos con mayor incidencia permite identificar y mejorar su gestión de desempeño.
- ❖ La reducción de los costos operativos del ciclo de minad en la unidad minera Apumayo 2022.

1.7. Variables e Indicadores

1.7.1. *Variable Dependiente*

Reducir los costos del ciclo operativo de explotación

Indicadores

- actividades del ciclo de minado
- gestión de desempeño
- reducción de los costos operativos del ciclo de minado

1.7.2. *Variable Independiente:*

Indicadores kpi's

Tabla 1. Identificación de variables dependientes e independientes

VARIABLES	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	INDICADORES	UNIDAD	
Independiente	Indicadores KPI's	Estos son los indicadores o valores cuantitativos que se pueden medir, comparar y monitorear, con el fin de exponer el desempeño de los procesos y trabajar en las estrategias de un negocio.	Se busca conocer los principales indicadores KPI's	➤ actividades del ciclo de minado	➤ Glb
			➤ gestión de desempeño	➤ KPI's	
			➤ reducción de los costos operativos del ciclo de minado	➤ s/	
Dependiente	Reducir los costos del ciclo operativo de explotación	son los costos de una compañía sobre actividades que no están conectadas directamente con la actividad primaria del negocio.	Se realizará el análisis de costos por actividad del ciclo de explotación minera.		

Capítulo II

Marco Teórico

2.1. Generalidades

2.1.1. Ubicación

“Apumayo propiedad de Compañía Minera Apumayo S.A.C. Se ubica en la provincia de Ayacucho, entre las provincias de Lucanas, Chaviña y Sancos; en las coordenadas 614 000 E, 8 349 000 N y 618 000 E, 8 000 E, 8 000 S, 618 000 E, 8 000 S en la provincia de Ayacucho”.

El acceso se realiza a través de la carretera Panamericana Sur hasta la ciudad de Nazca. Desde esta localidad se continúa siguiendo la ruta de la carretera Nazca – Puquio. Desde Puquio se prosigue por la carretera afirmada Puquio – Coracora, antes de llegar a Chaviña se continúa mediante el desvío a Sancos hasta el campamento del proyecto.

La U.M. Apumayo, es accesible por 2 rutas tal como se observa en las siguientes tablas:

Tabla 2. Vía de acceso a Unidad Minera Apumayo – Ruta 01

Ruta	km.	Tipo de Via	Tiempo (horas)
Lima - Nasca	444	Asfaltado	6
Nasca - Puquio	157	Asfaltado	3
Puquio - Desvió	58	Asfaltado	2
Desvió - Proyecto	13	Trocha Carrozable	0.5
TOTAL	672		11.5

Fuente: Área de Planeamiento

Tabla 3. Vía de acceso a Unidad Minera Apumayo – Ruta 02

Ruta	km.	Tipo de Via	Tiempo (horas)
Lima - Arequipa	700	Aérea	1
Arequipa - Imata	145	Carretera Asfaltada	2
Imata - Dv. A Parina	50	Carretera Afirmada	1
Dv. A Parina - Parina	20	Trocha Carrozable	1
Parina - Proyecto	10	Trocha Carrozable	0.5
TOTAL	925		5.5

Fuente: Área de Planeamiento



Figura 1. Ubicación de Unidad Minera Apumayo

Fuente: Área de Planeamiento

2.1.2. Geología

La mina Apumayo contiene depósitos de tipo sulfato ácido (alto sulfato) con alteración de sílice masiva, sílice vesicular, alunita, arcillosa y sílice propítica; en rocas volcánicas de composición andesítica.

Geología regional

El grupo fangoso. Según INGEMMET (1997), el Grupo Barroso incluye rocas volcánicas glaciares post-Formación Capilún y pre-Pleistoceno; El Pico Barroso, marcado por la glaciación cuaternaria, está fechado cronológicamente por edades K-Ar entre $0,7 \pm 0,2$ m.a.

Tosdal et al. (1981) correspondiente al Pleistoceno. Hay dos miembros llamados Volcánico Barroso Inferior y Volcánico Barroso Superior.



Figura 2. Geología regional de Apumayo

Fuente: Área de Planeamiento

Volcánico Barroso Inferior

Las instalaciones volcánicas muestran diversos grados de fallas, la mayoría de las cuales es ablación, y las estructuras volcánicas evolucionadas son estrato volcánicas. Se compone alternativamente de derrames y piroclastos; la primera corresponde a andesitas y traquiandesitas, la segunda a brechas y aglomerados volcánicos. Vale la pena señalar las ventajas del flujo piroclástico. Las rocas enumeradas están muy extendidas en la finca Chaviña.

Volcánico Barroso Superior

Litológicamente, el volcánico Barroso está representado por una serie de rocas piroclásticas, la parte inferior de las cuales consiste en ignimbrita masiva gruesa y vacuolas con piedra pómez, granos angulares de cuarzo, biotita, plagioclasas e intercapas luminales de vidrio volcánico; juntos tienen una separación esférica pronunciada. La nueva superficie de la roca es de color gris violáceo, y luego se meteoriza a un gris claro. La capa superior consiste en toba de brecha de color blanco anaranjado con una masa de fenocristales de plagioclasa de 1 a 2 mm compuesta de componentes clásticos finamente angulares a redondeados, principalmente lava.

Geomorfología

Examina las características geomórficas más relevantes del área de investigación y describe las principales formas geomórficas de su relieve, teniendo en cuenta el origen, la pendiente, la litología y la dimensión de la altura topográfica. También se estudiaron los procesos erosivos que afectan actualmente a su morfología. El propósito del estudio es crear un marco apropiado para el conocimiento de la topografía del área del proyecto minero

Apumayo para prevenir cualquier impacto negativo de las características geomórficas en el desarrollo del proyecto y evitar daños al medio ambiente y los recursos naturales.

El estudio se basa, por un lado, en el análisis de imágenes de satélite de alta resolución y la interpretación de fotografías visualizadas por el programa Google Earth Pro, el estudio de fotografías aéreas y mapas fotogramétricos a escala 1:25.000. Todos estos documentos, que fueron examinados en la primera fase del gabinete inicial, formaron la base de observaciones para su posterior verificación in situ, incluyendo puntos previamente establecidos y puntos de interés que se encuentran en la misma ruta.

Geología local

El proyecto consta de 2 prospectos en perspectiva: Huamán Loma y Apumayo. Geológicamente está formado por rocas volcánicas del Neógeno con dirección NE-SW (Morche & Macharé, 1997), pertenecientes a la Formación Barroz del Plioceno-Pleistoceno. La secuencia volcánica se superpone discordantemente a la Formación Aniso, que consiste en una secuencia sedimentaria volcánica del Mioceno superior. La mayoría de los plays que componen el área de Tambillos (Merino, 2000) consisten en domos de calcedonia-sílice con los correspondientes halos de alteración que divergen del centro: silicificación, alteración de alto grado, alteración neta y cianopanización; Todos están dispuestos en una secuencia volcánica. La geología local consta de los siguientes elementos:

Stocks y domos dacíticos. “Las reservas de domo y dacita se encuentran al este del Cello Ccasa; están dispuestos de norte a sur y forman una línea de cresta (Machare 1997). Se componen de fenocristales de biotita, plagioclasa, minerales opacos y cuarzo. Por su ubicación, podemos concluir que se trata de hechos tardíos.”.

Lava andesítica. “Es un evento de desbordamiento que sigue al final de un evento explosivo (piroclástico). Se observó una variación estructural de las lavas andesíticas de andesita porfídica a andesita afanítica, y la parte superior de los depósitos de lava estaba cubierta por estructuras en capas de escala centimétrica. piroclástico. Entre estos eventos explosivos que depositaron material piroclástico se encuentran depósitos de caída que llenaron el paleovalle (al oeste del Valle de Huamán Loma), donde se pudieron distinguir más de tres unidades eruptivas de toba volcánica y piedra pómez y fragmentos litoclasticos. (Morche, 1998, info. inter.), y piedras proliferantes”.

Geología estructural

Un estudio de interpretación fotográfica realizado por M. Baker (APC, 1996) identificó varios centros de alteración hidrotermal con orientación norte-sur y noroeste-sureste. Una tendencia norte-sur, incluyendo centros de alteración epitermal desde Piruruyoc hasta Ñahuato (aquí incluyendo todo el proyecto Apumayo), estará asociada al CVT (Complejo Volcánico Tambillos). Las fallas locales están asociadas con fallas regionales de tendencia NW y el rumbo de sus fallas transversales. Predominan las fracturas multidireccionales. Valores. Están ubicados en el extremo norte del centro de alteración epitermal de Cello Ccasa. Son intrusiones de forma irregular que se extienden por menos de 50 m, ligeramente elevadas de la superficie y compuestas de dacita que contiene feldespatos, biotita y cuarzo nativo.

2.2. Antecedentes de la Investigación

Artículos científicos

Vallenas (2018) en su artículo **“Implementación del proceso de gestión de backlog para generar el aumento del kpi disponibilidad en flota pesada camiones caterpillar 793d para Compañía Minera Antapaccay”** El objetivo fue implementar un proceso de gestión de backlog para mejorar el valor del Indicador de Disponibilidad KPI (AV%) de la flota de camiones pesados Caterpillar 793D de Compañía Minera Antapaccay ubicada en Espinal - Cusco, Perú.

La metodología consiste en revisar los procesos de mantenimiento para identificar puntos débiles y desarrollar oportunidades de mejora que contribuyan directamente al buen desempeño de la flota de camiones 793D de servicio pesado de Caterpillar. La implementación comienza con la identificación de oportunidades de tareas de atención pendientes, que junto con las tareas preventivas deben conformar una estrategia de plan de mantenimiento, un procedimiento adicional de recolección de información, así como la herramienta principal de órdenes de trabajo, donde se generará la información necesaria. que el proceso pueda comenzar Nota: la inversión es en capital humano con la expectativa de que los retornos se reflejen en nuevos conocimientos y habilidades adquiridas por los empleados. Los resultados obtenidos muestran que:

- Los valores de disponibilidad nos muestran que las siguientes (2012 - Tintaya operaciones completadas (2021) (88%, 84%)) durante la segunda fase (2014, 2015) (84, 5)%, 84,9%)".
- “Vemos estimados de costos de implementación del Proyecto (1,032,176.00) crecimiento de producción (3,569,591.00) en dólares estadounidenses. De la conclusión de que un buen valor de disponibilidad permite que la operación utilice los equipos necesarios, el INDICADOR KPI Disponibilidad muestra una tendencia ascendente a lo largo de 4 años, aumentando en más de

2 puntos porcentuales por año. Asimismo, al calcular el costo y la producción, podemos observar una rentabilidad de USD 3.880.628,00.

Schwarz (2018) presenta el artículo **“Análisis de indicadores clave de gestión (KPIs) en empresas multiproducto”** Su objetivo es analizar un método para integrar Indicadores Clave de Gestión (KPIs), particularmente adecuado para industrias multiproducto, con mediciones basadas en el concepto de "productos equivalentes", que permitan racionalizar los recursos y, por lo tanto, crear más valor para la empresa. El análisis de estrategias multiproducto utilizando parametros aplicables a los sectores minero, financiero y manufacturero muestra que un enfoque integrado de gestión multiproducto puede lograr una mayor productividad y rentabilidad de las empresas en comparación con los enfoques tradicionales de gestión basados en el análisis de productos o actividades.

Tesis

Coveña (2017), en su investigación **“Análisis de las cargas de trabajo del personal de mantenimiento preventivo, enfocado en la eficiencia del indicador clave de desempeño del mantenimiento preventivo (kpi-2), en el equipamiento del área de suelda de la empresa obb”**, quien concluyó: La redistribución actual de la frecuencia de mantenimiento preventivo tiene un efecto positivo en la carga de trabajo del operador, lo que significa que el área de mantenimiento puede ahorrar mucho tiempo y recursos muy valiosos. La redistribución adecuada y justa de la carga de trabajo optimiza los recursos disponibles y mejorará significativamente el rendimiento y la eficiencia del mantenimiento preventivo.

Durán (2010), es su tesis doctoral **“Indicadores de gestión al proceso de producción en la concesión minera “San Jorge 2”**; concluye lo siguiente: Las métricas de gestión evalúan el grado de cumplimiento de las áreas, departamentos o procesos que integran la empresa con las metas y objetivos y conducen a acciones, acciones correctivas y prevención de futuros problemas o riesgos que permitan a la empresa crecer de manera efectiva para un crecimiento continuo en el mercado. . La implementación de indicadores de gestión en el franquiciado “SAN JORGE 2” se desarrolla de acuerdo a la misión y visión, análisis DAFO, elaborando un plan estratégico para formular metas operativas que puedan ser alcanzadas en un determinado periodo de tiempo. Esto permitirá la medición de las metas establecidas en los objetivos de desempeño que esperan ser alcanzados.

Rodríguez (2017), es su investigación **“Implementación de indicadores kpi en los controles de los equipos “emperradores hammer bolt” para mejorar el rendimiento de los equipos en el Sosténimiento mecanizado – mina catalina huanca sociedad minera s.a.”**; concluye: El rendimiento de los equipos de minería se basa en la disponibilidad, la capacidad de servicio, la confiabilidad y el control de mantenimiento⁵, en el estudio de rendimiento del tornillo de cabeza de martillo encontramos un aumento del 8 % al 10 % en el rendimiento del soporte mecanizado, como se pronosticó en este estudio. Supervisó la reestimación de los costos operativos para el equipo Hammer Bolt Bolt, lo que resultó en ahorros proyectados de \$3,000 a \$5,000 cada uno. mes. Los mejores indicadores para este equipo son disponibilidad mayor al 85%, utilización mayor al 50% y confiabilidad. Al mantener los indicadores del tornillo de martillo en un valor óptimo, podemos garantizar 250 horas/ mes de funcionamiento sin problemas.

Checya (2015), llevó a cabo su tesis “**Gestión de la operación de equipos de movimiento de tierras para mejorar el rendimiento de carguío y acarreo en la mina Antapaccay**”, quien concluye: El costo unitario óptimo del carguío y acarreo bajó de 0,5452 US\$/TM (con 9 camiones) a 0,5094 US\$/TM (con un óptimo de 11 camiones) y una eficiencia operativa potencial del 88,76 %. El incremento de eficiencia operativa es de 21 ,0%.

2.3. Bases Teóricas

2.3.1. Planeamiento de Minado

“El Planeamiento es definir los objetivos y determinar los mejores medios para alcanzarlo. Es analizar los problemas en forma anticipada, planeando posibles soluciones e indicando pasos para llegar eficientemente a objetivos que la solución elegida señala (Velásquez Mastretta). El plan, constituye el resultado de todo proceso de planeamiento. De este modo, objetivos, política, estrategias, presupuestos, procedimientos, reglas y programas presentan diversas formas de planes. Un plan para cumplir su objetivo debe describir acciones y resultados y servir como guía de coordinación”. (Cóndor A., Nalvarte S., Stein M. y Ayala O, 2018). “El planeamiento de minado es establecer el volumen de mineral, la ubicación y el momento para extraerlo, con la finalidad de mantener una producción continua mensual”. (Ticllasuca, 2019, pág. 48).

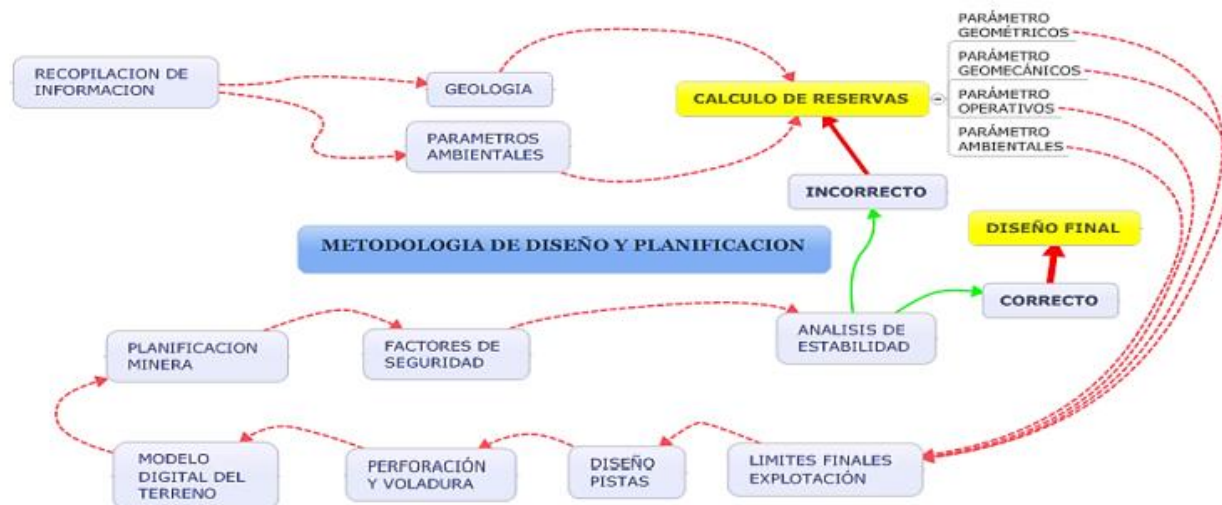


Figura 3. Metodología de la Planificación Minera

Fuente: Área de Planeamiento

2.3.2. Horizontes de Planificación minera

Entre los horizontes de la planificación minera se tienen tres tipos: planificación de largo, mediano y corto plazo.

2.3.2.1. Planeamiento de minado a Corto Plazo

“Comprende un periodo hasta de un año, en los cuales es característico los planeamientos mensuales, trimestrales y anuales. (Cóndor A., Nalvarte S., Stein M. y Ayala O., 2018). Generalmente, el planeamiento a corto plazo contempla aspectos de detalle de ingeniería, para las diferentes áreas, tales como: desarrollo primario, exploraciones, preparaciones, minado y diseño generales”. (Ticllasuca, 2019, pág. 54).

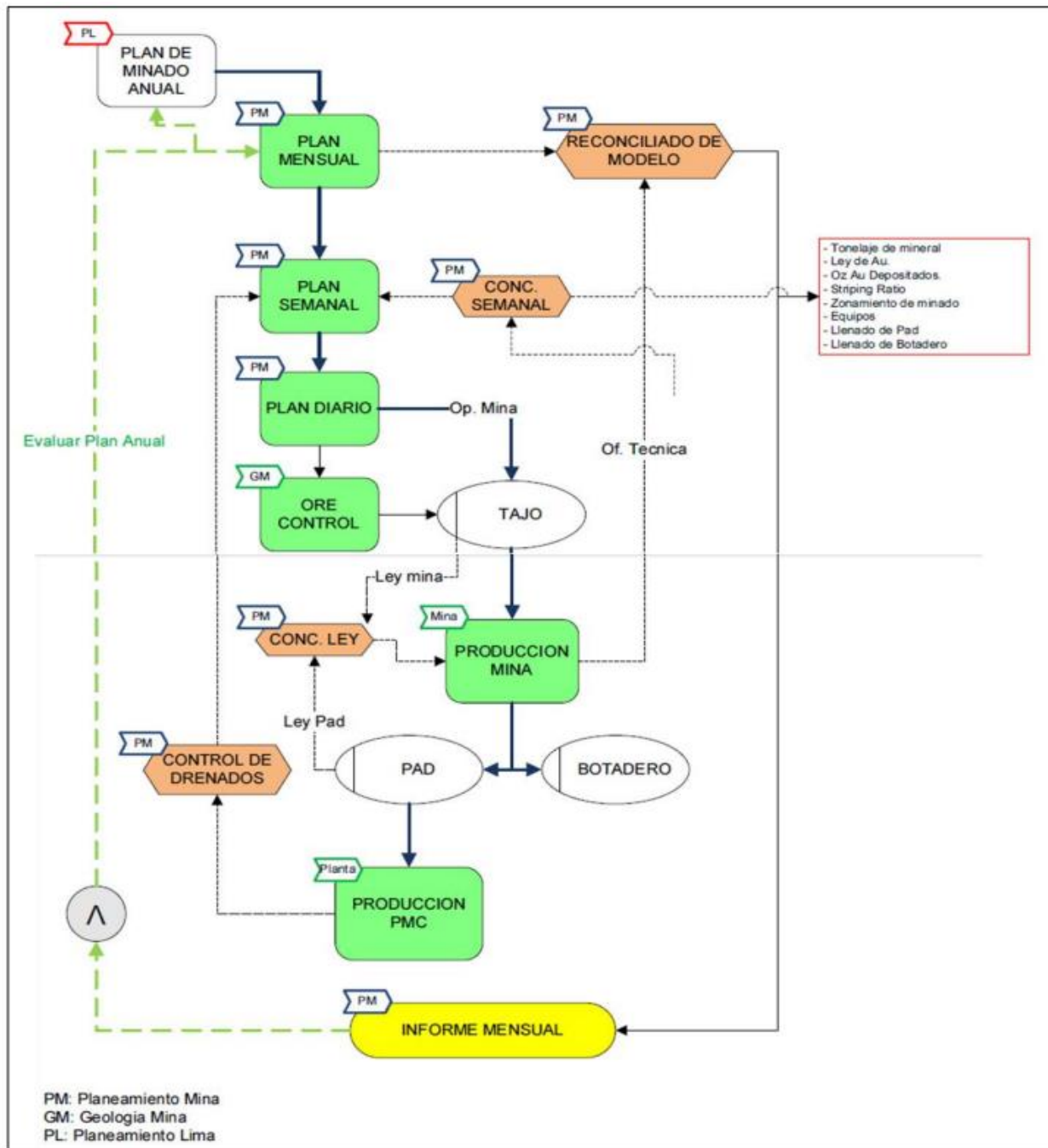


Figura 4. Flujo de proceso del planeamiento a corto plazo

2.3.2.2. Planeamiento de minado a Mediano Plazo

La planificación a medio plazo es mayor que la planificación a corto plazo. Teniendo en cuenta las características del yacimiento y las fluctuaciones en los precios del mercado de metales, se pueden considerar períodos de uno a tres años. (Cóndor A., Nalvarte S., Stein M. y

Ayala O., 2018) Según el alcance de la actividad y/o política de la empresa, dónde se encuentran las metas y objetivos a alcanzar son predecibles, el plan de trabajo en el sentido más amplio es más que el anterior. Más planificación, pero por supuesto se toman en cuenta aspectos paramétricos de la minería, tales como: plan de desarrollo, tonelaje, calidad, costo y presupuesto objetivo. (Ticllasuca, 2019, pág. 55).

2.3.2.3. Planeamiento de minado a Largo Plazo

Es esencialmente un plan conceptual que establece la estrategia global de la empresa durante un período de más de 5 años y, por lo general, continúa hasta que se gasta el depósito. (Ticllasuca, 2019, pág. 56). El nivel de planificación alcanza un nivel superior, donde se planifica una estrategia general de optimización de costos, recursos e inversiones a nivel de empresa.

2.3.3. Diseño de Mina

Este es un estudio técnico y económico del proyecto minero, porque nos da no solo las reservas económicas a explotar, sino también con cada tiro de mina, la pendiente en los diferentes niveles, la minería que dará mayor rentabilidad, la ubicación de el tonelaje y la calidad del tonelaje de residuos. El último hoyo es el límite minero y es por tanto el límite entre el material que se considera reserva y el resto del recurso. Esta es una superficie geométrica cónica impuesta a expensas del recurso, cuya forma y dimensiones están determinadas por factores económicos, geológicos y geotécnicos.

Para determinar el tajo final, es necesario evaluar económicamente el modelo de bloques y definir el ángulo de la pendiente, y luego utilizar alguna de las técnicas disponibles para la generación del tajo, como el cono flotante (Pana, 1965) o el algoritmo de Lerchs-Grossman (1965), para maximizar el valor económico del pozo en el Bloque Interior. (Bastian Rudloff, 2021).

2.3.3.1. Generación de pits anidados

Un problema importante en la planificación minera corresponde a la determinación del tajo final. Se entiende por foso un perfil que limita la extracción de material del material sin remover y al mismo tiempo cumple con los requisitos técnico/económicos necesarios. El propósito de esta definición es encontrar la diferencia máxima entre los beneficios de extraer el mineral en cuestión y los costos asociados con la extracción y el procesamiento. En el proceso final óptimo de selección de pozos, los pozos anidados se construyen con base en un modelo de bloque representativo del campo en estudio, utilizando un algoritmo multiplicador relacionado con el costo de extraer cada bloque del campo Lerchs & Grossman (Lerchs). H. Grossman I. F. 1965). Para cada conjunto de parámetros económicos, el algoritmo genera un agujero que maximiza el valor obtenido de los bloques en él. Esto significa que para cada factor de ingreso (factor multiplicador) se genera una brecha correspondiente a la restricción de selección vertical asociada con el ángulo de la pendiente.

A continuación se muestra un modelo simplificado de los beneficios del bloque y el efecto de los factores de ingreso sobre el mismo:

Donde:

- Beneficio: Beneficio percibido por la extracción del bloque.
- Ingresos: Ingreso percibido por la posterior venta del bloque de mineral.
- Costos: Costo asociado a la extracción y procesamiento del bloque.
- Ton: Tonelaje del bloque evaluado.
- Ley: Ley de mineral del bloque evaluado.
- RM: Recuperación metalúrgica.

- Precio: Precio del mineral contenido en el bloque.
- RF: Revenue factor o factor multiplicador del precio.
- Cm: Costo mina asociado a la extracción del bloque.
- Cp: Costo planta asociado al procesamiento del bloque.
- CFyR: Costo asociado a la fundición y refinación del bloque.

A partir de la variación del factor ingreso, multiplicado por el precio, se obtiene una serie pit óptima para cada uno de estos factores. Es importante tener en cuenta que la generación de tajos anidados se realiza de modo que al principio del ciclo de vida de la mina, los bloques que son principalmente de mayor valor o menores costos asociados se pueden obtener con un mayor flujo de ingresos a una valoración en efectivo descontada. Las ideas mencionadas en el párrafo anterior se explicarán con más detalle en la siguiente fase del proceso de planificación a largo plazo. (Bastian Rudloff, 2021).

2.3.3.2. Selección de fases

Una vez que se crea el agujero anidado, continúe con el paso de selección de fase. En esta fase es necesario determinar qué pozos anidados se utilizarán como base para el diseño de la fase que se debe realizar para su funcionamiento. Esta fase es muy importante porque los nidos carecen de consideraciones operativas durante la construcción, como rampas y espacio mínimo de maniobra.

A continuación se explica cómo utilizar la fase de extracción en lugar de considerar un solo pozo confinado. (Bastian Rudloff, 2021).

2.3.3.3. Secuenciamiento y construcción del plan de producción

Una vez que las etapas se seleccionan y diseñan para permitir la minería, es decir. Al combinar rampas de acceso a diferentes bancos y crear un área mínima de minería donde puedan operar los equipos de carga y acarreo, se logran beneficios en la planificación de la producción.

Un plan de producción es simplemente el resultado de un proceso de desarrollo que muestra las toneladas de desechos y minerales a producir y las leyes de alimentación de la planta para cada período. La secuencia de extracción es entonces responsable de determinar la proporción de extracción para cada banco de etapas en cada etapa para garantizar un programa de producción óptimo. Entre las principales restricciones utilizadas en la ejecución de las secuencias de extracción se encuentran el número mínimo y máximo de bancos que deben extraerse de un paso para ser considerado para el siguiente paso para iniciar el desarrollo, el número máximo de bancos y la producción y el procesamiento que se requiere. realizado. en un paso por período.

2.3.4. Ciclo de Minado

La explotación de yacimientos del tipo superficial se realiza siguiendo un método llamado a “cielo abierto”, en nuestro país este tipo de explotación ha ido cada vez sofisticándose, ofreciendo una importante rentabilidad para los inversionistas. Sus principales ventajas frente a la explotación subterránea radican en permitir una mayor recuperación de reservas, mejor control de leyes, flexibilidad operativa, mayor producción por hombre guardia, seguridad para el personal y equipos, por ende, un menor costo de producción por tonelada de mineral. El ciclo de minado superficial consta de 04 etapas vitales, como, la perforación, voladura, carguío y el transporte de mineral y desmonte. Operaciones unitarias de las que revisaremos algunos conceptos, definiciones y parámetros relevantes.

2.3.5. *Gestión de tiempos en Operación Mina*

Para Ramírez (2006), Es el aprovechamiento al máximo del tiempo en las actividades productivas, ayuda a clasificar de manera adecuada las diversas paradas y actividades de los equipos para la evaluación de los indicadores de desempeño y saber qué mejoras se deben realizar inmediatamente. A continuación, la distribución de la gestión del tiempo.

Tabla 4. Gestión del tiempo total

Tiempo Total					
Tiempo Programado					Tiempo No Programado
Tiempo Disponible			Tiempo en Mantenimiento		
Tiempo efectivo	Demoras Operativas	Demoras no Operativas	Programado (Planeado)	Correctivo (No planeado)	

Fuente: Ramírez (2006)

- **Tiempo total**

Ramírez (2006), se denomina tiempo total al tiempo calendario de 24 horas por día, 30 o 31 días por mes y 12 meses por año.

- **Tiempo programado**

Es el tiempo donde se realizan las actividades productivas y de mantenimiento (para reparación, inspección del equipo mecánico).

- **Tiempo disponible**

Tiempo el cual el equipo o maquinaria se encuentra en condiciones óptimas para realizar trabajos productivos, es decir, cuando se encuentra destinado para el área de operaciones. Se clasifica en tres tiempos: tiempo efectivo, demoras operativas y demoras no operativas.

- **Tiempo en operación**

Es el tiempo que registra el horómetro con el motor encendido, excepto el tiempo consumido durante el mantenimiento o el desplazamiento de un equipo hacia el taller si fuera una intervención mecánica no planeada, menciona STRACONGYM (2014). La distribución del tiempo en operación está conformada por dos tiempos, el efectivo y de demoras operativas; en este tiempo los equipos se encuentran con el motor encendido por ello que la optimización del tiempo efectivo es importante para disminuir las demoras operativas al mínimo y así sacar mayor provecho a las actividades productivas.

- **Tiempo efectivo**

Según Ramírez (2006), son las horas destinadas a las actividades principales, la duración de los ciclos de trabajo dependerá de las máquinas empleadas, condiciones donde se encuentre laborando y habilidad del operador de equipo. La conformación del tiempo efectivo es la suma del tiempo de preparación y conclusión del trabajo, operaciones auxiliares y el ciclo en operación. Sin estas actividades, los equipos estarían al 100% enfocados en actividades productivas (tiempo en ciclo de operación), pero comenzaría a disminuir la seguridad y productividad de los equipos.

- **Tiempo en demoras operativas**

Comprende las horas donde el equipo se encuentra con motor encendido, pero no está realizando actividades productivas, es decir, actividades improductivas como: excavadora desplazándose entre frente, realización de perfilado de talud, espera en chancadora o punto de carga y descarga, abastecimiento de combustible, entre otros, Ramírez (2006).

- **Tiempo en demoras no operativas (Stand by time)**

Ramírez (2006), son las horas perdidas de equipos que se encuentran paralizados con el motor apagado, esto debido a horas de reposo reglamentario, refrigerio, capacitaciones, reparto de guardia, necesidades personales, voladura u otra actividad no reglamentada. Si el almuerzo y traslado de operador toma 60 min y el mantenimiento 30 min (sin encender motor), los 60 min se asignan a Demoras No Operativas; pero si el mantenimiento toma 90 min, los primeros 60 min se asignan a Demoras No Operativas y los 30 min restantes, a mantenimiento” (Stracongym 2014). En caso los mecánicos tengan que encender el motor en horas de Demoras No Operativas, ese tiempo se asigna para mantenimiento.

- **Tiempo en demoras mecánicas**

Es el tiempo invertido para el mantenimiento preventivo, correctivo o predictivo en las diversas etapas del tiempo de vida de la máquina, según Ramírez (2006).

- **Tiempo en mantenimiento programado**

Según STRACONGYM (2014), es el tiempo de trabajo del área de mantenimiento el que ha sido planeado con antelación. Si al culminar todas las labores planificadas la maquina no está disponible por trabajos extras en ese momento el tiempo tendrá que cambiar a un mantenimiento no planeado. Dichas actividades mecánicas programadas deben garantizar la disponibilidad de los equipos para cumplir las metas establecidas, por ello el área de mantenimiento debe ser buen soporte y no dedicarse solo correcciones mecánicas.

- **Tiempo mantenimiento correctivo**

Según Gamarra (2009) dice que, son las actividades de restauración, conformadas a causa de una o más fallas intempestivas del equipo donde el equipo se paralizó (falló). Las actividades afines a Mantenimiento Correctivo (No Planeado) son:

- Avería en el equipo durante tiempo efectivo.
- Reparación de la avería.
- Tiempo en la reparación.
- Demora en Respuesta al aviso de falla.
- Espera de reparación.

• **Tiempo no programado**

Ramírez (2006), es el tiempo donde el equipo se encuentra detenido ya sea disponible o no. Si la empresa fuera dependiente de un equipo muy costoso para asegurar su productividad siempre estaría operativo y operando, salvo las horas que demande el mantenimiento programado. Las actividades respecto a Tiempos No programados son:

- Espera de repuestos. o Condiciones climáticas.
- Apagón General. o Reparación fuera de talleres mina.
- Trabajo de no performance (Trabajo en otras labores)

2.3.6. Indicadores Claves de Desempeño (KPI's)

(KPI = Key Indicators of performance), en español índice clave de rendimiento, aplicable a procesos de producción. Cada proceso puede asignarse un indicador el cual permite medir posteriormente y controlar mejoras del proceso. Existe un objetivo adecuado para su uso y es el que le permite alcanzar mayor productividad (Fuente CAMIPER 2014). Los indicadores son necesarios para poder mejorar, puesto que, lo que no se mide no se puede controlar, y lo que no se controla no se puede gestionar.

2.3.6.1. Características de los KPI's

Las principales características son:

- Medible: Los KPI's son métricos, es decir, son medibles en unidades. Ejemplo: viajes/hora, m³/mp, tal/h, %, etc.
- Cuantificable: si se puede medir, se puede cuantificar. Por ejemplo, si hablamos de unidades monetaria las cuantificaríamos en € o \$.
- Específico: se debe centrar es aspectos objetivos y concretos.
- Temporal: continuidad en el tiempo. Por ejemplo: diario, mensual, trimestral, etc.
- Relevante: Aportan información importante para la empresa.

2.3.6.2. Ventajas de los KPI's

- Permiten identificar dónde se puede modificar la estrategia para alcanzar los objetivos propuestos de la empresa.
- Proporcionan información que se necesita sobre cada etapa del proceso. • Ayudan a tomar decisiones oportunas.
- Aportan rapidez, comprensión y transparencia a la hora de comunicar resultados.

2.3.6.3. Sistema de Indicadores

Un sistema de indicadores son los datos o conjunto de datos tomados en periodos de tiempo clave, que evalúan el grado de comportamiento o desempeño de una organización o una de sus partes respecto a unos objetivos fijados previamente. Un sistema de Indicadores se encuentra conformado por el Indicador, el nivel base, el valor actual, la meta, y el uso de semáforos para la evaluación del desempeño del Indicador.

- Nivel Base: Se refiere a la medición inicial o nivel estándar que toma el indicador, y representa el desempeño logrado antes del efecto de mejora de las iniciativas estratégicas.
- Valor Actual: Representa las mediciones periodo a periodo del indicador, las cuales se ven afectadas por los efectos de las iniciativas estratégicas.
- Meta: Es el nivel esperado del indicador que la organización desea lograr luego de ejecutar exitosamente las acciones de mejora.
- Semáforos: Para poder observar de una manera fácil el nivel de desempeño de los indicadores, donde el verde representa un desempeño esperado, el amarillo un desempeño preocupante y el rojo nos indica un desempeño inaceptable.

2.3.7. Indicadores Operacionales de Mina

2.3.7.1. KPI's de Perforación

- A) Velocidad de perforación (mp/h) Es la velocidad que se obtiene a partir de las horas que marca el hodómetro de la perforadora comparada con la cantidad de metros perforados, incluyendo las demoras operativas (instalación, cambios de taladro a taladro además se incluye el calentamiento y enfriamiento).
- B) Velocidad de Penetración (mp/h) Velocidad que se obtiene a partir de las horas efectivas de la perforadora entre la cantidad de metros perforados, sin incluir demoras operativas (instalación, cambios de taladro a taladro).
- C) Volumen por metro perforado (m³/mp) Es el volumen de material a volar entre la cantidad de metros perforados.

- D) Volumen perforado por hora (m^3/h) Es el volumen de material a volar entre las horas efectivas de perforación.
- E) Rendimiento de Broca (mp /unidad) Cantidad de metros perforados realizados por una broca durante un determinado periodo.
- F) Taladros por Hora (Tal /h) Es la cantidad de taladros realizados entre las horas efectivas de perforación.

2.3.7.2. KPI's de Voladura

- A. Factor de potencia (kg/t) El factor de potencia determina la cantidad de explosivo en kilogramos necesaria para romper una tonelada de material, este indicador es el más sensible para determinar la fragmentación de la roca y el costo que representa.

2.3.7.3. KPI's Carguío

- A. Rendimiento de carguío (t/h – m^3/h) Es la cantidad de toneladas cargadas por hora efectiva sin incluir demoras operativas (acondicionamientos, frentes duros, desplazamientos), también se suele representar por metros cúbicos/h.
- B. Ciclo de carguío (min) Es el tiempo que demora un equipo para poder realizar el carguío a un camión. Inicia desde el primer cucharón hasta depositar el último cucharón y dejar completamente cargado; los intervalos de tiempo que se consideran son:
- Tiempo de carga.
 - Tiempo de giro.
 - Tiempo de descarga.
 - Tiempo de retorno.

2.3.7.4. KPI's Transporte

- A. Distancias de Transporte (km) Son las distancias promedio a transportar el material ya sea desmonte y/o mineral.
- B. Ciclos de transporte (min) Es el tiempo que demora realizar un volquete desde el inicio de carguío, transporte, descarga y retornar al punto de carguío.

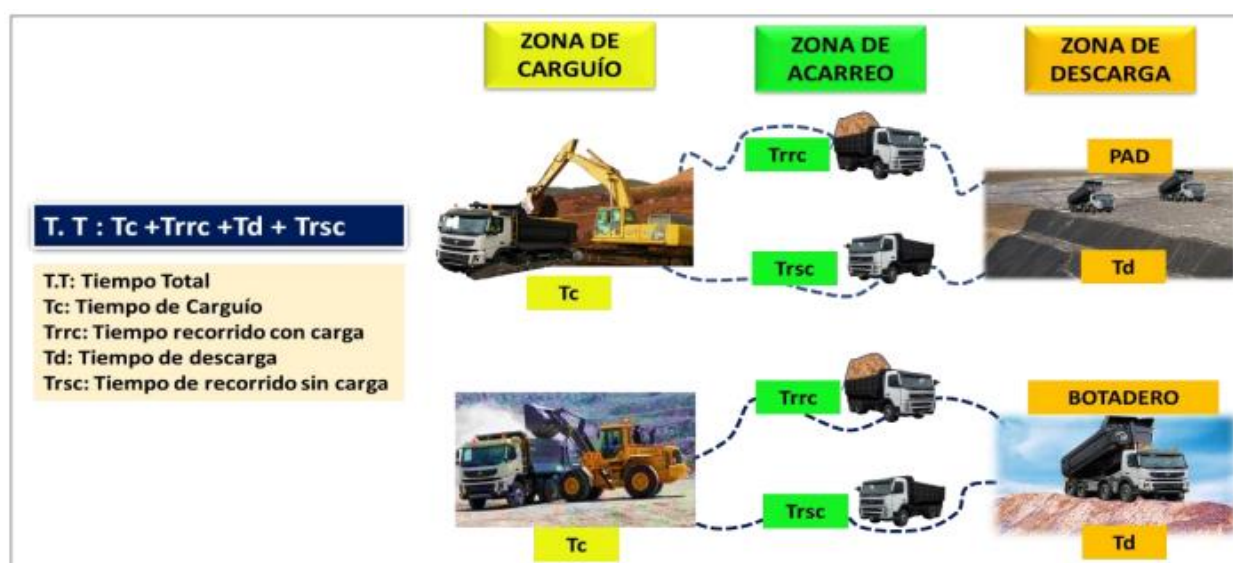


Figura 5. Ilustración del carguío y acarreo

2.3.8. Presupuestos en Minería

Los presupuestos son la estimación de costos previa a la ejecución del proyecto. La estimación de costos para el presupuesto debe de ser apropiadamente realizada por que con ella tomaremos la decisión de ejecutar la obra o no. Se le llama presupuesto al cálculo y negociación anticipada de los ingresos y gastos de una actividad económica (personal, familiar, un negocio,

una empresa, una oficina, un gobierno) durante un período, por lo general se considera en forma anual. (J Mercado F.) Los costos son el gasto realizado durante la ejecución del trabajo. Los mismos deben ser controlados con exactitud y oportunamente, para tomar las correcciones que fueran necesarias. En minería se utilizan varios términos referidos a presupuestos, entre ellos:

- Presupuesto Contable
- Presupuesto CAPEX
- Presupuesto OPEX
- Presupuesto FORECAST

2.3.9. Herramientas de Control de Indicadores de Gestión

2.3.9.1. Análisis de Pareto

Vilfredo Federico Pareto (1848-1923) fue un ingeniero, sociólogo, economista y filósofo italiano, cuyo Principio o Ley nos puede servir de referencia para centrarnos en lo que realmente importa, en lo que nos puede dar mayores satisfacciones con menores esfuerzos, sin malgastar energías y recursos en obtener pobres resultados, uno de los objetivos principales en la industria minera ya que con tantas aristas del negocio por tomar en cuenta a la hora de iniciar operaciones, se convierte en un análisis indispensable, basándose en el denominado conocimiento empírico. Vilfredo Federico Pareto (1848-1923) Observó que la gente en su sociedad se dividía naturalmente entre los pocos de muchos y los muchos de pocos; se establecían así dos grupos de proporciones 80-20 tales que el grupo minoritario, formado por un 20 % de población, ostentaba el 80 % de algo y el grupo mayoritario, formado por un 80 % de población, el 20 % de ese mismo algo. El diagrama como tal permite mostrar gráficamente el principio de los pocos vitales vs. los muchos triviales 7 , es decir que hay muchos problemas sin importancia frente a unos pocos muy importantes,

mediante la gráfica colocamos los pocos que son vitales a la izquierda y los muchos triviales a la derecha.

2.3.9.2. Diagrama de Ishikawa

El diagrama de Ishikawa o diagrama de causa-efecto es una descripción de las causas de un problema, que se conjugan en la forma de una espina de pescado, y que les sirve a los equipos de mejora para analizar y discutir los problemas. Las principales causas de problemas en las organizaciones se agrupan generalmente en seis aspectos: medio ambiente, medios de control, maquinaria, mano de obra, materiales y métodos de trabajo. El diagrama se llena con la información recopilada de una sesión de "lluvia de ideas" de un problema en la empresa, y posteriormente se buscan datos que permitan comprobar si esa gráfica inicial era correcta. Se puede llegar a la reelaboración del diagrama hasta que se diagnostique el problema, es decir, hasta que se sepa cuáles son sus causas raíz. (Ver Figura 6).

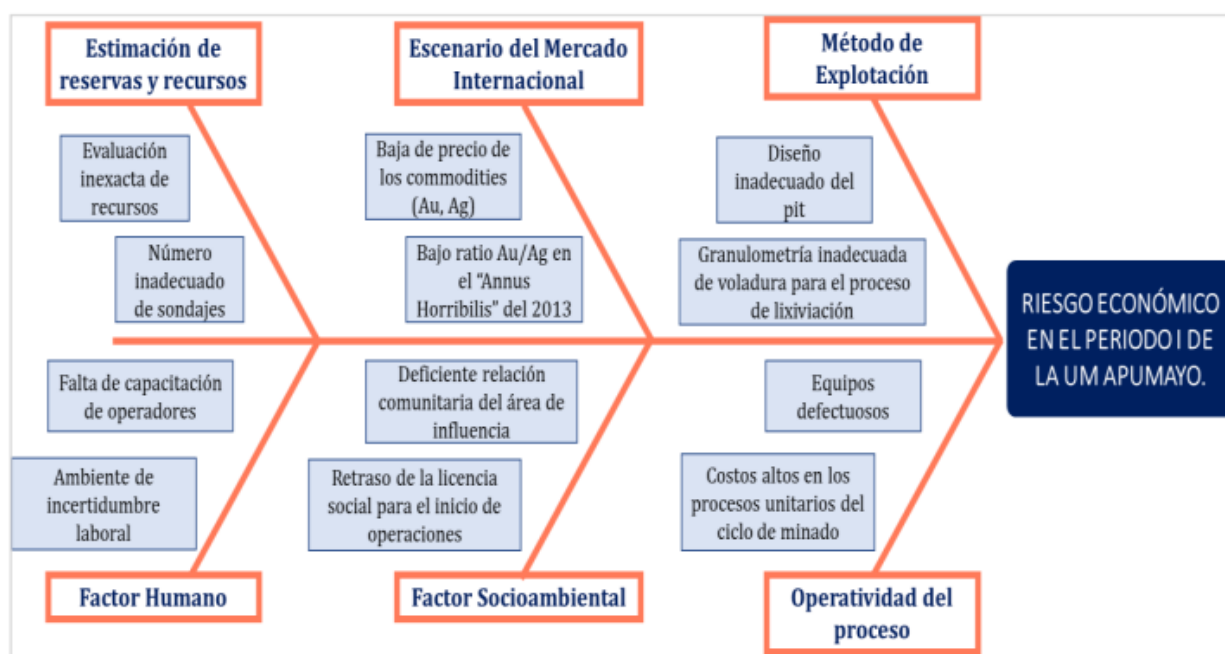


Figura 6. Diagrama de Ishikawa

2.4. Definiciones conceptuales

Costo El sistema ABC (Activity Based Costing), cuya traducción es: costos basados en actividades, es una metodología orientada al profundo análisis de la importancia del tratamiento de los costos indirectos mediante el uso de los Cost Driver (unidades meta de los KPI's) y su relación causa efecto con los objetos de costo, la correcta determinación de los costos totales, unitarios, por servicios de transportes brindados, que las empresas del rubro, hoy en día integran en sus sistemas de gestión a fin de que les brinde información confiable, oportuna y eficaz, para una óptima toma de decisiones gerenciales.

Cash Cost Costo de caja, es el indicador que mide el costo de producir una tonelada/libra/onza de un producto minero. Permite mantener día a día la operación pura que se necesitó para extraer esa unidad de producto en este caso, toneladas u onzas de mineral. El factor clave para medir la rentabilidad y viabilidad de un negocio minero a nivel mundial es el Cash Cost o Costo Efectivo Operativo. Este incluye los costos directos de mina, costos de molienda y concentración, fletes por transporte del concentrado, gastos generales y de administración, costo de venta entre otros. Usualmente los bajos niveles de Cash Cost están asociados a minas con altas leyes o de tajo abierto (UPC, Escuela de Posgrado).

Costo Unitario Es el costo general que se incide por extraer o producir una unidad de producto.

Costos operativos Estos costos de una empresa son la suma de todas las cantidades que deben realizarse para mantener en funcionamiento la empresa, está directamente ligada a la producción, pudiéndose categorizarse en costos directos e indirectos. (MAPLINK, Paulo Rosa).

Costos no Operativos Son todos aquellos que están relacionados con la operación y actividades principales de una empresa. Ejm: los costos por alquiler de local en oficinas centralizadas, el costo de mano de obra de este local y los servicios que requiere. (MAPLINK, Paulo Rosa).

Costos Directos Son los costos que se identifica plenamente con una actividad, departamento o producto. Los costos que pueden ser directamente relacionados al objeto de costo (involucrados en el proceso). Ejm: Explosivos en voladura de una rampa, Camiones en acarreo de mina a planta. (UPC, Escuela de Posgrado).

Costos Indirectos Es el que no se puede identificar con una actividad determinada (no pueden ser fácilmente asociados con el objeto del costo). Se busca una forma razonable de distribución (No involucrados en el proceso). Ejm: Superintendente de mina en voladura de rampa, Mantenimiento de equipos en voladura de rampa. (UPC, Escuela de Posgrado).

Capítulo III

Metodología de la Investigación

3.1. Tipo de Investigación

Oseda, (2008), indica que la investigación es de tipo:

Por enfoque: Cuantitativo ya que las variables de investigación, buscan cuantificar resultados a través del análisis, así también el tipo de trabajo de investigación describe la realidad circunstancial para entender los sucesos y el desarrollo de teorías.

Por propósito: Es aplicada debido a que se quiere conocer las variables del proceso con respecto y por su índole de investigación.

En este sentido, la investigación corresponde por enfoque de tipo cuantitativo y por propósito de tipo aplicada, por qué obedece a una representación de los resultados de la aplicación de indicadores kpi's permite reducir los costos del ciclo operativo de explotación, unidad minera Apumayo 2022.

“Este estadio se lleva a cabo cuando el investigador va a diseñar el programa para luego evaluarlo, o también como pretest cuando va a evaluar un programa ya elaborado, que no ha sido aplicado en un contexto particular” (Hurtado, 2010).

Nivel de Investigación

Según Carrasco S, (2019) los niveles que existes en la investigación son: Nivel explicativo. Son aquellas investigaciones que no tienen mucha información con respecto al tema de investigación; Nivel descriptivo. Pretenden describir los conceptos o variables a las que se refieren.

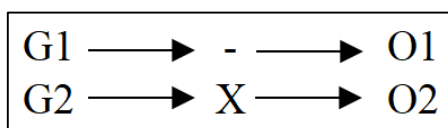
Bajo estos conceptos, esta investigación tiene un nivel *explicativo*, ya que su objetivo, considerando que en esta investigación se manipulara la variable independiente que es conocer de qué manera la aplicación de indicadores kpi's permite reducir los costos del ciclo operativo de explotación, unidad minera Apumayo 2022., que viene a ser la variable dependiente. Basado en ello sería una investigación de nivel explicativo - descriptivo.

3.2. Diseño de Investigación

“Por su finalidad de estudio, la presente investigación de acuerdo a las variables planteadas, el objetivo general y objetivos específicos de la investigación es de diseño experimental de tipo cuasi experimental”. (Hurtado, 2010).

En este diseño se utilizan dos grupos, de los cuales el investigador no tiene certeza de que sean equivalentes, pues sus integrantes no fueron seleccionados ni asignados al azar, y tampoco mediante un estricto control de variables. Uno de ellos es sometido a los efectos de la variable independiente y el otro no (o ambos son sometidos a niveles diferentes de la variable independiente. (Hurtado, 2010)

Figura 7. Diseño de Investigación



*Nota: (Carrasco, 2006)

3.3. Población

Según Gonzales, (2014) la población representa al conjunto de elementos que comparten por lo menos una característica.

La población está constituida por las operaciones mineras de la Unidad Minera Apumayo.

3.4. Muestra

Según Gonzales, (2014). Es parte representante de la población, de tal manera que los resultados que se obtienen en la muestra logren generalizar en absoluto los elementos que conforman dicha población.

En esta investigación, la muestra estuvo conformado por todos los procesos del ciclo de minado: Perforación, Voladura, Carguío y Transporte.

3.5. Muestreo

El muestreo es “el método utilizado para seleccionar a los componentes de la muestra del total de la población” (López, 2004, p. 69). Es así, que el muestreo que se empleará en esta investigación es no probabilístico de tipo intencional, que “permite seleccionar casos característicos de una población limitando la muestra sólo a estos casos” (Otzen y Manterola, 2017, p. 230).

3.6. Metodología de trabajo

Este trabajo de investigación se llevó a cabo a través de tres fases: recopilación de datos y planeación del trabajo de campo; fase de campo y fase posterior al trabajo de campo.

3.7. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.7.1. Técnicas de recolección de datos

La técnica de recolección de datos sigue un procedimiento específico, de manera que va recaudando los datos o la información que se requiere para el estudio (Niño, 2011). Las técnicas que se usarán serán las de:

- Documental: para la elaboración y ampliación de los antecedentes de la investigación, para la elaboración del marco teórico y conceptual referente a la investigación.
- Codificación: para codificar a los estudiantes elegidos. Así mismo codificar el pre y post test aplicado.

3.7.2. Técnicas de análisis y procesamiento de datos

Previo al procesamiento de datos, hay la necesidad de realizar una selección de base de datos, por ello se ha empleado el software MS Excel 2020. Consecuentemente para el procesamiento de datos se aplicó el método estadístico, haciendo uso del programa estadístico IBM SPSS versión 25, mediante este software se obtiene la captura y análisis de los datos con la finalidad de crear tablas y figuras.

3.7.3. Procesamientos de datos

Primero proponemos una prueba de hipótesis para iniciar un análisis estadístico que nos permita evaluar el impacto del estudio de los KPI's. Se realizó un análisis descriptivo de los

resultados por tiempo de envejecimiento en función de si la adición mejoraba significativamente las propiedades de resistencia a la compresión y a la flexión, seguido de una prueba de normalidad de los resultados, estos fueron Shapiro Wilk, utilizada para pequeñas muestras con menos de 50 datos, o la prueba de Kolmogorv-Smirnov, aplicada para muestras grandes bajo los criterios de aceptación de la hipótesis nula. El valor p es inferior a 0,05.

Después de validar la normalización de datos, se realiza una prueba t de Student para evaluar la homogeneidad de la varianza entre los tratamientos estándar y otros después de 28 días de maduración. Si es similar, se rechaza la hipótesis nula de que no hay diferencia en las varianzas de ambos grupos si el valor p de la prueba t es menor que 0.05.

3.8. Equipos utilizados de recolección y procesamiento de datos

3.8.1. Equipos utilizados en la recolección de datos

Para la presente investigación, más allá de la utilización de equipos, se contó con un Pulp de equipos los cuales por medio de su rendimiento fueron los que nos brindaron la data necesaria para la obtención de los indicadores de rendimiento, a continuación, se detalla la utilización de cada uno de estos:

Tabla 5. Listado de equipos de operación en UO de Apumayo

Equipos	Cantidad	Actividad
Perforadora ATLAS COPCO DM 45 E	2	Perforación
Excavadora Cat 365 C	1	Carguío
Excavadora Cat 345 BL	3	Carguío
Cargador Cat 992 C	2	Carguío
Motoniveladora Cat 140H	2	Serv. Auxiliares
Retroexcavadora Cat 420 F	1	Serv. Auxiliares
Camión fabrica explosivos	1	Voladura
Compresora IR 900	1	Perforación Sec.
Volquetes Volvo FMX de 20 m3 - mineral	22	Acarreo
Jack Leg	2	Perforación Sec.
Tractor D8T	1	Serv. Auxiliares

Tractor D6T	1	Planta
Tractor D6R XL	2	Serv. Auxiliares
Tractor heel Dozer CAT SR 824	1	Serv. Auxiliares
Cargador frontal 966 C	3	Serv. Auxiliares
Motoniveladora Cat 140H	2	Serv. Auxiliares
Luminarias	6	Serv. Auxiliares
Luminarias	2	Serv. Auxiliares
Camión lubricador	1	Serv. Auxiliares
Camión cisterna combustible (3000 gln)	1	Serv. Auxiliares
cisterna de agua (5000 gln)	2	Serv. Auxiliares
Ambulancia H1	1	Serv. Emergencia
Gria Grove	1	Serv. Auxiliares
Grupos electrógenos	2	Serv. Emergencia
Ómnibus Volvo	2	Serv. Personal
Tracto cama baja	1	Serv. Auxiliares
Camionetas 4x4	18	Supervision

3.8.2. Programas utilizados para el procesamiento de datos

Mediante hojas de cálculo Excel y usando sus funciones de estadística se realizará el proceso para los datos obtenidos de la toma de datos, aplicados de las muestras, así como también el programa SPSS para corroborar el grado de correlación y significancia que existe entre las variables experimentadas.

3.1. Desarrollo de la investigación

Para realizar la investigación se llevó a cabo una serie de procesos que permitieron obtener los datos necesarios para medir los indicadores kpi 's para reducir los costos del ciclo operativo de explotación, unidad minera Apumayo.

3.9.Descripción de las etapas de Investigación

El diseño experimental del presente estudio tiene 03 etapas claves de análisis para el tratamiento de las variables, su aplicación, descripción y evaluación. La primera de ella es el

Periodo I denominada “Periodo Preliminar”, luego se da pase a una segunda etapa, Periodo II, denominado “Periodo Base”, de planificación a corto plazo y finalmente el Periodo III denominado “Periodo Meta”, el cual contempla aplicar los reajustes y controles operacionales que terminan por confirmar la teoría de la investigación. Para fines didácticos del desarrollo de la investigación y para efectos de su diferenciación, se ha establecido utilizar los cuadros con los siguientes colores.

	Anaranjado	Para indicar valores estimados
	Verde	Para indicar valores ejecutados

3.9.1. Programa de Minado y Presupuesto del Periodo I (Periodo Preliminar)

Esta es la primera fase que cubre de enero de 2021 a abril de 2021. Al trabajar en material estéril y desarrollar un plan que tenga en cuenta la extracción de minerales para la exploración, puede identificar y/o confirmar las operaciones mineras más rentables que serán operaciones. , en la que se centrará más este trabajo (la variable dependiente) para aumentar la rentabilidad. (ver Tabla 6).

Tabla 6. Programa de Minado Estimado Periodo I (largo plazo) 2021

PROGRAMA DE PRODUCCIÓN ESTIMADO – PERIODO I						
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	TOTAL
Mineral	Ton/mes	125,000	155,000	140,000	310,000	730,000
Desmante	Ton/mes	397,500	492,200	445,200	985,800	2,321,400
Stripping Ratio	SR	3.18	3.17	3.18	3.18	3.18
Au Producido	Oz	1,659.7	1,988.7	1,386	2,860.2	7,894.6
Ag Producido	Oz	44,536.8	49,235.6	28,014.8	67,933.2	189,720
Eq Au Producido	Oz	712.59	787.77	448.24	1,086.9	3,035.53
Total de Oz Au	Oz	2,372.3	2,776.47	1,834.2	3,947.1	10,930.1

Fuente: Área de planeamiento Apumayo,

Tabla 7. Programa de Minado Ejecutado Periodo I (largo plazo) – 2021

PROGRAMA DE PRODUCCIÓN EJECUTADO- PERIODO I						
DESCRIPCIÓN	UNIDA D	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	TOTAL
Mineral	t	100,220	64,775	43,092	150,450	358,537
Desmonte	t	492,092	1,077,166	1,041,183	1,229,077	3,839,518
Material	t	592,312	1,141,941	1,084,275	1,379,527	4,198,055
Stripping Ratio	SR	4.91	16.63	24.16	8.17	13.47
Au Producido	Oz	-	-	-	3,160	3,160
Ag Producido	Oz	-	-	-	62,369	62,369
Eq Au Producido	Oz	-	-	-	1,058.26	1,058.26
Total Oz Au	Oz	-	-	-	4,218.26	4,218.26

Fuente: Área de planeamiento Apumayo.

Tabla 8. Presupuesto Estimado Periodo I (largo plazo) 2021

PRESUPUESTO ESTIMADO - PERIODO I		
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	PRESUPUESTO
Costo Exploración	US\$	76,079
Costo Mina (Des-Min)	US\$	1,699,580
Costo Planta	US\$	1,294,133
Costo Indirectos	US\$	408,228
Costo Total	US\$	3,478,020

Fuente: Presupuesto Corporativo Aruntani SAC.

Tabla 9. Presupuesto Ejecutado Periodo I (largo plazo) 2021

PRESUPUESTO EJECUTADO - PERIODO I						
PPTO	UNIDAD	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	TOTAL
Costo Exploración	US\$	716	100,360	452,482	204,862	758,420.37
Costo Mina	US\$	1,364,689	2,058,427	2,321,029	2,142,907	7,887,051.84
Costo Planta	US\$	33,283	86,969	196,347	403,869	720,468.07
Costo Indirecto	US\$	231,926	239,475	216,248	263,119	950,767.10
Costo Total	US\$	1,630,614	2,485,231	3,186,106	3,014,757	10,316,707.38
Costo Unitario	US\$/t	16.27	38.37	73.94	20.04	28.77

Fuente: Presupuesto Apumayo SAC.

3.9.2. Programa de Minado y Presupuesto del Periodo II (Línea Base)

Este periodo se proyectó en los meses mayo - julio 2021, en la segunda quincena de abril se obtuvo los resultados de las perforaciones Infill Drilling con los equipos DM 45, esta información permitió hacer reajustes en los planes de producción por la reducción de los límites de Pit planeado inicialmente, esta etapa se desarrolla con producción de mineral durante los meses de mayo-julio, etapa que considera un presupuesto reajustado próximo al real que permitirá llegar a plasmar los KPI's y estandarizar la operación que demande rentabilidad esperada, que se aproxime a las exigencias del plan meta proyectado en el periodo III, como parámetros se considera los resultados de Unidades Corporativas de producción en operaciones similares del Grupo ARUNTANI (Arasi, Tucari y Anabi).

Tabla 10. Programa de Minado Estimado Periodo II

PROGRAMA DE PRODUCCIÓN ESTIMADO – PERIODO II					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	MAYO	JUNIO	JULIO	TOTAL
Mineral	t	300,000	310,000	300,000	910,000
Desmante	t	1,245,602	930,000	810,000	2,985,602
Material	t	1,545,602	1,240,000	1,110,000	3,895,602
Stripping Ratio	SR	4.15	3.0	2.70	3.28
Au Producido	Oz	2,816	3,056	3,241	3,038
Ag Producido	Oz	73,786	79,734	185,188	112,903
Eq Au Producido Oz	Oz	1,181	1,276	2,963	5,419
Total Oz Au	Oz	3,997	4,332	6,204	14,532

Fuente: Presupuesto Corporativo Aruntani SAC.

Tabla 11. Programa de Minado Ejecutado Periodo II

PROGRAMA DE PRODUCCIÓN EJECUTADO – PERIODO II						
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	MAYO	JUNIO	JULIO		TOTAL
		Apumayo	Apumayo	Apumayo	Huamán L.	
Mineral	t	199,554	327,192	247,132	57,928	831,806
Desmante	t	1,245,602	805,565	872,194	3,296	2,926,657
Material	t	1,445,156	1,132,757	1,119,326	61,224	3,758,463

Stripping Ratio	SR	6.24	2.46	2.87	3.52
Au Producido	Oz	1,394	3,241	3,314	7,949.41
Ag Producido	Oz	34,283	61,878	71,821	167,982.12
Eq Au Producido Oz	Oz	558.14	973.05	1100.16	2631.34
Total Oz Au	Oz	1,952.14	4,214.38	4,414.24	10,580.76

Fuente: Área de planeamiento Apumayo.

Tabla 12. Presupuesto OPEX Estimado Apumayo Mayo – Julio del 2021

PRESUPUESTO OPEX ESTIMADO – PERIODO II				
ÁREA	MAYO	JUNIO	JULIO	TOTAL
COSTO MINA US\$	2,583,234	2,098,063	1,858,145	6,539,442
COSTO PLANTA US\$	526,986	595,494	643,779	1,766,259
COSTOS INDIRECTOS US\$	290,016	299,067	320,228	909,311
TOTAL GENERAL US\$	3,400,235	2,992,625	2,822,151	9,215,011
ÁREA	MAYO	JUNIO	JULIO	TOTAL
MINA \$/t	8.61	6.77	6.19	7.19
PLANTA \$/t	1.76	1.92	2.15	1.94
INDIRECTOS \$/t	0.97	0.96	1.07	1
TOTAL GENERAL \$/t	11.33	9.65	9.41	10.13

Fuente: Área de planeamiento Apumayo

Tabla 13. Presupuesto OPEX Ejecutado Periodo II del 2021

PRESUPUESTO OPEX EJECUTADO – PERIODO II					
PPTO	UNIDAD	MAYO	JUNIO	JULIO	TOTAL
Costo Exploración	US \$	20,549	56,170	21,305	98,024.00
Costo Mina	US \$	2,300,557	1,855,468	2,053,886	6,209,910.62
Costo Planta	US \$	292,954	680,013	606,732	1,579,699.00
Costo Indirecto	US \$	233,810	226,538	199,487	659,835.00
Costo Total	US \$	2,847,870	2,818,189	2,881,410	8,547,468.62
Costo Unitario	US \$/t	14.27	8.61	9.45	10.28

Fuente: Área de planeamiento Apumayo

3.9.3. Programa de Minado y Presupuesto del Periodo III (Periodo Meta)

El periodo III de la presente investigación, comprende los meses entre agosto a diciembre del 2021, es el periodo de ejecución del proyecto, poniendo en práctica los reajustes del plan meta, con la aplicación del Plan-agosto y el presupuesto Forecast 2021.

Tabla 14. Programa de Minado estimado del Periodo III - 2021

PROGRAMA DE PRODUCCIÓN ESTIMADO – PERIODO III											
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	AGOSTO	SETIEMBRE		OCTUBRE		NOVIEMBRE		DICIEMBRE		TOTAL
		APU-HML	Apumayo	HML	Apumayo	HML	Apumayo	HML	Apumayo	HML	
Mineral	t	310,000	213,850	115,150	195,000	105,000	201,500	108,500	227,500	122,500	1,599,000
Desmote	t	775,000	683,250	227,750	44,500	364,500	426,250	348,750	481,250	393,750	3,745,000
Material	t	1,085,000	897,100	342,900	239,500	469,500	627,750	457,250	708,750	516,250	5,344,000
Stripping Ratio	SR	2.50	2.77		1.36		2.50		2.50		2.34
Au Producido	Oz	1,856	3,173		3,164		3,269		3,691		15,153
Ag Producido	Oz	80,349	71,883		116,611		120,498		136,046		525,386
Eq Au Producido Oz		1,285.58	1,150		1,866		1,928		2,177		8,406.19
Total Oz Au	Oz	3,141.38	4,323.40		5,029.40		5,197.05		5,867.64		23,558.87

Tabla 15. Programa de Minado ejecutado del Periodo III – 2021

PROGRAMA DE PRODUCCIÓN EJECUTADO – PERIODO III												
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	AGOSTO		SETIEMBRE		OCTUBRE		NOVIEMBRE		DICIEMBRE		TOTAL
		Apumayo	HLM	Apumayo	HLM	Apumayo	HLM	Apumayo	HLM	Apumayo	HLM.	
Mineral	t	225,875	123,523	171,925	153,794	232,910	84,048	225,287	95,060	287,168	75,139	1,674,729
Desmote	t	577,562	227,088	322,384	320,628	474,012	223,208	449,618	240,794	441,703	332,640	3,609,637
Material	t	803,437	350,611	494,309	474,422	706,922	307,256	674,905	335,854	728,871	407,779	5,284,366
Stripping Ratio	SR	2.30		1.97		2.20		2.16		2.14		2.15
Au Producido	Oz	3,430		3,640		3,326		3,564		4,938		18,897.15

El periodo III de esta investigación, es el periodo de ejecución del proyecto, es decir luego de poner en práctica los reajustes del plan meta, este último Periodo comprende el periodo agosto-diciembre con el Plan-agosto y el presupuesto Forecast 2021.

Tabla 16. Presupuesto OPEX y FORECAST estimado del Periodo III – 2021

PRESUPUESTO FORECAST ESTIMADO – PERIODO III						
ÁREA	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total
Costo Mina	1,691,232	1,754,167	1,635,124	1,609,236	1,765,894	8,455,653
Costo Planta	809,532	806,884	819,708	893,207	957,135	4,286,467
Costos Indirectos	204,466	208,698	198,242	213,098	223,885	1,048,389
Total General US\$	2,705,231	2,769,749	2,734,832	2,715,540	2,946,913	13,872,265
Total General \$/t	8.73	8.42	9.12	8.76	8.42	8.69

Fuente: Área de Planeamiento Apumayo

Tabla 17. Presupuesto OPEX y FORECAST ejecutado del Periodo III – 2021

PRESUPUESTO FORECAST EJECUTADO – PERIODO III						
ÁREA	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total
Costo Mina	1,722,070	1,666,284	1,571,473	1,746,463	2,055,955	8,762,245.27
Costo Planta	767,372	968,987	771,047	785,331	951,938	4,244,675
Costos Indirectos	165,144	195,883	183,018	215,883	255,378	1,015,306
Costos Exploraciones	19,685	38,110	140,855	-5	114,867	313,512
Total General US\$	2,674,271	2,869,264	2,666,393	2,747,672	3,378,138	14,335,738.27
Total General \$/t	7.65	8.81	8.41	8.58	9.32	8.56

Fuente: Área de Planeamiento Apumayo

3.9.4. Plan de llenado al botadero

Considerando la secuencia de extracción del tajo durante los 4.2 años, se ha elaborado la secuencia de llenado al botadero 01 y 02 de material de desmonte que se muestra en la Tabla 22, donde se muestra la cantidad de desmonte en toneladas y su equivalente en volumen (m3). La capacidad de este botadero es de 49 MM de toneladas. En la Figura 19 se muestra el llenado de lifts en el mes de mayo, 2021, se extrajo 1,245,602 t en el mes.

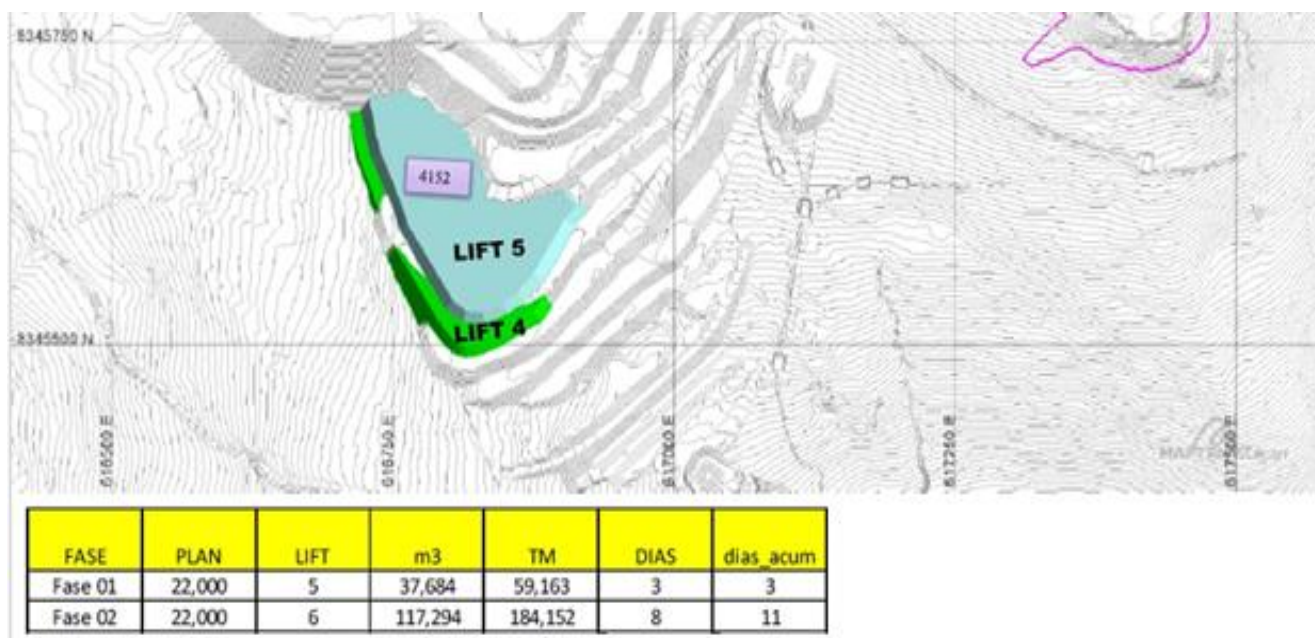


Figura 8. Plan de llenado al Botadero Apumayo

Tabla 18. Detalles del plan de llenado de desmonte al botadero

Año	Desmonte (t)	Volumen (m ³)
Año 01	10,829,500	4,922,500
Año 02	9,165,184	4,165,993
Año 03	9,367,227	4,257,830
Año 04	17,731,187	8,059,630
Año 05	2,014,789	915,813
Total	49,107,887	22,321,767

3.10. Método de Explotación

El proyecto Apumayo, se ejecuta mediante el minado a cielo abierto, con las operaciones habituales de perforación, voladura, carguío y transporte, las cuales se iniciaron en dos sectores, la primera en Apumayo con el desbroce de la parte superior, el cual nos permitió obtener plataformas de operación para la explotación de mineral y desmonte requerido y cumplir los objetivos de producción mensual y el segundo sector de minado es Huamán Loma, explotado hasta los límites finales del tajo dando estabilidad a los taludes a medida que se profundizaba a bancos

inferiores y desde el punto de vista operacional sea más factible su extracción. El tiempo de minado de Apumayo es 3 años y para Huamán Loma es 0.9 años, haciendo un total de 3.9 años de vida del proyecto (LOM). Se minarán todos los bancos hasta su límite final del tajo, dejando banquetas de seguridad en cada banco.

Secuencia de Explotación

Una vez determinadas las reservas en el último tajo, se debe determinar la secuencia y progresión de su uso. La minería secuencial de cada tajo en una mina anidada mejorará el valor económico ya que los ingresos se pagan por adelantado y se reducen los desechos por tajo. En los primeros años, esto a menudo se llamaba la estrategia de minería óptima. Sin embargo, dado que solo es sensible al tamaño del pozo, es posible que cada pozo no tenga suficiente ancho de trabajo para generar producción, por lo que los pozos adyacentes se conectan para formar lo que se conoce como ciclo o retroceso.

Agendamiento de periodos.

Una vez determinada la secuencia de eyección, es necesario saber cuándo saldrá cada parte del reservorio. Esto se denomina planificación y es la base de la planificación de la producción. Para ello, es necesario conocer la capacidad del proceso de minado, especialmente la capacidad de minado expresada por la tasa de minado o movimiento de mina anual/semestral/diaria y la capacidad de planta o procesamiento dada por el tonelaje dado por la trituradora. . La programación se realizará utilizando un modelo de programación que tiene como objetivo maximizar el VAN del plan de producción.

3.11. Diseño de Mina

3.11.1. Aspectos Geomecánicos

La clasificación geomecánica del macizo rocoso se efectuó, utilizando el criterio de Bieniawski (1989), y Hoek-Brown GSI. En la clasificación de Bieniawski, el macizo rocoso varía desde roca Pobre hasta Regular. Y en la clasificación de Hoek-Brown, el macizo rocoso presenta valores de GSI de 28 hasta 40. Se revisó y analizó toda la información disponible, a fin de que pueda ser aprovechada para los propósitos del estudio. El Mapeo Geotécnico se realizó usando normas ISRM (Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas).

El proyecto contempla la explotación de los yacimientos Apumayo y Huamanloma por minado a cielo abierto, para lo cual el área de Planeamiento, ha elaborado un prediseño de un tajo para el yacimiento Apumayo (Tajo Apumayo) y tres tajos para el yacimiento Huamanloma (Tajos 1, 2 y 3).

Para clasificar geomecánicamente a la masa rocosa se utilizó el criterio de clasificación geomecánica de Bieniawski (RMR - Valoración del Macizo Rcoso - 1989) correlacionados con el índice Q de Barton y el índice GSI de Hoek & Brown.

Los valores del índice de calidad de la roca (RQD) fueron determinados mediante el registro lineal de discontinuidades, usando la relación propuesta por Priest & Hudson (1986), teniendo como parámetro de entrada principal la frecuencia de fracturamiento por metro lineal. También se obtuvo valores del RQD a partir del mapeo geotécnico de los testigos de perforación diamantina efectuadas como parte de los trabajos de campo del estudio.

Tabla 19. Criterio para la clasificación de la masa rocosa

CLASIFICACIÓN DE LA MASA ROCOSA		
Tipo de roca	Rango RMR	Calidad según RMR
II	> 60	Buena
IIIA	51-60	Regular A
IIIB	41-50	Regular B
IVA	31-40	Mala A
IVB	21-30	Mala B
V	< 20	Muy Mala

Fuente: Geotécnica Apumayo.

El RMR (Rock Mass Rating), traducido como Clasificación del Macizo Rocoso, es una metodología de clasificación de macizo rocoso que permite relacionar índices de calidad con parámetros geotécnicos del macizo rocoso, criterios de excavación y sostenimiento. La clasificación RMR tiene en cuenta los siguientes parámetros geomecánicos:

- La resistencia uniaxial de la matriz rocosa.
- El grado de fracturación en parámetros del RQD.
- El espaciado de las discontinuidades (planos de debilidad).
- Las condiciones de las discontinuidades.
- Parámetros o condiciones hidrogeológicas.
- La orientación de las discontinuidades con respecto a la estructura de excavación.

En conjunto el efecto de los parámetros geomecánicos sobre el comportamiento del macizo rocoso se expresa mediante el índice de calidad RMR, que varía de 0 a 100.

Tabla 20. Determinación de RMR básico en Apumayo Sur

TAJO APUMAYO SUR: PROGRESIVA 00 - 23.00 M		
Parámetros	Resultados Cuantitativos	Valoración
Resistencia compresiva uniaxial (MPa)	23 MPa	2
RQD	92%	20
Espaciado	200-600 mm	8
Persistencia	1-3 m	4
Apertura	Ang. 0.1-1.00 mm	3
Rugosidad	Mediana rugosa	3
Relleno	Duro >5mm	2
Meteorización	Moderado	3
Agua subterránea	Húmedo	7
RMR básico		52

Fuente: Geotécnica Apumayo.

El macizo rocoso es andesita silicificada (sílice masiva, sílice granular y alunita). El RMR es 52 según la tabla de Bieniawski 1989 detalla como:

- Tipo de roca: Andesita silicificada (Alterada)
- Categoría: III
- Calidad: Regular - Media

Según estos cuadros y en base a la experiencia en este tipo de yacimientos, la calidad de la roca está directamente asociada a los tipos de alteraciones presentes en estas áreas. En los citados cuadros se presentan los valores de calidad por dominios estructurales (DE), correspondiendo cada dominio a un tipo de alteración: Sílice Granular (SG), Sílice Alunita (SA), Sílice Masiva (SM) y Sílice Clay (SC), Clay (C) y Roca Fresca (RF).

Tabla 21. Calidad de dominios estructurales (DE) - Área Apumayo

DOMINIO		RMR		DESCRIPCIÓN	CALIDAD
		Rango	Promedio		
DE-1	SM: Sílice masiva	22 - 66	53	IIIA	Regular A
	SG: Sílice granular				
	SA Sílice Alunita	45 - 60	53		
DE-2	PRO: Propilítico	21 - 67	49	IIIB	Regular B
	RF: Roca fresca	22 - 65	48		
	SC: Sílice clay	38 - 42	41		
DE-3	ARG: Argílico	21 - 63	39	IV A	Mala A
	C: Clay	22 - 59	35		

Fuente: Geotécnica Apumayo.

Tabla 22. Resumen de calidades de la masa rocosa – Área Huamanloma

DOMINIO		RMR		DESCRIPCIÓN	CALIDAD
		Rango	Promedio		
DE-2	SM Sílice Masiva	27 - 60	47	IIIB	Regular B
	SO Sílice Opalina	48 - 50	49		
	SV Sílice Vuggy	35 - 54	45		
DE-3	SG Sílice granular	22 - 59	40	IVA	Mala A
	SC Sílice clay	28 - 42	33		
	C Clay	21 - 35	33		

En general la zona mineralizada se encuentra mayormente dentro de rocas de alteración sílice granular y sílice masiva. En el caso del yacimiento Apumayo, la calidad de la masa rocosa varía desde Mala A (IVA) hasta Regular A (IIIA), pasando por las rocas de calidad Regular B (IIIB). En el caso del yacimiento Huamanloma, la calidad de la masa rocosa varía desde Mala A (IVA) a Regular B (IIIB), estas características de calidad indican que en Huamanloma, la masa rocosa tiene condiciones geomecánicas ligeramente inferiores que Apumayo. Asociadas a las zonas de fallas presentes en cada uno de los tipos de alteraciones, se encuentran rocas de calidad Mala B (RMR 21 a 30). En la tabla 21, la calidad de las masas rocosas presentes está representada por el promedio ponderado.

En diseños de Tajo final Apumayo y Huamán Loma se determinó parámetros geométricos y características principales de explotación, teniendo como base información actualizada a la fecha proveniente del diseño de mina apoyado en el software minero Vulcan, el cual combina parámetros técnicos y económicos usando el método Lerchs & Grossman.

En el diseño de Pit Operativo se usó los siguientes parámetros (Tabla 23 y Figura 9

Tabla 23. Parámetros Geométricos de Diseño

TAJOS APUMAYO Y HUAMANLOMA	
Parámetro	Valor
Ángulo del talud final	45°
Ángulo del talud operacional	65°
Altura de banco	8 m
Ancho de banco	4.27 m
Ancho de rampa	12 m
Gradiente de rampa	8 -10%
Distancia prom. de acarreo Tajo Apumayo a Pad	2.4 km
Distancia prom. de acarreo Tajo Apumayo a Botadero 1	1.0 km
Distancia prom. de acarreo Tajo H. Loma a Pad	2.4 km
Distancia prom. de acarreo Tajo H. Loma a Botadero 2	1.0 km

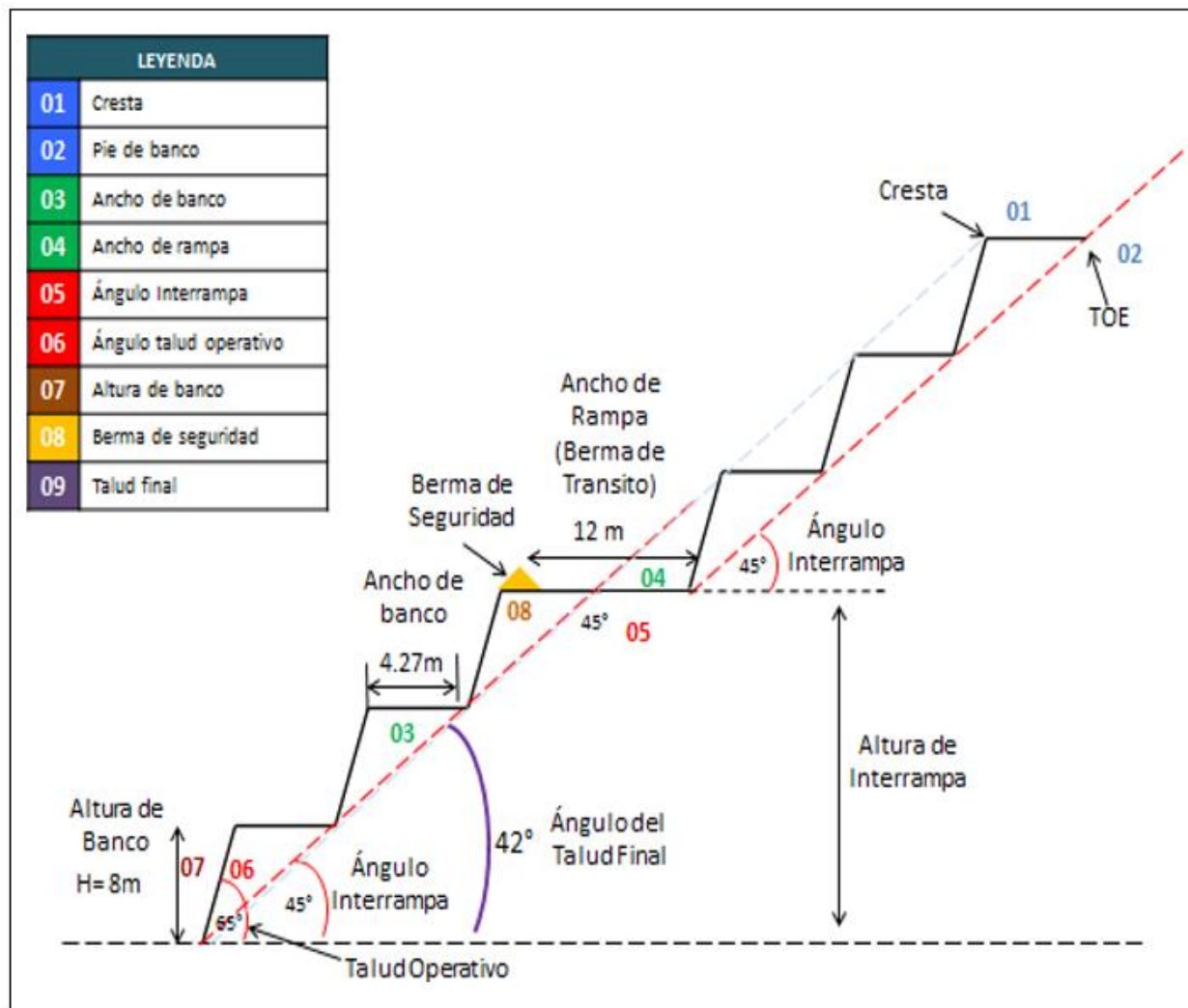


Figura 9. Parámetros de Diseño del Pit Apumayo, 2021

El proyecto contempla la explotación por minado a cielo abierto de un yacimiento aurífero a través de 4 tajos (Ver figura 10): Tajo Apumayo, Tajo Huamán Loma, el que comprende 3 tajos; Tajo1, Tajo 2, y Tajo 3. Según diseño, los tajos tendrán las siguientes dimensiones. (Ver Tabla 24).

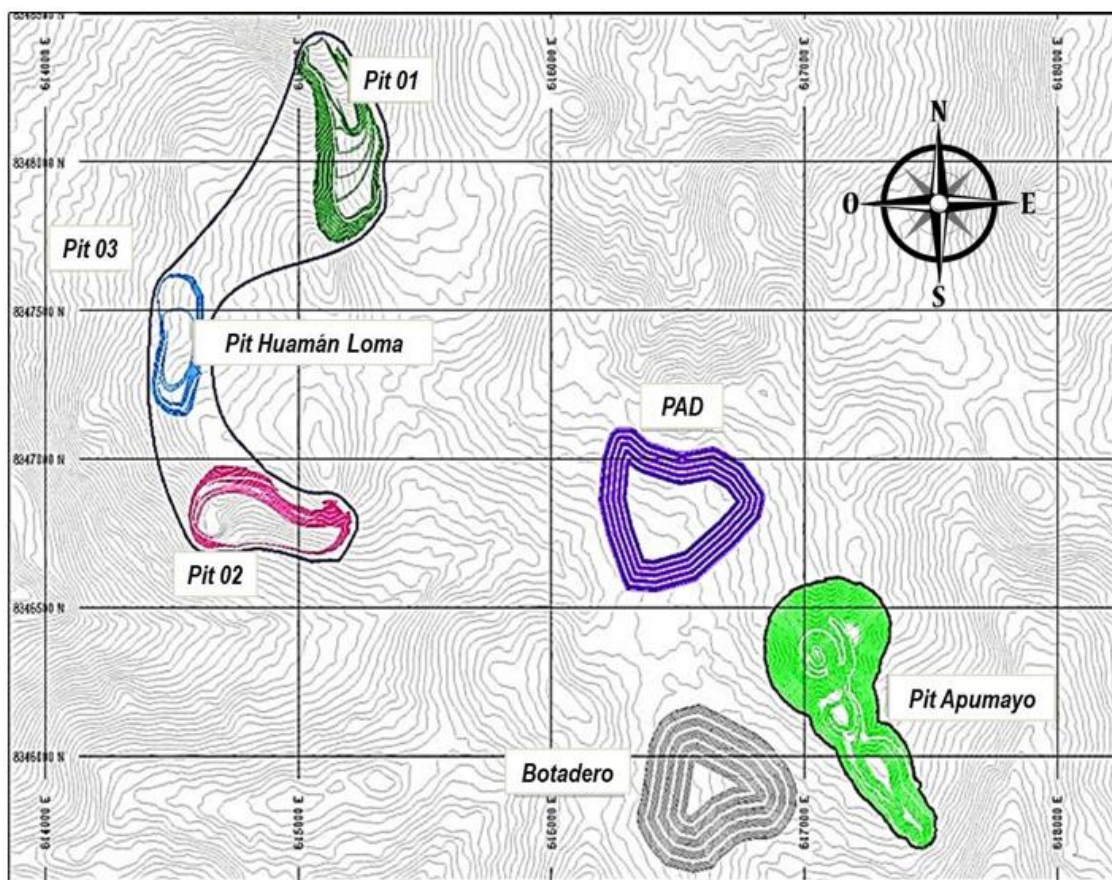


Figura 10. Vista en planta de los Tajos Apumayo y Huamán Loma

Tabla 24. Dimensiones de los tajos

Sector	Tajo	Longitud	Ancho	Profundidad
Apumayo	Apumayo	1000	470	230
Huamán Loma	1	660	250	145
Huamán Loma	2	610	210	65
Huamán Loma	3	470	170	55

3.12. Ciclo de Minado

3.12.1. Perforación

En la UM Apumayo, la perforación se realiza con 02 perforadoras rotativas DM45, con un diámetro de perforación de 6 3/4" y 9.0 metros de longitud total de perforación, el cual incluye 1.0 m de sobre perforación para obtener un piso uniforme.

El modelo DM-45 de Atlas Copco es una perforadora montada sobre orugas, utiliza un motor diésel para impulsar el compresor y el sistema hidráulico, ocupa un sistema multipass en la perforación y su uso en las faenas es para pozos de tronaduras, en la cabina del operador usa sistema eléctrico sobre los controles hidráulicos.



Figura 11. Perforadora DM-45 de Atlas Copco

Aceros de Perforación

- Barras de Perforación: De 5 1/2” de diámetro y longitud de 30 pies.
- Brocas: Triconos y martillo en fondo

DTH (Down the Hole)

Este sistema trabaja en la parte inferior de una columna de perforación y su principal característica es que el martillo golpea directamente en la boca, esto hace que la eficiencia de trabajo sea mucho mayor. Las ventajas son las siguientes:

- Velocidad de penetración bastante homogénea con el aumento de profundidad.
- Se pueden alcanzar profundidades superiores a 100 m.
- Rendimientos de 60 a 100 m/turno.
- El martillo en fondo y la boca forman una unidad integrada dentro del barreno.
- Accionamiento del pistón neumático o hidráulico.
- Aire comprimido para barrer detritus.
- El campo de aplicación es en rocas de resistencia de compresión media – alta (60 a 100 MPa).

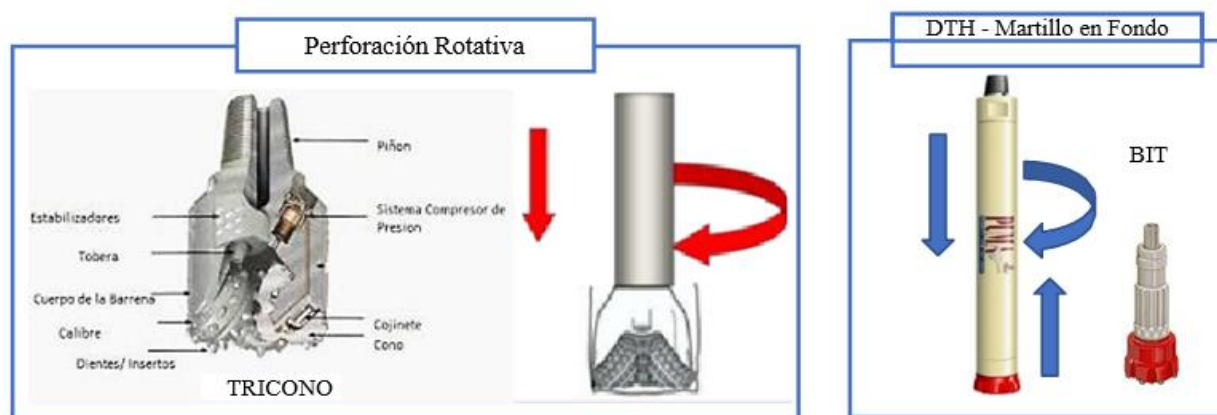


Figura 12. Aceros de perforación (Brocas) de DM-45 Atlas Copco

Malla. La malla de perforación dependerá de la dureza y densidad del material, por lo que las mallas a utilizar están en función de los parámetros técnicos, resultando 03 tipos:

Malla N° 1: 5,1 X 5,7 m – Material Coluvial.

Malla N° 2: 4,3 X 5,0 m – Roca In Situ (Roca Media)

Malla N° 3: 4,1 X 4,7 m – Roca In Situ. (Roca Dura)

El diseño de la malla de perforación es un factor sumamente importante puesto que cualquier buen resultado de la voladura es mérito de una buena marcación de la malla y su adecuada perforación, además mucho dependerá de una correcta limpieza de las áreas a perforar y señalización. El monitoreo de la operación se realizará día a día a través de un sistema de control de producción y performance de equipos (velocidad de perforación, fragmentación de rocas por voladura, velocidad de carguío, ciclos de acarreo, TM/h, TM/ciclo, disponibilidad y utilización de equipos, costos unitarios en cada operación unitaria) dirigido por un supervisor. La información obtenida nos permite calcular los rendimientos e identificar desviaciones con respecto a lo planeado y tomar acciones correctivas en el momento.

A continuación, se presentan herramientas, accesorios y elementos de sarta de perforación empleados en la reposición del cargador, el cambio de barra de perforación, el montaje y desmontaje del martillo DHD, el cambio de broca y el desprendimiento de juntas roscadas apretadas entre barras de perforación, DHD, mandril DHD y husillo de cabeza giratoria. Entre los cuales tenemos:

1. Cabeza giratoria
2. Husillo de cabeza giratoria
3. Dispositivo de elevación auxiliar (instalado en torre)

4. Cable de dispositivo de elevación auxiliar
5. Gancho elevador
6. Adaptador de husillo
7. Llave de cadena
8. Llave en J
9. Barra de perforación
10. Soporte de perforación angular (opcional)
11. Casquillo de centrado de tubo de perforación
12. Casquillos hendidos de centrado DHD
13. Martillo DHD
14. Broca de botones
15. Barra de arrancador
16. Llave de horquilla deslizante (retén de barras de perforación)
17. Cesto de broca
18. Mandril de desconexión de broca (para ajuste de broca de botones)

3.12.2. Voladura

El objetivo es fragmentar el macizo rocoso a través de agentes de voladura, mediante el siguiente proceso:

Para la iniciación utilizaremos boosters de 1 libra con líneas descendentes no eléctricas con tiempos medidos en milisegundos (ms), para el amarre troncal 10 utilizamos cordón detonante 5G. En cuanto al diseño de carga del explosivo y los accesorios de voladura, se procederá al carguío de una columna de 9 m de longitud total, incluyendo en esta la sobre perforación de 1m, un diámetro de taladro de 6 $\frac{3}{4}$ ", y una secuencia descendente de Fanel Dual 11(800/17 mls), cebo 2

Booster (HDP 225g), Fanel Dual (800/17 mls), cebo 1 Booster (HDP 225g), en ese orden respectivamente. (Ver Figura 13).

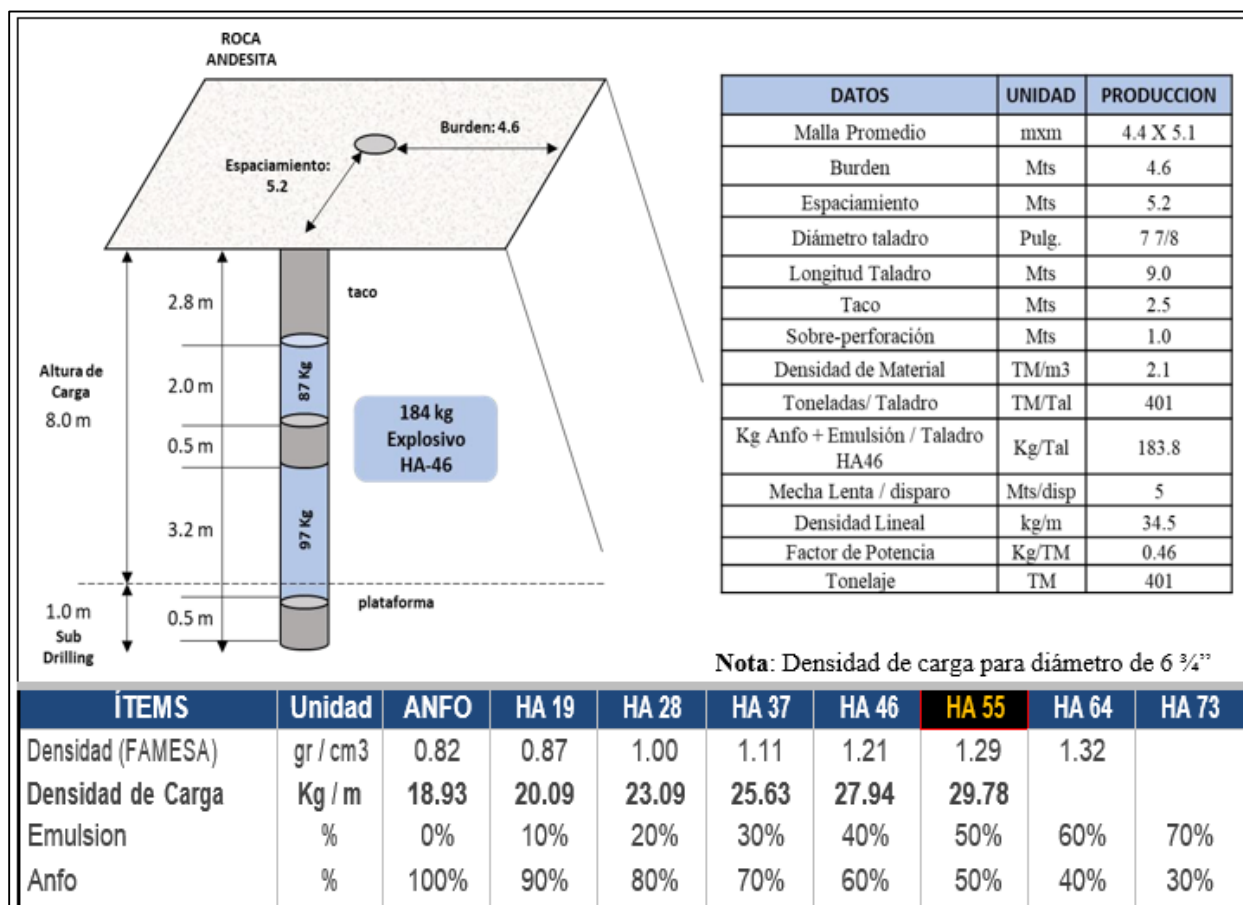


Figura 13. Diseño de Carga de taladros en la voladura de Apumayo, 2021

La carga de los taladros se mecanizará mediante camiones factoría mezclando Anfo y Anfo Pesado, lo que permitirá utilizar distintos tipos de explosivos en función del porcentaje de material frangible y contenido de agua. Luego, el orificio se cubre con un enchufe de 2,5 my generalmente se enciende con un fusible de 8 pies con una tapa # 8. También contaremos con un camión factoría con una capacidad de 5.5 TM y una cuadrilla de demolición. En relación con este problema se deben realizar las siguientes comprobaciones: calibración del carro mezclador

(semanal) medición de la densidad de nitrato, medición de la dispersión de Farnell y retardo (mensual).

3.12.3. Carguío

Es la actividad que se realiza con el empleo de equipos pesados tales como: excavadoras y cargadores frontales sobre neumáticos en algunos casos. Estos equipos tienen capacidad de 2.80 m³ a 10.50 m³ respectivamente para cargar volquetes de 22 m³ de capacidad. Los equipos de carguío son:

- 02 cargador frontal CAT 992C, 10.5 m³ de capacidad de cuchara.
- 04 excavadoras CAT 345, de 2.80 m³ de capacidad de cuchara.
- 01 cargador frontal CAT 966, 3.5 m³ de capacidad de cuchara



Figura 14. Equipo de carguío Excavadora CAT 345

3.12.4. Transporte

En el transporte se utilizan volquetes de 22 m³ (ver Anexo 8) para el acarreo del mineral del tajo al PAD de lixiviación, al stock piles o el desmote al botadero por una rampa con gradiente de 3-10% y 12 m de ancho. La flota de volquetes es de 20 equipos (para mineral y desmote).

- 8 volquetes para mineral
- 10 volquetes para desmonte
- 2 volquetes en Stand by



Figura 15. Volquete Volvo FMX 440 de 22 m³ circulando en rampa

Cálculo del Rendimiento de Volquete (R_v)

Para determinar el rendimiento horario del volquete utilizaremos la siguiente fórmula:

Donde:

- R_v: Rendimiento medidos en el banco, m³/h
- Q: Capacidad o volumen de la tolva de volquete, m³
- E: Factor de eficiencia de trabajo (generalmente 75%)
- T: Tiempo de un ciclo completo, minutos
- p: Factor de pendiente
- r: Factor de rodadura

- H: Factor de altura

3.13. Proceso Metalúrgico

3.13.1. Chancado

El proyecto cuenta con un equipo de chancadora primaria y secundaria marca Gator PE 3042 de capacidad de 2900 T/día, es una chancadora móvil de poca capacidad, reduce hasta ½” a un costo de 1.79 \$/t. Para incrementar la recuperación de finos en la planta de lixiviación se requiere chancar la mayor cantidad posible de mineral para incrementar la recuperación metalúrgica. Mediante la voladura solo se logró producir un P80 hasta 2.90 pulgadas, de desear reducir más se elevará el costo por explosivo y equipo de perforación.

3.13.2. Lixiviación

El PAD ha sido diseñado mediante la construcción de taludes con una inclinación media de 2.5 H: 1V. La geometría del PAD considera capas (lift) de 8 m de altura, con banquetas intermedias de 9,4 m de ancho. La configuración de cada capa se ha desarrollado asumiendo que el mineral se apilará con un ángulo de reposos de 1,3 H:1 V, obteniendo en suma el talud global. La disposición de mineral en celdas se conformamanteniendo un retiro de 5 m en promedio con respecto a la berma perimetral interior del PAD y una altura máxima de 80 m (permitiendo apilar 10 lifts máximos de mineral), la capacidad de almacenamiento será aproximadamente de 8,5 millones de toneladas métricas de ROM (Run of Mine), que hace referencia a la producción de mineral de una mina antes del cribado 12 sin hacerle tratamiento metalúrgico alguno. (Ver figura 16).



Figura 16. Planta Merrill Crowe, Apumayo 2021

3.13.3. Riego del Mineral

El mineral se apilará hasta que se complete el tonelaje requerido formando una celda con un área de 2,500 m², seguidamente se procederá al armado del sistema de riego, el que utilizará una tubería de HDPE de 6" como matriz y mangueras de ½" con emisores para el goteo de la solución de riego.



Figura 17. Sistema de tuberías para riego de mineral

El promedio de ratio de riego es de 12 L/h.m², la concentración de cianuro en la solución es de 1 000 ppm y tendrá un pH de 10,5, así mismo las celdas se mantienen bajo riego por un periodo de 80 días para llegar a un 80 % de recuperación de oro y 20% de plata, luego se procederá

a retirar el sistema de riego para dar paso a llenado con mineral nuevo. La solución (agua + cal + cianuro de sodio), atraviesa la pila de mineral y en el trayecto va reaccionando el cianuro con los metales preciosos, llegando a formar un complejo cianurado de oro y plata soluble en agua, de esta forma el oro y la plata son captados en la solución a nivel del piso del PAD y conducido a cualquiera de las dos pozas de soluciones, entre las cuales se tiene una poza de solución rica (PLS) y otra de solución intermedia (ILS), dependiendo de la ley de oro que tengan las soluciones, se ha calculado que considerando el área que se tendrá en riego, se estima que drenará un caudal de 1 100 m³/h de solución hacia las pozas, de los cuales 600 m³/h se derivarán a la poza de solución rica y los otros 500 m³/hr. restantes se captarán en la poza de solución intermedia.

3.13.4. Conducción y recepción de las Soluciones en las Pozas PLS e ILS

La solución de la poza rica PLS es alimentada por medio de bombas sumergibles de 100 HP a la planta Merrill Crowe, donde se adiciona polvo de zinc, para recuperar el oro y la plata contenidos en la solución. La solución de la poza intermedia es recirculada directamente al PAD, hasta que alcance una ley similar a la de la poza de solución rica. La solución que es tratada en la planta Merrill Crowe 14, después de ser recuperado el oro y plata, se convierte en solución pobre que luego es bombeado al PAD, cumpliéndose de esta forma el ciclo de recirculación de las soluciones. En condiciones normales de operación, en la planta de tratamiento de destrucción de cianuro, hay un consumo de agua por efecto de evaporación natural y por quedarse en el mineral apilado en el PAD, cuando este llega a la humedad de saturación, por este motivo se adiciona agua al proceso para mantener el balance de los volúmenes de solución en proceso. Cuando hay un incremento en los volúmenes de las soluciones en la época de lluvia se utiliza la poza de mayores eventos, (con 60 000 m³, calculado para contener la mayor lluvia en los últimos 100 años)

- El bombeo de la poza de solución rica a la Planta Merrill Crowe está gobernado por 2 bombas sumergibles de 100 HP.
- El bombeo de la poza de solución intermedia al Tanque de Paso Intermedia está gobernado por 2 bombas sumergibles de 100 y 60 HP.
- El bombeo de solución de la poza de mayores eventos a la poza intermedia y a la Planta de tratamiento de destrucción de cianuro está gobernado por una bomba sumergible de 60 HP.

3.13.5. Recuperación de la solución en planta “Merrill Crowe”

Se ha calculado que el flujo que drenará del PAD a un tratamiento de mineral de 15 000 TM/día, es de 1, 100 m³/h, de las cuales 500 m³/h se derivará a la poza intermedia (ILS) y los 600 m³/h restantes serán procesados en la Planta Merrill Crowe.

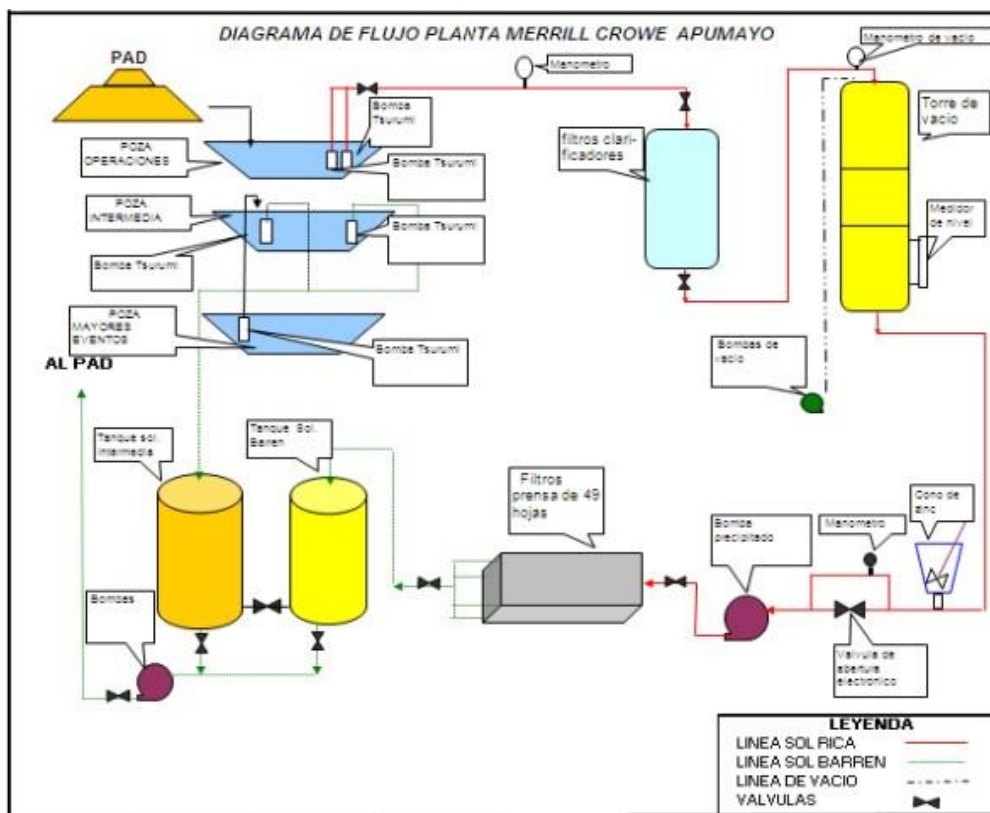


Figura 18. *Diagrama de Flujo - Planta Merrill Crowe*

El principio del proceso Merrill Crowe es la utilización del polvo de Zinc para precipitar los metales valiosos de la solución rica. Para que la precipitación de metales en la solución rica (PLS), sea eficiente, la solución tiene que cumplir las siguientes condiciones básicas:

- Ser limpia, el contenido de sólidos suspendidos debe estar menor a 1 NTU.
- El nivel de contenido de oxígeno disuelto debe ser menor a 1 mg/l.

3.13.6. Componentes de la Planta Merrill Crowe



Figura 19. Esquema de la planta Merrill Crowe

3.13.7. Clarificación

La función de la clarificación es obtener soluciones cristalinas con bajo contenido de sólidos suspendidos, se realiza utilizando filtros de hojas a presión, la clarificación de la solución rica se inicia con la alimentación por bombeo de la poza de solución rica (PLS) a 3 filtros clarificadores (ver figura 20), cuyas áreas filtrantes han sido recubiertos con una capa delgada de ayuda filtrante, en este caso es la tierra diatomita.



Figura 20. Filtros clarificadores con área de 1200 ft² por unidad

Durante el ciclo de filtraje, cada uno de los filtros clarificadores en operación retira las partículas sólidas a medida que la solución pasa a través de las telas recubiertas con ayuda filtrante. Cada filtro clarificador cuenta con 29 paneles u hojas filtrantes separados uno a uno por un espacio de 4", cuentan con un sistema de lavado por chorros de agua dirigidos. El nivel de la turbidez que se obtiene en la solución clarificada es de menos de 1 NTU.

3.13.8. Desoxigenación

La función de esta etapa es la de extraer de la solución clarificada el oxígeno disuelto, para obtener soluciones con contenidos menores a 1 mg/l de oxígeno, para este fin se utilizará una torre metálica cilíndrica que tiene una dimensión de 1,95 m. de diámetro por 4,5 m. de altura y está totalmente cerrada. (Ver figura 21). La solución rica clarificada ingresa a la torre de vacío por la parte superior, en su caída por el interior de la torre el chorro de solución se esparce y forma espesores de película de solución muy delgadas por efecto de tener que atravesar unos elementos que están empacados en la torre (packing), con el objeto de que el vacío creado mediante una bomba y la remoción del oxígeno sea rápida y eficiente. La solución así tratada se deposita en la parte inferior de la torre y está lista para ser sometido al siguiente proceso de precipitación.



Figura 21. Torre de vacío en la planta Merrill Crowe

La solución que se deposita en la parte inferior de la torre de vacío es extraída por la succión de una bomba centrífuga, en el recorrido entre la torre de vacío y la bomba se inyecta la emulsión de zinc que ha sido preparado en el cono. (Ver figura 22). La solución rica clarificada y desoxigenada es precipitada con polvo de zinc para recuperar los metales preciosos Au-Ag de la solución que formarán el doré. La dosificación de zinc se regula de acuerdo a la ley de oro y plata disuelta en la solución.



Figura 22. Cono de precipitación en la planta Merrill Crowe

3.13.9. Separación del Precipitado

La separación del precipitado de la solución pobre se realiza en 3 filtros prensa. Los metales valiosos precipitados y la solución pobre serán bombeados a los filtros prensa, donde queda atrapado los sólidos de oro y plata y el exceso de zinc y otras impurezas.

La solución pobre que atraviesa el filtro prensa será derivada hacia un tanque de almacenamiento, donde se le adiciona cianuro, para reforzar su fuerza y es bombeado hacia el PAD de lixiviación. Cada Filtro Prensa está compuesto de 50 platos o paneles haciendo un total de 49 cámaras por Filtro Prensa. (Ver figura 23).



Figura 23. Filtro prensa en la planta Merrill Crowe

En la superficie de las lonas que están formando una cámara, también es necesario formar una cama filtrante con tierra diatomita utilizando el mismo sistema de precoat de clarificación mediante otra línea y juego de válvulas. El Filtro Prensa en operación llegará a saturarse de precipitado aproximadamente en 15 días perdiendo capacidad de flujo, elevando la presión de

trabajo hasta 65 PSI, obligando al cambio de filtro quedando este para su respectiva cosecha y secado en un horno de retorta.

3.13.10. *Fundición*

El precipitado así tratado es mezclado con fundentes, como son el bórax, carbonato de sodio, cal y nitrato de potasio, en cantidades calculadas y después de un mezclado será cargado al crisol del horno, donde se efectúa la fundición de los metales contenidos en el precipitado, para esto se eleva la temperatura hasta 1150°C, cuando se observe que el metal está fundido completamente se procede al vaciado del horno, para esto se apaga el quemador y se bascula el horno, para descargar la escoria y el metal a lingoteras. El producto final será la obtención de las barras doré que tendrán un peso de 20 a 30 kg.

Las escorias que se producirán en el proceso de fundición de los precipitados, después de ser sometido a un proceso para recuperar finos de metal precioso retenidos, serán depositados en el PAD como disposición final.

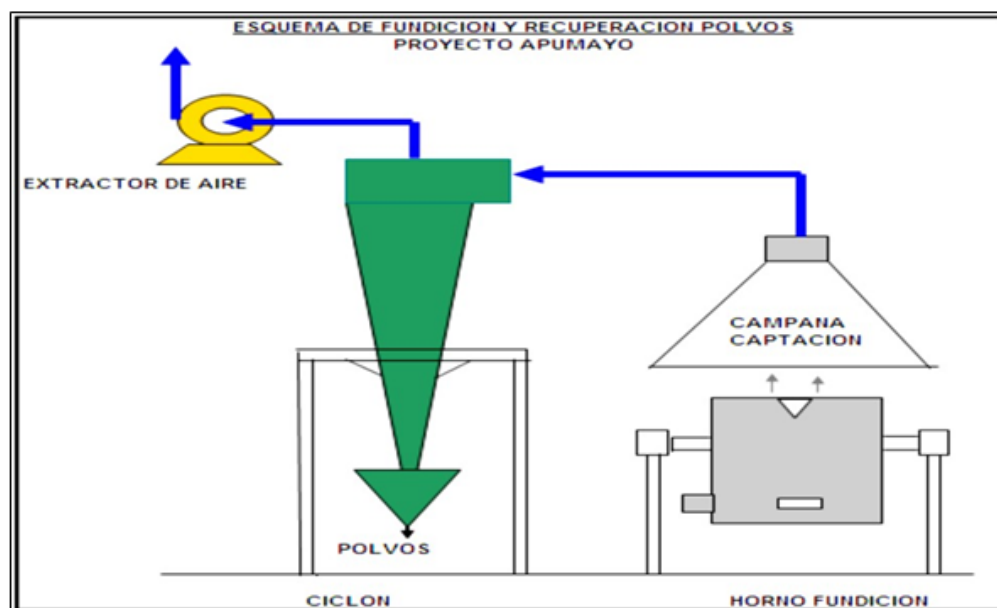


Figura 24. Diagrama de flujo de fundición y recuperación de polvos

3.13.11. Destrucción del Cianuro

La alimentación de la solución de la poza de mayores eventos hacia la Planta de Destrucción de Cianuro se realiza a través de una bomba sumergible, la misma que impulsa la solución a un caudal de 150 m³/h. El circuito se inicia con la adsorción de los metales pesados disueltos en solución en Carbón Activado dispuestos en un circuito de 03 Columnas donde la solución hace contacto con el carbón Activado y los metales disueltos son absorbidos dejando una solución limpia de metales pesados y donde también se recuperan los metales valiosos como el oro y la plata.

Luego esta solución limpia pasa a un circuito de 02 tanques de Reacción con Agitación donde se adiciona el Peróxido de Hidrógeno y el Sulfato de Cobre como catalizador para la destrucción del Cianuro remanente. La aplicación del Peróxido de Hidrógeno es directa sin necesidad de dilución y/o preparación.

Finalmente, el agua tratada se vierte a 2 pozas de sedimentación dispuestas en serie, para retener los compuestos sólidos resultantes de este tratamiento, luego será dispuesta por medio de rebose al medio ambiente, cumpliendo con los límites máximos permisibles. Durante todo el proceso y a intervalos de media hora se toman muestras de ingreso como de salida, de la solución tratada para análisis de cianuro y oro, para tener un control estricto y que el agua residual no contenga elementos tóxicos.

Ambientalmente, el uso de Peróxido de Hidrógeno en la destrucción de cianuro no deja residuales peligrosos para el ser humano. La solución que ingresará a la Planta de destrucción de Cianuro tendrá en su contenido aproximadamente 60 ppm de CN, y la relación peróxido de hidrógeno a cianuro degradado será de 3.

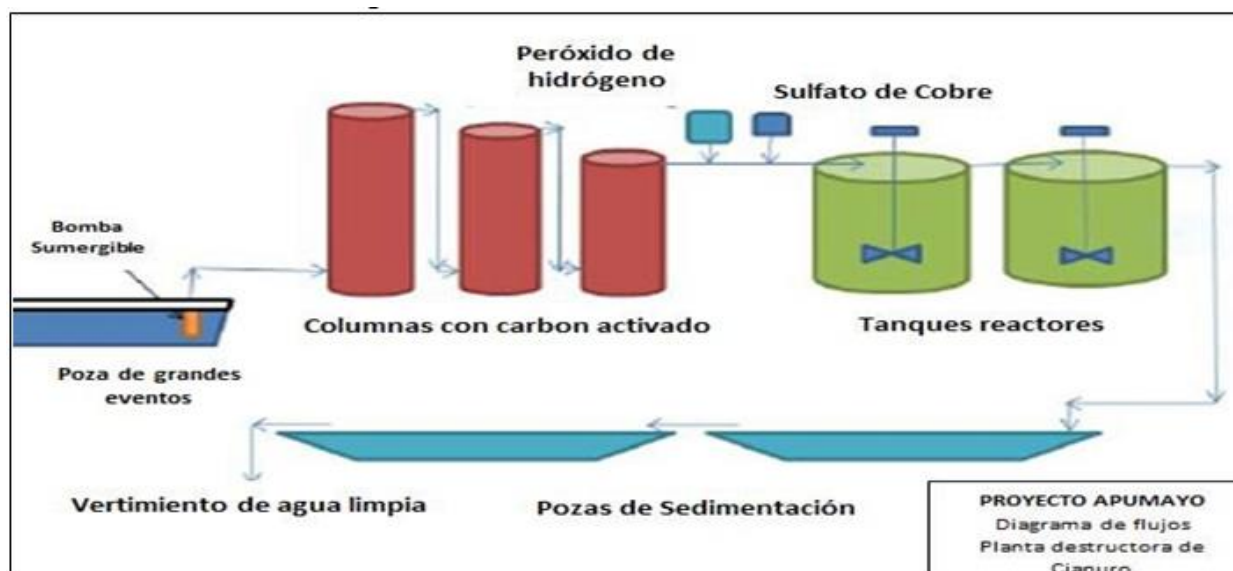


Figura 25. Planta de destrucción del cianuro

3.13.12. Suministro de Energía

Se suministra a través de una línea de transmisión de 22,9 kV desde la sub estación existente en Coracora con una sub estación de llegada construida en el Proyecto Minero Apumayo con una distancia de instalación de 16 Km. Se requiere de energía para operar los componentes de la Planta Merrill Crowe y para las bombas que se utilizarán para recircular las soluciones pobres de la poza ILS al PAD. Esta energía proviene del sistema interconectado. Igualmente se requiere de energía para los servicios auxiliares tales como: Comedor, oficinas y campamento minero. Se ha determinado una potencia instalada de 718 HP para la Planta Merrill Crowe, 1 030 HP para el PAD de lixiviación, haciendo un total de 1 748 HP, equivalente a 1 304 kW, por requerimiento se ha contratado 2,0 Megas.

3.13.13. Abastecimiento de Agua

El consumo de agua industrial que se requiere en operación del Proyecto Minero Apumayo será de 4,2 l/s, para el riego de accesos habrá un consumo de 1 l/s. El total del consumo de agua

en el proyecto es de 5,36 l/s, proviene de las filtraciones de la Q° Cellocasa y son captadas en dos represas de 30,000 m³.

El área de tratamiento metalúrgico comprende básicamente el área del PAD de lixiviación y la planta de recuperación Merrill Crowe e inclusive instalaciones conexas como pozas de solución rica (PLS), intermedias (ILS) la poza de grandes eventos, laboratorio, almacén de cianuro, cal y otros insumos.

3.13.14. Servicios Auxiliares

Las vías principales de accesos hacia el tajo abierto, botadero de desmonte, stock piles y PAD de lixiviación serán mantenidas mediante el uso de una motoniveladora en conjunto con un camión cisterna para el regado con agua, esto permitirá tener las vías en buen estado y evitar el polvo originado por el paso de vehículos y maquinarias.

Son equipos encargados básicamente de apoyo en las zonas de carguío (nivelación de pisos, acumulación de material para alimentar a los equipos de carguío, limpieza de frentes), en las zonas de acceso (limpieza de vías, construcción de bermas, construcción de accesos, regado de vías) y en las zonas de descarga (empuje de material y nivelación de pisos). Para lo cual contamos con equipos según la relación detallada:

- 02 tractores Oruga CAT modelo D8T
- 02 tractores Oruga CAT modelo D6R
- 02 motoniveladoras CATERPILLAR modelo 140H
- 08 luminarias
- 02 cisternas de agua (para operaciones y consumo doméstico)
- 01 cisterna de combustible

Capítulo IV

Resultados y Discusión

4.1. Diagrama por Áreas

Según data del Presupuesto OPEX correspondiente al inicio de operaciones obtenidos del área de Contabilidad Mina y Planeamiento Apumayo, se realizó el siguiente gráfico con la finalidad de identificar el área de estudio más relevante de la presente investigación.

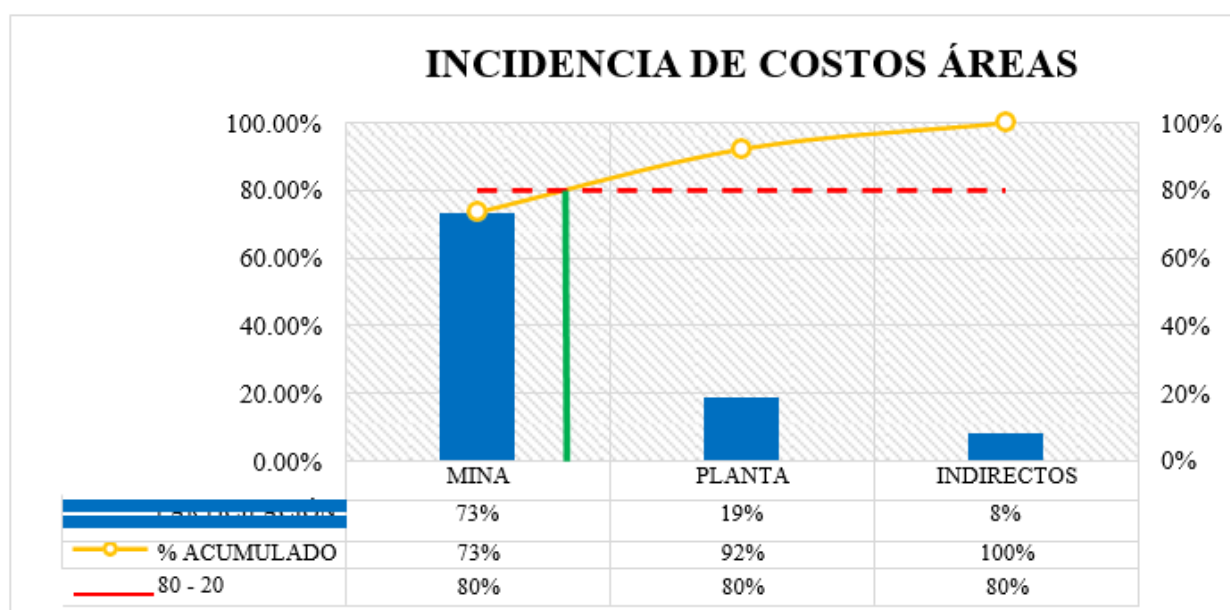


Figura 26. Incidencia Costos por Áreas

Según el análisis de Pareto, obedeciendo a la ley de 80 – 20, los costos operativos de las áreas presentadas determinan a **ÁREA MINA** como el área vital de estudio con un 73% de incidencia y Planta e Indirectos con un 19% y 8% respectivamente.

Costo de Operación Mina

Una vez identificado el área de mayor relevancia, se detalla a través del siguiente gráfico, la incidencia de las diferentes actividades del ciclo de minado.

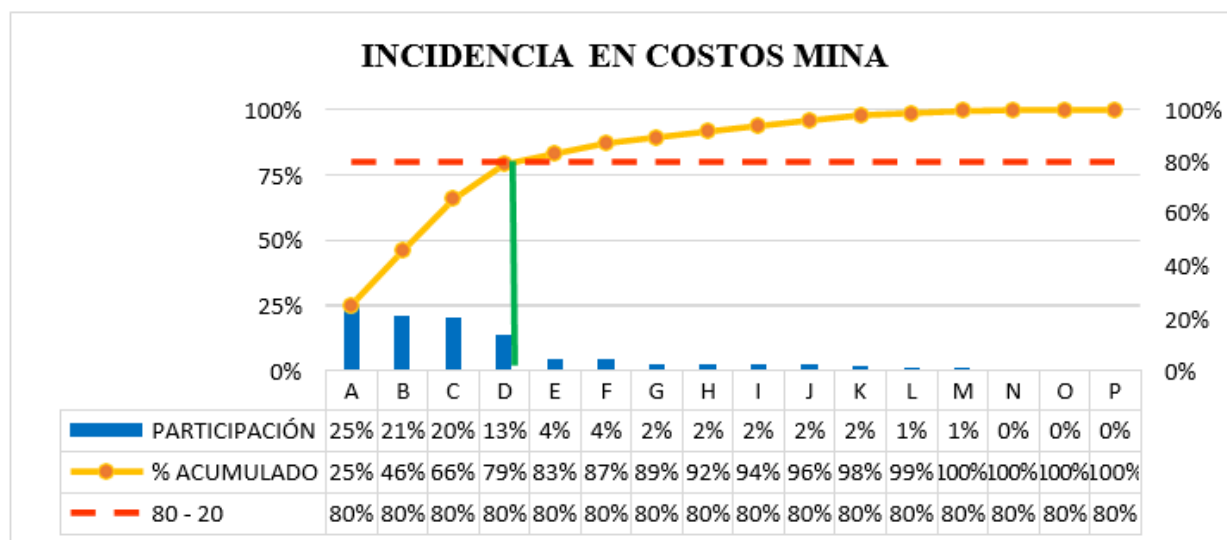


Figura 27. Incidencia en Costos Mina

Tabla 25. Leyenda de áreas y costo periodo

LEYENDA		
	ÁREA	COSTO PERIODO (US\$)
A	TRANSPORTE	1,970,305.31
B	VOLADURA	1,636,674.89
C	CARGUÍO	1,572,666.68
D	PERFORACIÓN	1,058,704.89
E	BOTADEROS	325,602.98
F	DISTRIB. SERVICIO MANTENIMIENTO	310,505.66
G	SUPERVISIÓN	178,863.16
H	PERF. SECUNDARIA	177,373.10
I	MANTENIMIENTO VÍAS - INTERNAS	171,386.57
J	DISTRIB. LAB. QUÍMICO	169,526.47
K	DREN., ESTAB. TAJOS Y ACCESOS	149,856.28
L	GEOLOGÍA MINA	72,298.29
M	TOPOGRAFÍA MINA	62,211.89
N	PLANEAMIENTO	28,823.54
O	ANÁLISIS DE MUESTRAS	1,649.00
P	DISTRIBUCIÓN INDIRECTOS	603.13
TOTAL		7,887,051.84

El diagrama de Pareto señala que el transporte, carguío, perforación, voladura representan el 80% de los costos vitales lo que, globalmente representan un 81% de los costos de Mina y 60% de los costos operativos totales.

- Perforación (11% del costo total Mina)
- Voladura (17% del costo Mina)
- Carguío (15% del costo Mina)
- Transporte de Mineral (5% del costo Mina)
- Transporte de Desmante (13% del costo Mina)

Los costos de las actividades de planta con mayor incidencia dentro de ella son el Riego de Mineral con un 57%, Extendido y Escarificado de Mineral con un 8%, Precipitación con un 6% y Otros (Supervisión, Laboratorio Químico, Refinería propia y Distribución Indirectos) con un 29%. Así mismo, los costos indirectos son costos fijos que no varían al variar la producción y representan, en nuestro análisis, el 8% de los costos totales.

Una vez determinado nuestras variables de estudio, las áreas de perforación, voladura, carguío y transporte, que pertenecen a la etapa operativa de explotación, se ha planteado lo siguiente, para un mejor análisis:

- En primer lugar, para tener una mejor visualización de la información que se presentará en los siguientes cuadros, se decidió colorear las celdas de anaranjado cuando nos referimos a valores propuestos, mientras que, a los valores reales, con color verde.
- Segundo, se mostrarán los datos iniciales de nuestras variables de estudio, que serán necesarios para los cálculos de KPI's en los Periodos II y III. Además, estos KPI's estarán acompañados de sus costos unitarios. Cabe acotar que estos KPI's se obtuvieron con las fórmulas indicadas en el Capítulo III.

- Finalmente se mostrará un cuadro resumen del Costos Operativos Totales para el Periodo II y III, que estará expresada en (US\$/t).

4.2. Análisis de variables de estudio

i. Perforación

Como primera variable de estudio se tiene a la perforación, en donde a continuación se muestra un cuadro resumen de los datos iniciales obtenidos en los Periodos II y III, estos posteriormente servirán para calcular los KPI's en ambos periodos.

Tabla 26. Datos iniciales y KPI's de perforación en el Periodo II y III

PERFORACIÓN				
DATOS INICIALES	UND.	PERIODO II	PROPUESTO	PERIODO III
Taladros perforados	und	11,350	15,500	15,720
Metros perforados	mp	101,015	122,508	144,000.00
Tiempo Efectivo	Hrs	2,931	4,300	4,317
Volumen perforado	m3	2,141,409	2,838,000	2,838,437
Consumo Brocas 6 3/4"	Hrs	3	95	100
Consumo Brocas 7 7/8"	und	87	6	7
KPI'S				
KPI'S EVALUADOS	UND.	PERIODO II	PROPUESTO	PERIODO III
Volumen por metro perforado	m3/mp	21.2	21	21.5
Volumen perforado por hora	m3/h	650.62	694	657.5
Velocidad de penetración	mp/h	35	38	40
Rendimiento Broca 7 7/8"	mp/und	1,161	1,050	1,000
Rendimiento Broca 6 3/4"	mp/und	1,300	1,250	1,290
Taladros por hora	tal/h	3.90	4.00	4.10
Presupuesto ejecutado	\$	896,990.75	1,064,005	1,231,020.04
Metros Perforados	mp	101,015.00	122,508	144,000.00
Costo por UO	US\$/mp	8.88	8.69	8.55

Como se puede apreciar, existe una reducción en los KPI's evaluados durante el Periodo

III respecto a lo Presupuestado para este periodo, en donde:

- El volumen por metro perforado en el Periodo III aumentó en 1.42 % respecto al Periodo II por mejor distribución de malla de perforación y factor de potencia.
- El volumen perforado por hora en el Periodo III aumentó en 1.06% respecto al Periodo II.
- La velocidad de penetración en el Periodo III aumentó en 14.3% respecto al Periodo II por cambio de tricono a martillo de fondo.
- El Rendimiento Broca 7 7/8" se redujo en 161 mp/und por mayor dureza del macizo rocoso.
- El Rendimiento Broca 6 3/4" se redujo en 10 mp/und por mayor dureza del macizo rocoso mencionado anteriormente.
- Los Taladros por hora en el Periodo III aumentaron en 5.13% respecto al Periodo II debido a la mayor velocidad de penetración con el uso de martillo de fondo.

ii. Voladura

De igual manera se presenta un cuadro resumen donde se muestra los datos iniciales obtenidos en los Periodos II y III.

Tabla 27. Datos iniciales y KPI's de voladura en el Periodo II y III

VOLADURA				
DATOS INICIALES	UND.	PERIODO II	PROPUESTO	PERIODO III
<i>Burden</i>	<i>m</i>	3.70	-	3.80
<i>Espaciamiento</i>	<i>m</i>	4.30	-	4.60
<i>Altura de banco</i>	<i>m</i>	9.00	-	9.00
<i>Taco</i>	<i>m</i>	2.60	-	3.00
<i>Mineral</i>	<i>tr</i>	831,805	1,550,000	1,674,729
<i>Desmonte</i>	<i>tr</i>	2,926,657	3,332,500	3,609,637
<i>Total material</i>	<i>tr</i>	3,758,462	4,882,500	5,284,366
<i>Nitrato 46</i>	<i>kg</i>	1,286,182	1,145,200	1,239,459
<i>Emulsión 46</i>	<i>kg</i>	557,480	515,085	804,630
<i>Diésel B5 (peso)</i>	<i>kg</i>	25,496	23,268	30,439
<i>Presupuesto ejecutado</i>	<i>\$</i>	1,445,845.47	1,701,254	1,956,663.46

<i>Material roto</i>	<i>tr</i>	3,758,462	4,521,415	5,284,366
KPI's				
<i>KPI'S EVALUADOS</i>	<i>UND.</i>	<i>PERIODO II</i>	<i>PROPUESTO</i>	<i>PERIODO III</i>
<i>Factor de Potencia</i>	<i>kg/t</i>	0.50	0.30	0.40
<i>Cant. de ANFO por ton</i>	<i>kg/t</i>	0.30	0.20	0.20
<i>Cant. de Emulsión por ton</i>	<i>kg/t</i>	0.10	0.10	0.20
<i>Costo por UO</i>	<i>US\$/t</i>	0.38	0.38	0.37

Según la tabla mostrada se puede apreciar lo siguiente:

- En el Periodo III, el factor de potencia disminuye en un 20% respecto al Periodo II, en otras palabras, se requiere 0.1 Kg menos de explosivo para fragmentar 1 tonelada de mineral.

iii. Carguío

A continuación, se presenta un cuadro comparativo, donde se muestra los datos iniciales en el carguío de mineral y desmonte obtenidos en los Periodos II y III.

El carguío de mineral se realizó con excavadoras CAT 345 y el carguío de desmonte cargador CAT 992.

Tabla 28. Datos iniciales y KPI's de carguío en el Periodo II y III

CARGUÍO				
<i>DATOS INICIALES</i>	<i>UND.</i>	<i>PERIODO II</i>	<i>PROPUESTO</i>	<i>PERIODO III</i>
Volumen mineral	m3	594,840	1,091,101	1,187,362
Volumen desmonte	m3	2,189,992	2,343,309	2,496,626
Tiempo Trabajo mineral	h	1,482	2,085	2,689
Tiempo Trabajo desmonte	h	4,447	4,154	3,861
Tonelaje cargado	t	3,758,462.97	4,521,415	5,284,366.10
Presupuesto ejecutado	\$	1,127,414.44	1,417,854	1,608,294.27
KPI'S				
<i>KPI'S EVALUADOS</i>	<i>UND.</i>	<i>PERIODO II</i>	<i>PROPUESTO</i>	<i>PERIODO III</i>
Rendimiento Mineral	m3/h	401.44	422.00	441.56
Rendimiento Desmonte	m3/h	492.51	600.00	646.59
Costo por UO	<i>US\$/t</i>	0.33	0.31	0.30

Según la tabla mostrada se puede apreciar lo siguiente:

❖ **En el carguío de Mineral**

- Existe un aumento en el rendimiento de carguío de mineral en el Periodo III de 9.9% respecto al Periodo II.

❖ **En el carguío de Desmote**

- De igual manera, existe un aumento en el rendimiento de carguío de Desmote en el Periodo III respecto al periodo anterior, siendo este de 7.77%.

iv. Transporte

Se presenta un cuadro resumen de los datos iniciales obtenidos en los Periodos II y III para el transporte de Mineral y Desmote. En este proceso se utilizó volquetes Volvo FMX 440 de 4 ejes con una capacidad de 22m³.

Tabla 29. Datos iniciales y KPI's de transporte en el Periodo II y III

TRANSPORTE					
DATOS INICIALES		UND.	PERIODO II	PROPUESTO	PERIODO III
TRANSPORTE DE MINERAL	Distancia (km)	km	1.09	1.50	1.40
	Ciclo mineral (min)	min	14.08	18.00	16.51
	N° volquetes mineral (und)	und.	4.24	5.00	4.42
	Presupuesto ejecutado (\$)	\$	403,821.72	579,759	755,696.14
	Tonelaje cargado (t)	t	831,806.00	1,253,268	1,674,729.00
TRANSPORTE DE DESMORTE	Distancia (km)	km	0.80	1.00	0.97
	Ciclo mineral (min)	min	14.08	18.00	16.51
	N° volquetes mineral (und)	und.	11.26	6.00	5.58
	Presupuesto ejecutado (\$)	\$	1,074,596.44	1,171,931	1,269,265.96
	Tonelaje cargado (t)	t	2,926,657.00	3,268,147	3,609,637.00
KPI'S					
KPI'S EVALUADOS		UND.	PERIODO II	PROPUESTO	PERIODO III
TRANSPORTE	Ratio Combustible (gln/h)	g/h	3.16	3.10	3.02

<i>DE MINERAL</i>	<i>Costo por UO (\$/t)</i>	<i>\$/t</i>	0.49	0.46	0.45
<i>TRANSPORTE DE DESMONTE</i>	<i>Ratio Combustible (gln/h)</i>	<i>gln/h</i>	5.03	4.97	4.91
	<i>Costo por UO (\$/t)</i>	<i>\$/t</i>	0.37	0.36	0.35

Según la tabla mostrada se puede apreciar lo siguiente:

❖ **En el Transporte de Mineral**

- En el cuadro anteriormente mostrado, se da a conocer que existe una disminución de ratio de combustible en el Periodo III de 4.43 % respecto al Periodo II debido al buen mantenimiento de vías, regado constante y apagado de motor en horas de descanso de refrigerio y descanso en turno noche.

❖ **En el Transporte de Desmonte**

- De igual manera, aquí existe una disminución de ratio de combustible en el Periodo III respecto al periodo anterior, siendo este de 2.39 % debido al buen mantenimiento de vías, regado constante y apagado de motor en horas de descanso de refrigerio y descanso en turno noche.

4.3. Discusión de Resultados

En esta sección se fundamenta los cambios que se realizó para obtener la reducción de costos entre el periodo II y III con el respectivo cálculo asociado a estos cambios.

- **Perforación**

Como se observa en la tabla 40, existe una disminución en los costos unitarios de perforación (US\$/t), debido al cambio de broca de 7 7/8" a 6 3/4" que se dio entre el periodo II y III, generando un ahorro económico sustancial anual.

Tabla 30. Cálculo rendimiento perforadora por día

Descripción	Perforación con Tricono	Perforación con martillo de fondo
Rendimiento estimado	1161 m	1300 m
Velocidad Penetración	34 m/h	38 m/h
Consumo Combustible	20 G/h	18 G/h
Horas Programadas	20 h	20 h
Disponibilidad Mecánica	85 %	85 %
Utilización	95 %	95 %
Horas Disponibles	17 h	17 h
Horas Utilizadas	16 h	16 h
Rendimiento de perforadora por día (por equipo)	549.1 m/día	613.7 m/día

Se estima que, con una perforación con martillo en fondo, se tiene un mayor rendimiento, en términos de duración de la broca, además la velocidad de penetración es superior a la perforación con tricono. Con este cambio se logra perforar 64.6 metros más por día, que representa un incremento de 11.47%.

Tabla 31. Gestión de equipos de perforación por día

	Perforación con Tricono	Perforación con martillo de fondo
Toneladas por taladro	353 TN/taladro	353 TN/taladro
Número de taladros por día	77 taladros	77 taladros
Reperforado	1 taladro	1 taladro
Metros a perforar por día	698 m/día	698 m/día
Horas - Máquina	25.7 hrs – perf	23 hrs – perf

Número perforadoras	2 perforadoras	2 perforadoras
---------------------	----------------	----------------

Asimismo, como es necesario perforar 698 metros durante el día, estos se realizan mediante 2 perforadoras, pero mediante una perforación con martillo en fondo, se reduce en 2.7 las horas de perforación para producir 27,100 t de material.

Tabla 32. Cálculo del costo por metro perforado

Descripción	Perforación con Tricono	Perforación con martillo de fondo
Servicios	\$3,068.24	\$2,747.90
Mano de obra	\$731.66	\$676.08
Materiales	\$3,744.83	\$3,460.08
Gastos Diversos	\$0.26	\$0.26
Depreciación	\$0.73	\$0.73
Costo Total Perforación por día	\$7,545.73	\$6,885.06
Costo por tonelada perforada (Min + Des)	0.278 \$/TM	0.254 \$/TM
Costo por metro perforado	10.8 US\$/mp	9.9 US\$/mp
Costo de Perforación Broca Tricónica	0.278 US\$/t	
Costo de Perforación Martillo de Fondo	0.254 US\$/t	
Ahorro en Cambio	0.024 US\$/t	

Como resultado de gestión, en este cambio existe una reducción del costo de perforación en 0.024 US\$/t entre la perforación martillo en fondo y perforación tricónicas, lo que representa un ahorro diario en perforación de \$660.67 y al año, \$237,839.85.

- **Voladura**

A continuación, se muestra la comparación de los parámetros de Voladura para ambos tipos de diámetro de Broca.

Tabla 33. Parámetros de Voladura

PARÁMETROS DE VOLADURA		
DATOS GENERALES	CON DIÁMETRO 7 7/8"	CON DIÁMETRO 6 3/4"
Explosivo	HA-46	HA-46
Densidad del explosivo	1.1 g/cm ³	1.1 g/cm ³
Diámetro de perforación	7 7/8 pulg	6 3/4 pulg
Carga lineal del explosivo	34.52 Kg/m	25.40 Kg/m
Altura de carga	5.2 m	5.2 m
Carga / taladro	178.41 kg/Tal	131.24 kg/Tal
Ensanchamiento	3.0%	3.0%
Carga / taladro real	183.76 kg/Tal	135.18 kg/Tal
Tonelaje Teórico	401.11 Ton/tal	401.11 Ton/tal
Factor de potencia	0.46 kg/ton	0.34 kg/ton
Volumen teórico	191.00 m ³	191.00 m ³
Factor de carga	0.962 kg/m ³	0.708 kg/m ³

La variación del diámetro de perforación de 7 7/8" a 6 3/4", repercute en:

- La carga lineal de Explosivo (Kg/m) con una disminución de 9.12 kg/m.
- Disminución en la carga por taladro real en 48.58 Kg/tal
- Reducción del factor de Potencia en 0.12 kg/ton
- Reducción del Factor de Carga en 0.254 kg/m³

Como existe una disminución en la carga de explosivos en cada taladro, esto implica la reducción de costos de materiales que se muestra en el siguiente cuadro:

Tabla 34. Cálculo del costo por tonelada volada

COSTOS	CON DIÁMETRO 7 7/8"	CON DIÁMETRO 6 3/4"
Servicios	\$344.07	\$344.07
Mano de obra	\$329.13	\$329.13
Materiales	\$11,219.92	\$8,621.45
Gastos diversos	\$0.26	\$0.26

Costo total voladura por día	\$11,893.38	\$9,294.90
Costo por tonelada volada (Min + Des)	0.44 US\$/t	0.34 US\$/t

Como se puede observar, el costo por tonelada volada varía en 0.10 \$/TM entre la voladura con diámetro 7 7/8” y 6 3/4”, para una producción de 27,100 t de material/día lo que representa un ahorro diario de \$2,598.47 y al año, \$935,450.41.

• Carguío

Se presenta mediante cuadros los rendimientos de la Excavadora CAT 345 y del Cargador Frontal CAT 992C, usados para el carguío de mineral y desmonte respectivamente, que fueron obtenidos en los Periodos II y III.

❖ En el carguío de Mineral

Tabla 35. Rendimiento de Excavadora 345 en el Periodo II

RENDIMIENTO DE EXCAVADORA 345								
Meses	Tiempo de Carga (seg)	Tiempo Pasada + Carga (seg)	Tiempo Descarga (seg)	Tiempo Pasada+ Sin Carga (seg)	Demoras (seg)	Tiempo de Pase Total (seg)	Pases/Hr	Ton /hr
Mayo	4.85	8.30	2.84	2.79	1.707	20.49	175.72	571.47
Junio	5.68	8.48	2.96	2.60	1.793	21.51	167.34	544.22
Julio	5.75	8.14	2.62	2.82	1.757	21.09	170.72	555.21
RENDIMIENTO PROMEDIO PERIODO II								556.97

Tabla 36. Rendimiento de Excavadora 345 en el Periodo III

RENDIMIENTO DE EXCAVADORA 345								
Meses	Tiempo de Carga (seg)	Tiempo Pasada + Carga (seg)	Tiempo Descarga (seg)	Tiempo Pasada+ Sin Carga (seg)	Demoras (seg)	Tiempo de Pase Total (seg)	Pases/Hr	Ton /hr
Agosto	4.90	8.15	2.85	2.65	1.707	20.26	177.72	577.96

Septiembre	4.85	8.15	2.70	2.60	1.79	20.09	179.17	582.68
Octubre	4.95	8.10	2.65	2.70	1.75	20.33	177.08	575.89
Noviembre	4.98	8.10	2.70	2.75	1.75	20.42	176.30	573.35
Diciembre	5.10	8.00	2.65	2.70	1.70	20.00	180.00	585.39
RENDIMIENTO PROMEDIO PERIODO III								579.05

Se observa que existe un aumento en el rendimiento de carguío de mineral de 3.96 % en el Periodo III respecto al Periodo II, esto debido a que se realizó un cambio en la capacidad de cuchara de 2.2 m³ a 2.8 m³ y mayor involucramiento de los operadores de excavadoras mediante capacitaciones.

❖ En el carguío de Desmote

Tabla 37. Rendimiento de Cargador Frontal 992C en el Periodo II

RENDIMIENTO DE CARGADOR FRONTAL 992								
Meses	Tiempo de Carga (seg)	Tiempo Retr+ Carga (seg)	Tiempo Descarga (seg)	Tiempo Adelant+ Sin Carga (seg)	Demoras (seg)	Tiempo de Pase Total (seg)	Pases/Hr	Ton /hr
Mayo	9.10	9.00	6.02	9.24	3.34	36.70	98.09	1033.11
Junio	9.44	8.63	6.01	9.30	3.34	36.72	98.04	1032.55
Julio	9.47	9.32	6.04	9.21	3.40	37.44	96.15	1012.69
RENDIMIENTO. PROMEDIO PERIODO II								1026.11

Tabla 38. Rendimiento de Cargador Frontal 992 en el Periodo III

RENDIMIENTO DE CARGADOR FRONTAL 992								
Meses	Tiempo de Carga (seg)	Tiempo Pasada + Carga (seg)	Tiempo Descarga (seg)	Tiempo Pasada+ Sin Carga (seg)	Demoras (seg)	Tiempo de Pase Total (seg)	Pases/Hr	Ton /hr
Agosto	8.75	9.20	6.07	9.07	3.31	36.40	98.90	1041.62
Septiembre	8.70	9.15	6.03	8.86	3.20	35.94	100.17	1054.96
Octubre	8.60	9.60	6.00	8.70	3.25	36.15	99.59	1048.83
Noviembre	8.65	9.30	6.02	8.75	3.20	35.92	100.22	1055.54

Diciembre	8.55	9.55	6.00	8.60	3.32	36.02	99.94	1052.61
RENDIMIENTO. PROMEDIO PERIODO III								1050.71

De igual forma en el carguío de desmonte existe un aumento en el rendimiento de carguío de 2.4 % en el Periodo III respecto al Periodo II, esto debido a que aumentó la eficiencia de los operadores de los cargadores frontales.

• Transporte

Se presenta mediante cuadros los rendimientos que tuvo el volquete Volvo FMX 440 para el transporte de mineral y desmonte, que fueron obtenidos en los Periodos II y III.

❖ En el transporte de Mineral

Tabla 39. Rendimiento Horario del Volquete en Mineral en el Periodo II

RENDIMIENTO DE VOLVO FMX 440									
Meses	Tiempo de Cuadrado y Acomodo frente al carguío (min)	Tiempo de carguío (min)	Tiempo de Ida (min)	Tiempo de Cuadrado y Acomodo frente al Pad (min)	Tiempo de Descarga (min)	Tiempo de Retorno (min)	Tiempo de Ciclo (min)	Carga transportada por camión	Ton /hr
Mayo	0.50	2.50	5.76	0.80	0.50	4.80	14.86	33.76	136.32
Junio	0.55	2.60	5.80	0.83	0.55	4.85	15.18	33.76	133.44
Julio	0.52	2.65	5.70	0.82	0.60	4.90	15.19	33.76	133.36
RENDIMIENTO PROMEDIO PERIODO II									134.37

Tabla 40. Rendimiento Horario del Volquete en Mineral en el Periodo III

RENDIMIENTO DE VOLVO FMX 440									
Meses	Tiempo de Cuadrado y Acomodo frente al carguío (min)	Tiempo de carguío (min)	Tiempo de Ida (min)	Tiempo de Cuadrado y Acomodo frente al Pad (min)	Tiempo de Descarga (min)	Tiempo de Retorno (min)	Tiempo de Ciclo (min)	Carga transportada por camión	Ton /hr
Agosto	0.51	2.45	5.70	0.80	0.55	4.75	14.76	33.76	137.24

Septiembre	0.52	2.40	5.65	0.70	0.55	4.75	14.57	33.76	139.03
Octubre	0.50	2.42	5.75	0.72	0.51	4.65	14.55	33.76	139.22
Noviembre	0.48	2.45	5.68	0.83	0.49	4.70	14.63	33.76	138.46
Diciembre	0.45	2.40	5.70	0.80	0.45	4.65	14.45	33.76	140.19
RENDIMIENTO PROMEDIO PERIODO III									139.29

Para el Periodo III se obtuvo un aumento del rendimiento en el transporte de mineral de 3.53% con respecto al Periodo II, esto debido a un incremento en el factor de llenado, además se tuvo una mejor calidad de vías de transporte hacia el Pad mediante mantenimientos de vías y una mayor eficiencia por parte de los operadores de los volquetes y el control estricto de ciclos por (Ore Controller) vía radio.

❖ En el Transporte de Desmonte

Tabla 41. Rendimiento del Volquete en Desmonte en el Periodo II

RENDIMIENTO DE VOLVO FMX 440									
Meses	Tiempo de Cuadrado y Acomodo frente al carguío (min)	Tiempo de carguío (min)	Tiempo de Ida (min)	Tiempo de Cuadrado y Acomodo frente al Botadero(min)	Tiempo de Descarga (min)	Tiempo de Retorno (min)	Tiempo de Ciclo (min)	Carga transportada por camión	Ton /hr
Mayo	0.50	1.10	2.40	0.80	0.50	2.00	7.30	32.51	267.21
Junio	0.55	1.50	2.45	0.85	0.55	2.10	8.00	32.51	243.83
Julio	0.52	1.25	2.42	0.82	0.60	2.05	7.66	32.51	254.66
RENDIMIENTO PROMEDIO PERIODO II									255.23

Tabla 42. Rendimiento del Volquete en Desmontes en el Periodo III

RENDIMIENTO DE VOLVO FMX 440									
Meses	Tiempo de Cuadrado y Acomodo frente al carguío (min)	Tiempo de carguío (min)	Tiempo de Ida (min)	Tiempo de Cuadrado y Acomodo frente al Botadero(min)	Tiempo de Descarga (min)	Tiempo de Retorno (min)	Tiempo de Ciclo (min)	Carga transportada por camión	Ton /hr
Agosto	0.51	1.05	2.35	0.80	0.55	2.00	7.26	32.51	268.69
Septiembre	0.52	1.02	2.40	0.75	0.52	2.04	7.25	32.51	269.06

Octubre	0.50	1.00	2.45	0.75	0.55	2.02	7.27	32.51	268.32
Noviembre	0.48	1.10	2.35	0.82	0.48	2.00	7.23	32.51	269.80
Diciembre	0.45	1.00	2.37	0.80	0.45	2.05	7.12	32.51	273.97
RENDIMIENTO PROMEDIO PERIODO III									270.70

Asimismo, en el transporte de desmonte, se obtuvo un aumento en rendimiento de 5.71% en el Periodo III respecto al Periodo II, esto debido a un incremento en el factor de llenado, además se tuvo una mejor calidad de vías de transporte hacia el Botadero y una mayor eficiencia por parte del operador del volquete y el control estricto de ciclos por (Ore Controller) vía radio.

• Análisis de los costos por periodo

Con la implementación de KPI's en los procesos de perforación, voladura, carguío y transporte para el Periodo III se logró disminuir costos unitarios de cada proceso operativo.

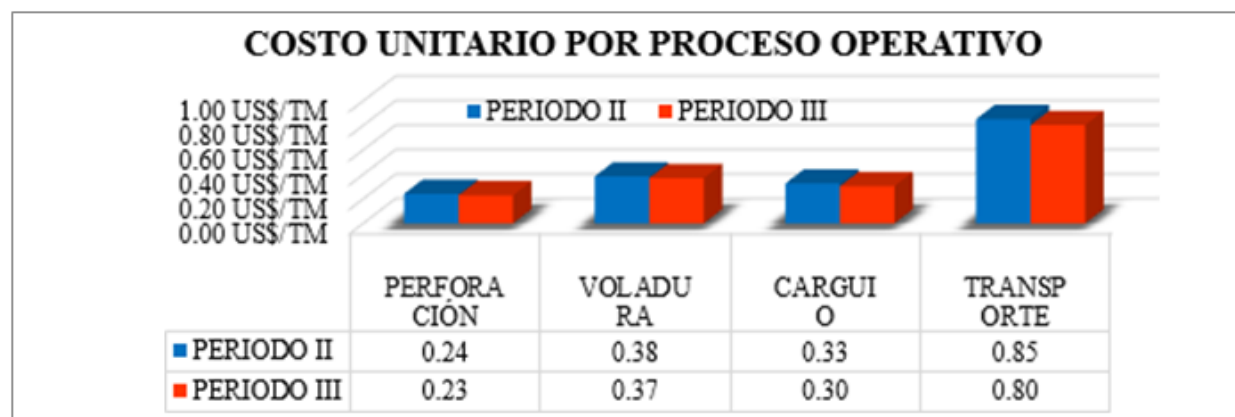


Figura 28. Resultado de Costos Unitarios del ciclo de Minado por periodos

En resumen, se tiene que, en el Periodo III respecto al Periodo II:

- El costo unitario de perforación disminuyó en 2%.
- El costo unitario de voladura disminuyó en 4%
- El costo unitario de carguío disminuyó en 7%

- El costo unitario de transporte disminuyó en 6%.

Con la mejora en los procesos operativos mina, se presupuestó una reducción en el costo mina de 1.75 US\$/t para el Periodo III, pero en el ejecutado se tuvo un valor de 1.70 US\$/t. Esta disminución en el costo unitario de mina representó una reducción del 6.1 % del costo mina respecto al Periodo II.

Tabla 43. Resultado de Costos Unitarios del ciclo de Minado por periodos

COSTO UNITARIO POR PERIODO			
COSTO	PERIODO II	PROPUESTO	PERIODO III
Perforación	0.24	0.24	0.23
Voladura	0.38	0.38	0.37
Carguío	0.33	0.31	0.30
Transporte Mineral	0.49	0.46	0.45
Transporte Desmonte	0.37	0.36	0.35
TOTAL (US\$/t)	1.81	1.75	1.70

Desde un punto de vista más amplio, en resumen, la reducción del costo mina en el Periodo III, disminuyó considerablemente a 8.56 US\$/t, lo que representa una disminución considerable del 16.73 % del costo total operativo.

Tabla 44. Comparación de Costos Operativos entre Periodo II y III

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	PERIODO II	PERIODO III
Mineral	t	831,806	1,674,729
Desmonte	t	2,926,657	3,609,637
Stripping Ratio	SR	3.52	2.15
Ley Au	g/t	0.39	0.43
Ley Ag	g/t	49.81	49.15
Total Oz Au	Oz	11,182	27,107
Costo Mina	US\$	6,209,911	8,762,245
	US\$/t	3.20	3.54
Costo Planta	US\$	1,579,699	4,244,675
	US\$/t	1.90	2.53
Costos Indirectos	US\$	659,835	1,015,306
	US\$/t	0.79	0.61
	US\$	98,024	313,512

Costo Exploraciones	US\$/t	0.12	0.19
Costo Total Operativo	US\$	8,547,469	14,335,738
	US\$/t	10.28	8.56

Así mismo, se muestra los costos operativos presupuestados y ejecutados durante los 3 periodos del año 2021, en los 2 primeros periodos se tienen costos ejecutados mayores que el presupuestado no obstante a la aplicación de KPI's en el periodo II, en el último periodo se logra optimizar los procesos con mayores beneficios económicos.

Tabla 45. Comparación Costos de Operación Presupuestado vs Ejecutado

PERIODO	COSTO PRESUPUESTADO	COSTO EJECUTADO
I	7.43	28.77
II	10.13	10.28
III	8.69	8.56

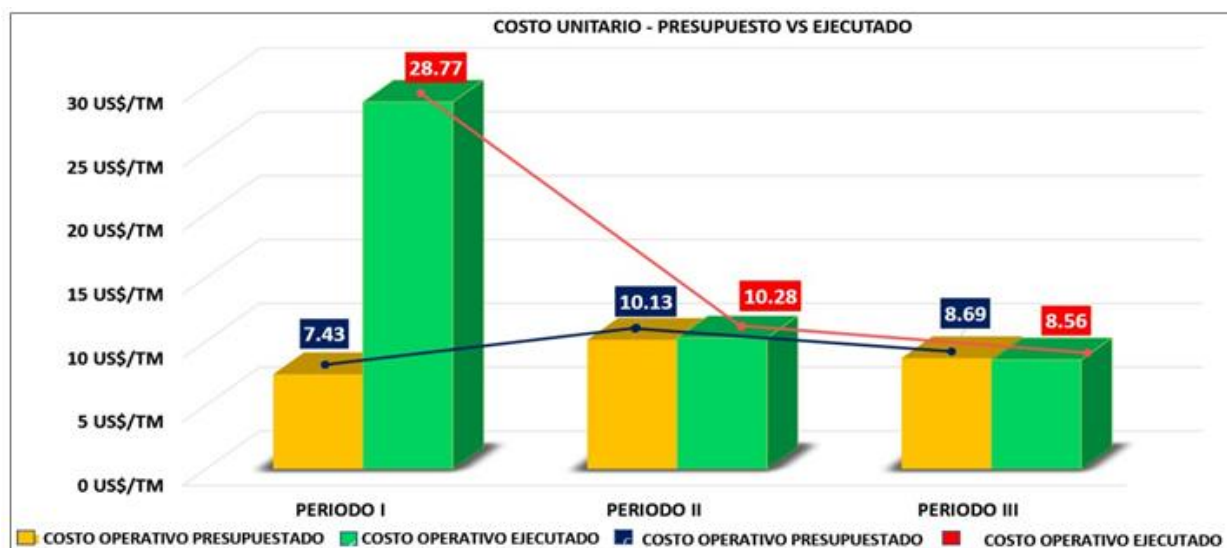


Figura 29. Representación gráfica de los costos de operación en los 3 Periodos

El Cash Flow Anual de los 3 periodos demuestra los siguientes resultados: el Periodo I tiene un Cash Flow negativo, debido a que se extrajo mayor desmonte y a partir de abril entra planta en operaciones, mientras que para los Periodos II y III, el Cash Flow es positivo, en vista

que se extrajo con normalidad las toneladas de mineral presupuestadas. En consecuencia, al final del año se obtiene una Cash Flow de US\$ 4,830,913.28.

Tabla 46. Cash Flow Anual de los 3 Periodos

	UNIDAD	PERIODO I	PERIODO II	PERIODO III	TOTAL
COSTO TOTAL	US\$	10,316,707.38	8,547,469	14,335,738	33,199,915
COSTO UNITARIO	US\$/t	28.77	10.28	8.56	11.59
	\$/Oz	3046.12	764.40	528.86	803.53
TOTAL EGRESOS	US\$	11,522,644.38	9,477,286.20	16,154,240.22	12,384,723.42
TOTAL INGRESOS	US\$	3,786,094.40	13,977,448.50	33,883,367.20	17,215,636.70
CASH FLOW ANUAL	US\$	- 7,736,549.98	4,500,162.30	17,729,127.21	4,830,913.28

• **Análisis de rentabilidad**

El siguiente cuadro es el análisis de rentabilidad de la Unidad Minera Apumayo que comprende los 4 años de operación. En el Anexo 9 se muestra detalladamente este cálculo. Se muestra los siguientes parámetros:

PARÁMETROS	AÑO 0	APUMAYO			HUAMÁN LOMA
		AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	
Ley Au (Oz/TM)		0.014 Oz/ton	0.014 Oz/ton	0.014 Oz/ton	0.014 Oz/ton
Precio Au (\$/onza)		1,550.0 \$/oz	1,550.0 \$/oz	1,550.0 \$/oz	1,550.0 \$/oz
Recuperación Total Au (%)		79%	79%	79%	80%
Pagable (%)		90%	90%	90%	90%
Ley Ag (Oz/TM)		1.93 Oz/ton	1.93 Oz/ton	1.93 Oz/ton	0.00 Oz/ton
Precio Ag (\$/onza)		20.0 \$/oz	20.0 \$/oz	20.0 \$/oz	0.0 \$/oz
Recuperación Total Ag (%)		28%	28%	28%	0%
Pagable (%)		85%	85%	85%	0%
Oz Anual de Au (Oz)		34,563	43,204	43,204	39,816
Oz Anual de Ag (Oz)		1,650,064	2,062,580	2,062,580	0
Valor Mineral (\$/TM)		24.048	24.048	24.048	15.429
Programa Producción (TM)		3,600,000	4,500,000	4,500,000	4,000,000
Onzas Equivalentes - Au		21,291 Oz	26,614 Oz	26,614 Oz	0 Oz
Total de Oz		55,855 Oz	69,818 Oz	69,818 Oz	39,816 Oz
Costos Operación (\$/TM)		8.92	8.92	8.92	8.92
Venta de Mineral(\$)		86,574,477	108,218,096	108,218,096	61,714,488
Costos de Operación (\$)		32,112,000	40,140,000	40,140,000	35,680,000
Depreciación (\$)		6,750,000	6,750,000	6,750,000	6,750,000
Gastos Administrativos y Ventas (\$)		1,731,490	2,164,362	2,164,362	1,234,290

FLUJO DE CAJA						
Préstamos	\$60,000,000					
Valor Residual (\$)						\$18,000,000
Aporte Propio	\$0					
Venta de Mineral(\$/año)		\$86,574,477	\$108,218,096	\$108,218,096		\$61,714,488
Total de Ingresos	\$60,000,000	\$86,574,477	\$108,218,096	\$108,218,096		\$79,714,488
Inversiones	\$60,000,000					
Costos de Operación		\$32,112,000	\$40,140,000	\$40,140,000		\$35,680,000
Gastos Administrativos y Ventas		\$1,731,490	\$2,164,362	\$2,164,362		\$1,234,290
Amortización Préstamo		\$15,000,000	\$15,000,000	\$15,000,000		\$15,000,000
Interés Préstamo		\$4,200,000	\$3,150,000	\$2,100,000		\$1,050,000
Impuestos		\$12,534,296	\$16,804,120	\$17,119,120		\$10,500,059
Participación de los Trabajadores(\$)		\$3,342,479	\$4,481,099	\$4,565,099		\$2,800,016
Total de Egresos	\$60,000,000	\$68,920,265	\$81,739,581	\$81,088,581		\$66,264,365
Saldo de Caja	\$0	\$17,654,212	\$26,478,515	\$27,129,515		\$13,450,123
Flujo de Caja	-\$60,000,000	\$17,654,212	\$26,478,515	\$27,129,515		\$13,450,123

RENTABILIDAD DEL PROYECTO

TASA DE DESCUENTO : 7.00%

VAN : \$12,033,424 > 0 , ES RENTABLE EL PROYECTO

TIR : 15.75% > TASA DE DESCUENTO, ES RENTABLE

Conclusiones

- ❖ El cambio de una perforación con tricono a una perforación con martillo de fondo, repercutió directamente en las variaciones de los KPI's mostrados en el presente trabajo, así mismo esto determinó que exista una reducción de costos de perforación en 0.39 \$/mp durante el Periodo III respecto al Periodo II, lo que representa una disminución del 4.2% en costos.
- ❖ Contar con menor cantidad de uso de explosivo en el Periodo III conllevó a que el costo unitario de voladura se reduzca en \$/ 0.03 por cada tonelada rota respecto al Periodo II en la Unidad Minera Apumayo.
- ❖ El incremento de rendimiento de los equipos de carguío influyó en el costo unitario de dicho proceso, teniendo que, para carguío de mineral se ha utilizado la Excavadora CAT 345 logrando una disminución del costo en 48% y para el carguío de desmonte se utilizó el Cargador Frontal 992C con una reducción de costo en 9.38%.
- ❖ Disminución del costo unitario de transporte (Según la Tabla 39) en 12.9% para el mineral y 12.5 % para el desmonte debido a un programa efectivo de mantenimiento de vías y el control estricto de ciclos por (Ore Controller) vía radio.
- ❖ En general, se concluye la aceptación de la hipótesis y que el manejo de indicadores KPI's de la mina Apumayo logró reducir el costo total de 10.28 \$/t a 8.56 \$/t en el Periodo III, equivale a una reducción del 17%.

- ❖ Se concluye que los indicadores KPI's permiten controlar mejor el desempeño de los equipos en los procesos del ciclo de minado para reducir los costos operativos que torne rentable al proyecto.

Recomendaciones

- ❖ Se recomienda mantener un mayor control y monitoreo de todos los indicadores claves de desempeño KPI's en los procesos de operación mina dentro de la unidad operativa.
- ❖ Continuar con mayor capacitación y sensibilización a todos los operadores de equipos, personal de piso, supervisores y todo personal involucrado en los procesos.
- ❖ Continuar con el mantenimiento de vías usando el cloruro de sodio mientras se implemente aditivos químicos que compacten mejor las vías con poca utilización de agua, debido a que este recurso es apremiante en el desarrollo del proyecto.
- ❖ Para mejorar el rendimiento de equipos de carguío se debe gestionar la adquisición de una excavadora con mayor capacidad que la actual CAT 345 por la CAT 365 que tiene una capacidad de 4.0 m³, de tal manera permita la disminución del ciclo de carguío.
- ❖ Mantener en la operación de perforación, carguío y transporte equipos por sistema de tercerización cuyo costo se pagará horas - máquina, este sistema evita los mantenimientos, reparación y servicios logísticos para su funcionamiento.

Bibliografía

- Atlas Copco. (2019). *Manual de Perforación DM-45*. Libro físico. Edic. 1ª primera. Garland, Texas, Nro. 75040, USA.
- Bastian R. (2013). *“Metodología de valorización con opciones reales de secuenciamiento minero bajo incertidumbre”*. Para optar el grado de Magíster. Universidad de Chile.
- Edwin Tiellasuca. (2019). *“Planeamiento de minado a corto plazo para optimizarla producción en la Unidad Minera Pallancata de Hochschild Mining S.A.”* Tesis de grado. Lima, Perú.
- Diaz, G. (2021). *Evaluación de calderas volcánicas y su aplicación a la exploración de yacimientos mineros y energéticos en el sur del Perú*. Tesis de maestría, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, UNMSM, Lima.
- Fernando Gala S. (2015). *“Formulación y Evaluación de Proyectos Mineros”*. Edic. 1ª. Lima, Perú.
- Farmer, I. W. (2016). *Stochastic Mining Supply Chain Optimization : A Study of Integrated Capacity Decisions and Pushback Design Under Uncertainty*, Montreal, Canadá.
- Gerens (2012). *Esquema General de la cadena de valor*. Edic I. Recuperado 20 enero de: http://repositorio.gerens.edu.pe/bitstream/Gerens/33/1/GallegosA_XXVIICM.pdf
- Goodfellow, R. (2014). *Unified Modelling and Simultaneous Optimization of Open Pit Mining Complexes with Supply Uncertainty*, Montreal, Quebec.
- Hustrulid, W., Kuchta, M., and Martin, R. (2013). *Open pit mine Planning & Design, 3rd edition-fundamentals*. London, UK: CRC Press.
- Jafet Coronel J. (2019) *“Análisis y estructura de costos basado en actividades en operaciones mineras superficiales”*. Tesis de grado. Puno, Perú.

- L. Blom, M., N. Burt, C., Lipovetzky, N., R. Pearce, A. and J. Stuckey, P. (2015). *Scheduling Tools for Open-Pit Mining. Association for the Advancement of Artificial Intelligence*. Recuperado el 15 de marzo del 2022 de: www.aaai.org
- Luis Salas H. (2013). *“Estudio de KPIs en los equipos de perforación, carguío y acarreo para el incremento de la producción de 3000 a 3600 tm/día en la mina Pallancata - Hochschild Mining”*. Tesis de grado. Arequipa, Perú.
- McKee D. J. (2013). *“Tipología del Planeamiento estratégico en Mina”*. Edic.II. USA.
- Morales, N. y Rubio, E (2010). *Robust open-pit planning under geological uncertainty. Santiago de Chile : MININ Chile*.
- MVARGAS, M (2011). *Modelo de planificación de corto y mediano plazo incorporando restricciones operacionales y de mezcla*. Santiago: Universidad de Chile.
- Renzo Valencia. (2019). *“Planeamiento de minado a corto plazo del mes de abril de 2013 en la unidad minera Arasi S.A.C. Proyecto Jesica, ubicado en el distrito de Ocuvi, provincia de Lampa en el departamento de puno”*. Tesis de grado. Puno, Perú.
- Victor Gobitz (2007). *“Planeamiento de Minado en Minería Superficial”*. Tesis de grado. PUCP. Lima, Perú.
- W. Hustrulid, M. Kuchta and R. Martin (2013), *Open Pit Mine Planning & Design*. Australia

Anexo 1: Impactos identificados en la etapa de operación

Factor Ambiental	Impactos Identificados	Actividad Relacionada
Calidad de Aire	Incremento de material particulado	-Perforación y voladura -Carguío, Acarreo y Descarga
	Incremento de Gases de combustión	-Perforación y voladura -Carguío, Acarreo y Descarga -Lixiviación -Recuperación de la Solución -Fundición -Destrucción del Cianuro
Niveles de Ruido y vibraciones	Incremento de niveles de ruido	-Perforación y voladura -Carguío, Acarreo y Descarga -Lixiviación -Recuperación de la Solución -Destrucción del Cianuro
	Vibraciones	-Perforación y voladura
Calidad de Suelos	Pérdida de suelos	-Perforación y voladura
	Riesgo de Contaminación por derrame de hidrocarburos	-Carguío, Acarreo y Descarga
	Riesgo de contaminación por residuos	-Carguío, Acarreo y Descarga
Calidad de las aguas	Riesgo de alteración de la calidad de las aguas superficiales	-Perforación y voladura -Destrucción del Cianuro
	Riesgo de alteración de la calidad de las aguas subterráneas	-Lixiviación -Recuperación de la Solución -Destrucción del Cianuro
Paisaje	Alteración del paisaje visual	-Perforación y voladura
Fauna y vegetación	Pérdida de vegetación	-Perforación y voladura -Carguío, Acarreo y Descarga
	Migración temporal de fauna	-Perforación y voladura
Actividades Económicas y sociales	Empleo e ingresos locales	-Perforación y voladura -Carguío, Acarreo y Descarga -Lixiviación -Recuperación de la Solución -Fundición -Destrucción del Cianuro
	Riesgo de afectación de salud de trabajadores	-Perforación y voladura -Carguío, Acarreo y Descarga
		-Lixiviación -Recuperación de la Solución -Fundición -Destrucción del Cianuro
	Divergencia con la población local	-Perforación y voladura -Carguío, Acarreo y Descarga -Lixiviación -Recuperación de la Solución -Fundición -Destrucción del Cianuro
	Generación de ingresos locales / centrales	-Perforación y voladura -Carguío, Acarreo y Descarga -Lixiviación -Recuperación de la Solución -Fundición -Destrucción del Cianuro
	Restricción de uso de vías de acceso	-Perforación y voladura -Carguío, Acarreo y Descarga

Anexo 2: Excavadora 345

Excavadora 345	
Operador	Juvenal Chalco
Densidad Insitu	2.1 t/m ³
Esponjamiento	30%
Densidad Aparente	1.62 t/m ³
Capacidad de Cuchara	2.8 m ³
Factor de Llenado	98%
Humedad	6.8%
Carga por pasada	4.4 t
Tiempo por pase	21.1 seg
Disponibilidad Mecánica	90.3%
Utilización	80.0%




CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO

- POTENCIA : 345 hp
- PESO : 44970 Kg
- PROMEDIO DE CONSUMO DE COMBUSTIBLE : 8.5 gln /h.m

RENDIMIENTO MINERAL	546.58 ton/hr
----------------------------	----------------------

Anexo 3: Cargador CAT 992C para mineral

Cargador CAT 992 C	
Operador	Victor Vargas
Densidad Insitu	2.1 t/m ³
Esponjamiento	30%
Densidad Aparente	1.62 t/m ³
Capacidad de Cuchara	10.5 m ³
Factor de Llenado	95%
Humedad	6.8%
Carga por pasada	16.1 t
Tiempo por pase	37.03 seg
Disponibilidad Mecánica	89.5%
Utilización	83.1%




CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO

- POTENCIA : 690 hp
- PESO : 88425 Kg
- PROMEDIO DE CONSUMO DE COMBUSTIBLE : 16 gln /h.m

RENDIMIENTO MINERAL	1165.67 ton/hr
----------------------------	-----------------------

Anexo 4: Cargador CAT 992C para desmonte

Cargador CAT 992 C	
Operador	Victor Vargas
Densidad Insitu	2.1 t/m ³
Esponjamiento	35%
Densidad Aparente	1.56 t/m ³
Capacidad de Cuchara	10.5 m ³
Factor de Llenado	95%
Humedad	6.8%
Carga por pasada	15.5 t
Tiempo por pase	37.03 seg
Disponibilidad Mecánica	90%
Utilización	83.1%



CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO

- POTENCIA : 690 hp
- PESO : 88425 Kg
- PROMEDIO DE CONSUMO DE COMBUSTIBLE : 16 gln /h.m

RENDIMIENTO DESMONTE	1122.50 ton/hr
-----------------------------	-----------------------

Anexo 8: Volquete Volvo FMX 440

VOLQUETE VOLVO FMX 440										
	CARACTERÍSTICAS									
	<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="text-align: center;">Promedio de Ratio de Combustible a 40000 m.s.n.m</td> <td style="text-align: center;">4.92 gln/h.m</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Potencia de Motor</td> <td style="text-align: center;">440 hp</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Radio de Giro</td> <td style="text-align: center;">10 m</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Capacidad de Tolva</td> <td style="text-align: center;">22 Tn</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Peso Neto</td> <td style="text-align: center;">16150 kg</td> </tr> </table>	Promedio de Ratio de Combustible a 40000 m.s.n.m	4.92 gln/h.m	Potencia de Motor	440 hp	Radio de Giro	10 m	Capacidad de Tolva	22 Tn	Peso Neto
Promedio de Ratio de Combustible a 40000 m.s.n.m	4.92 gln/h.m									
Potencia de Motor	440 hp									
Radio de Giro	10 m									
Capacidad de Tolva	22 Tn									
Peso Neto	16150 kg									



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

ACTA N° 019-2023-FIMGC

En la ciudad de Ayacucho, en cumplimiento a la **RESOLUCIÓN DECANAL N° 096-2023-FIMGC-D**, siendo los veinte días del mes de febrero del 2023, a horas 10:00 am.; se reunieron los jurados del acto de sustentación, en el Auditorium virtual google meet del Campus Universitario de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga.

Siendo el Jurado de la sustentación de tesis compuesto por el presidente el **Dr. Ing. Efraín Elías PORRAS FLORES**, Jurado el **Dr. Ing. Johnny Henry CCATAMAYO BARRIOS**, Jurado el **MSc. Ing. Jaime PALOMINO CLAUDIO**, Jurado - Asesor el **Dr. Ing. Víctor Félix FLORES MORENO** y secretario del proceso el **Mg. Ing. Christian LEZAMA CUELLAR**, con el objetivo de recepcionar la sustentación de la tesis denominada **titulado: “APLICACIÓN DE INDICADORES KPI S PARA REDUCIR LOS COSTOS DEL CICLO OPERATIVO DE EXPLOTACION, UNIDAD MINERA APUMAYO 2022”**, presentado por el/la Sr./Srta., **JOEL NUÑEZ VARGAS**, Bachiller en Ciencias de la Ingeniería Minas.

El Jurado luego de haber recepcionado la sustentación de la tesis y realizado las preguntas, el sustentante al haber dado respuesta a las preguntas, y el Jurado haber deliberado; califica con la nota aprobatoria de **16 (dieciséis)**.

En fe de lo cual, se firma la presente acta, por los miembros integrantes del proceso de sustentación.


UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS, GEOLOGÍA Y CIVIL
Dr. Efraín Elías Porras Flores
DECANO

Firmado digitalmente por Efraín Elías Porras Flores
Fecha: 2023.02.21 13:08:23 -05'00'

Dr. Ing. Efraín Elías PORRAS FLORES
Presidente


UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS, GEOLOGÍA Y CIVIL
Dr. Johnny Henry Ccatamayo Barrios
DIRECTOR

Firmado digitalmente por Dr. Johnny Henry Ccatamayo Barrios
Fecha: 2023.02.20 11:34:05 -05'00'

Dr. Ing. Johnny Henry CCATAMAYO BARRIOS
Jurado


UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA
Escuela Profesional de Ingeniería de Minas
Dr. Ing. Víctor F. Flores Moreno

Dr. Ing. Víctor Félix FLORES MORENO
Jurado Asesor



Firmado digitalmente por Jaime Palomino Claudio
Fecha: 2023.02.20 11:06:05 -05'00'

MSc. Ing. Jaime PALOMINO CLAUDIO
Jurado



Firmado digitalmente por LEZAMA CUELLAR CHRISTIAN

Mg. Ing. Christian LEZAMA CUELLAR
Secretario del Proceso

C.c.:
Bach. JOEL NUÑEZ VARGAS
Jurados (4)
Archivo

**CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN****CONSTANCIA N° 017-2023-FIMGC**

El que suscribe; responsable verificador de originalidad de trabajos de tesis de pregrado con el software Turnitin, en segunda instancia para las **Escuelas Profesionales** de la **Facultad de Ingeniería de Minas, Geología y Civil**; en cumplimiento a la **Resolución de Consejo Universitario N° 039-2021-UNSCH-CU**, Reglamento de Originalidad de Trabajos de Investigación de la Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga y **Resolución Decanal N° 281-2022-FIMGC- UNSCH-D**, deja constancia de originalidad de trabajo de investigación, que el/la Sr./Srta.

Apellidos y Nombres : NUÑEZ VARGAS Joel
Escuela Profesional : INGENIERÍA DE MINAS
Título de la Tesis : "APLICACIÓN DE INDICADORES KPI'S PARA REDUCIR LOS COSTOS DEL CICLO OPERATIVO DE EXPLOTACION, UNIDAD MINERA APUMAYO 2022"
Evaluación de la Originalidad : 13 % Índice de Similitud
Identificador de la entrega : 2010889976

Por tanto, según los Artículos 12, 13 y 17 del Reglamento de Originalidad de Trabajos de Investigación, es **PROCEDENTE** otorgar la **Constancia de Originalidad** para los fines que crea conveniente.

En señal de conformidad y verificación se firma la presente constancia

Ayacucho, 10 de febrero del 2023



UNIVERSIDAD NACIONAL DE
SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA
Facultad de Ingeniería de Minas, Geología y Civil

Mg. Ing. Christian LEZAMA CUELLAR

Verificador de Originalidad de Trabajos de Tesis de Pregrado
Departamento Académicos de Matemática y Física

“APLICACIÓN DE INDICADORES KPI'S PARA REDUCIR LOS COSTOS DEL CICLO OPERATIVO DE EXPLOTACION, UNIDAD MINERA APUMAYO 2022”.

por Joel Nuñez Vargas

Fecha de entrega: 10-feb-2023 09:21a.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2010889976

Nombre del archivo: TACION,_UNIDAD_MINERA_APUMAYO_2022_NU_EZ_VARGAS_JOEL_1_1_1.docx (9.44M)

Total de palabras: 13496

Total de caracteres: 70564

“APLICACIÓN DE INDICADORES KPÍ S PARA REDUCIR LOS COSTOS DEL CICLO OPERATIVO DE EXPLOTACION, UNIDAD MINERA APUMAYO 2022”.

INFORME DE ORIGINALIDAD



FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga	10%
Trabajo del estudiante		
2	repositorio.unsa.edu.pe	1%
Fuente de Internet		
3	repositorio.unap.edu.pe	1%
Fuente de Internet		
4	repositorio.unfv.edu.pe	1%
Fuente de Internet		

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 30 words

Excluir bibliografía

Activo