



**UNIVERSIDAD NACIONAL**  
**"SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO"**



**FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS, GEOLOGIA Y METALURGIA**

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS**

**TESIS**

IMPLEMENTACION DE INDICADORES DE GESTION PARA MEJORAR LA  
EFICIENCIA EN EL USO DE LOS EQUIPOS DE PRODUCCION Y REDUCIR LOS  
COSTOS OPERATIVOS EN LA COMPAÑÍA MINERA SUMMA GOLD

CORPORATION S.A.C – 2020

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO DE MINAS

Presentado por:

Bach.: REYES AVENDAÑO, Patricia Marleny

Asesor:

M.Sc. RUIZ CASTRO, Arnaldo Alejandro

HUARAZ – PERÚ

2022



UNIVERSIDAD NACIONAL  
"SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO"

"Una Nueva Universidad para el Desarrollo"

FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS,  
GEOLOGÍA Y METALURGIA



**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PRESENCIAL**

En la ciudad de Huaraz, siendo las diez horas con diez minutos de la mañana (10:10 a.m.) del día veinticinco de Julio del Dos mil Veintitres (25/07/23), se reunieron los miembros del jurado Evaluador nominados según Resolución Nro. 115-2023-FIMGM/D, de fecha 06 de Junio del 2023, integrado por los siguientes Docentes: **Dr. FLAVIO AUGUSTO RAMOS AQUIÑO, como Presidente; Dr. JUAN ROGER QUIÑONES POMA, como Secretario y el Ing. ANTONIO MARIANO DOMINGUEZ FLORES, como Vocal;** para la sustentación de la tesis Titulado: **"IMPLEMENTACIÓN DE INDICADORES DE GESTIÓN PARA MEJORAR LA EFICIENCIA EN EL USO DE LOS EQUIPOS DE PRODUCCIÓN Y REDUCIR LOS COSTOS OPERATIVOS EN LA COMPAÑÍA MINERA SUMMA GOLD CORPORATION S.A.C. - 2020"**, presentado por la **Bachiller PATRICIA MARLENY REYES AVENDAÑO**, para optar el Título Profesional de Ingeniero de Minas, en concordancia con el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional "Santiago Antúnez de Mayolo", se procedió con el acto de sustentación bajo las siguientes consideraciones, el Presidente del Jurado calificador, invitó a los docentes, alumnos y público en general a participar en este acto; luego invitó al Secretario del Jurado calificador a dar lectura de la Resolución N° 115-2023-FIMGM/D de fecha 06 de Junio del 2023. Acto seguido se invitó al sustentante a la defensa de su tesis por un lapso de veinte minutos (20), concluida con la misma, se procedió con el rol de preguntas de parte de los miembros del Jurado Calificador, finalmente se invitó al público en general a hacer abandono del Auditorium de la FIMGM por un lapso de diez (10) minutos con el propósito de deliberar la nota del sustentante, **ACORDANDO: APROBAR CON EL CALIFICATIVO (\*)de: DIECISEIS (16).** Siendo las diez horas y diez (11:10 a.m.) del mismo día, se dio por concluida el acto de sustentación.

En consecuencia, queda en condición de ser calificado **APTO** por el Consejo de Facultad de Ingeniería de Minas, Geología y Metalurgia y por el Consejo Universitario de la Universidad Nacional "Santiago Antúnez de Mayolo" y recibir el Título de **INGENIERO DE MINAS** de conformidad con la Ley Universitaria y el Estatuto de la UNASAM.

  
Dr. FLAVIO AUGUSTO RAMOS AQUIÑO  
Presidente

  
Dr. JUAN ROGER QUIÑONES POMA  
Secretario

  
Ing. ANTONIO MARIANO DOMINGUEZ FLORES  
Vocal

  
M.Sc. Ing. ARNALDO ALEJANDRO RUIZ CASTRO  
Asesor

(\*) De acuerdo con el Artículo 84º Reglamento de Grados y Títulos de la UNASAM, están deben ser calificadas con términos de: **APROBADO CON EXCELENCIA (19-20)**, **APROBADO CON DISTINCIÓN (17-18)**, **APROBADO (14-16)**, **DESAPROBADO (00-13)**.

Nota: La sustentante debe levantar las observaciones realizadas por el Jurado Evaluador



**UNIVERSIDAD NACIONAL**  
**"SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO"**

*"Una Nueva Universidad para el Desarrollo"*

**FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS,  
GEOLOGIA Y METALURGIA**




**ACTA DE CONFORMIDAD DE TESIS**

Los Miembros del Jurado, luego de evaluar la tesis titulada: **"IMPLEMENTACIÓN DE INDICADORES DE GESTIÓN PARA MEJORAR LA EFICIENCIA EN EL USO DE LOS EQUIPOS DE PRODUCCIÓN Y REDUCIR LOS COSTOS OPERATIVOS EN LA COMPAÑÍA MINERA SUMMA GOLD CORPORATION S.A.C. - 2020"**, presentado por la Bachiller **PATRICIA MARLENY REYES AVENDAÑO**, y sustentada el día 25 de Julio del 2023, por Resolución Decanatural N° 115-2023-FIMGM/D, la declaramos **CONFORME**.

En consecuencia queda en condiciones de ser publicada.

Huaraz, 25 de Julio del 2023

  
-----  
**Dr. FLAVIO AUGUSTO RAMOS AQUIÑO**  
Presidente

  
-----  
**Dr. JUAN ROGER QUIÑONES POMA**  
Secretario

  
-----  
**Ing. ANTONIO MARIANO DOMÍNGUEZ FLORES**  
Vocal

  
-----  
**M.Sc. Ing. ARNALDO ALEJANDRO RUIZ CASTRO**  
Asesor

Anexo de la R.C.U N° 126 -2022 -UNASAM  
**ANEXO 1**  
**INFORME DE SIMILITUD.**

El que suscribe (asesor) del trabajo de investigación titulado:

Presentado por: \_\_\_\_\_

con DNI N°: \_\_\_\_\_

para optar el Título Profesional de: \_\_\_\_\_

Informo que el documento del trabajo anteriormente indicado ha sido sometido a revisión, mediante la plataforma de evaluación de similitud, conforme al Artículo 11 ° del presente reglamento y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de : ..... de similitud.

**Evaluación y acciones del reporte de similitud de los trabajos de los estudiantes/ tesis de pre grado (Art. 11, inc. 1).**

Porcentaje		Evaluación y acciones	Seleccione donde corresponda <input checked="" type="radio"/>
Trabajos de estudiantes	Tesis de pregrado		
Del 1 al 30%	Del 1 al 25%	Esta dentro del rango aceptable de similitud y podrá pasar al siguiente paso según sea el caso.	
Del 31 al 50%	Del 26 al 50%	Se debe devolver al estudiante o egresado para las correcciones con las sugerencias que amerita y que se presente nuevamente el trabajo.	
Mayores a 51%	Mayores a 51%	El docente o asesor que es el responsable de la revisión del documento emite un informe y el autor recibe una observación en un primer momento y si persistiese el trabajo es invalidado.	

Por tanto, en mi condición de Asesor/ Jefe de Grados y Títulos de la EPG UNASAM/ Director o Editor responsable, firmo el presente informe en señal de conformidad y adjunto la primera hoja del reporte del software anti-plagio.

Huaraz,



FIRMA

Apellidos y Nombres: \_\_\_\_\_

DNI N°: \_\_\_\_\_

Se adjunta:

1. Reporte completo Generado por la plataforma de evaluación de similitud

## DEDICATORIA

A mi familia

A mis padres por su esfuerzo constante y por ser un ejemplo de coraje y constancia.



## AGRADECIMIENTO

Agradezco a mi alma mater a la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, a la Facultad de Ingeniería de Minas, Geología y Metalurgia, en especial a la Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas, a mis maestros, de manera particular a mi asesor por su valiosa guía y asesoramiento en la realización de la presente tesis.

A mis padres por ser mi ejemplo y por acompañarme durante mi formación universitaria, a mis hermanos por ser mi motivación y empuje para el cumplimiento de mis metas y la realización de la presente tesis.

Agradezco a la empresa Summa Gold Corporation S.A.C por la oportunidad y la experiencia adquirida en el área de Operaciones Mina y Mejora Continua, que permitieron tener una visión amplia sobre este proceso a la vez que desarrollaba los primeros bosquejos para la realización del presente trabajo de investigación.



## RESUMEN

Las empresas mineras buscan generar valor en cada uno de sus procesos existentes, para ello fomentan la formación de equipos de trabajo dedicados al estudio de cada subproceso, que llevará a la identificación de oportunidades de mejora; estos permitirán incrementar la eficiencia y/o productividad y reducir los costos de la operación.

La presente tesis desarrollado en la Compañía Minera Summa Gold Corporation S.A.C, surge como respuesta a la pregunta ¿Cómo mejorar la eficiencia en el uso de los equipos de producción y reducir los costos operativos? Ya que se presentaban deficiencias en el cumplimiento de la producción planificada, ante ello se establecen planes de acción y se decide implementar indicadores de gestión que permitan controlar los parámetros principales en el área de operaciones mina.

La investigación se justifica porque la implementación de indicadores de gestión en la Compañía Minera Summa Gold Corporation S.A.C, es fundamental para monitorear los parámetros críticos en la operación, ayudando a mejorar la eficiencia en el uso de los equipos de producción, cumpliendo la producción planificada y reduciendo los costos operativos.

Se concluye que la implementación de indicadores de gestión contribuye en gran medida a la mejora de resultados en las actividades de acarreo y carguío.

**Palabras clave:** Indicador de gestión, productividad de equipos, costos.

## ABSTRACT

Mining companies seek to generate value in each of their existing processes, for this they promote the formation of work teams dedicated to the study of each sub-process, which will lead to the identification of opportunities for improvement; these will allow to increase the efficiency and/or productivity and reduce the costs of the operation.

This thesis developed in the Compañía Minera Summa Gold Corporation S.A.C, arises in response to the question: How to improve the efficiency in the use of production equipment and reduce operating costs? Since there are deficiencies in the fulfillment of the planned production, before this, action plan operations are established, and it is decided to implement management indicators that can control the main parameters in the mine area.

The investigation is justified because the implementation of management indicators in the Mining Company Summa Gold Corporation S.A.C, is fundamental to monitor the critical parameters in the operation, helping to improve the efficiency in the use of production equipment, fulfilling the planned production and reducing operating costs.

It is concluded that the implementation of management indicators contributes to a great extent to the improvement of results in hauling and loading activities.

Keywords: Management indicator, team productivity, costs.



## INTRODUCCION

La industria minera, una de las actividades económicas de mayor importancia en nuestro país, ha sentido el efecto de la crisis económica y del encarecimiento de los insumos básicos. Ante un panorama que presenta un permanente ascenso de los costos de producción, es necesario buscar oportunidades de mejora enfocados en la incrementar la productividad y eficiencia y como consecuencia la reducción de costos; permitirá a la empresa minera mantenerse rentable y competitiva en el mercado.

Con los indicadores de gestión en la compañía minera Summa Gold Corporation S.A.C se busca reducir los costos operativos como toda empresa minera, sin descuidar los estándares operativos y siempre priorizando la seguridad.

La presente tesis denominado “IMPLEMENTACION DE INDICADORES DE GESTION PARA MEJORAR LA EFICIENCIA EN EL USO DE LOS EQUIPOS DE PRODUCCION Y REDUCIR LOS COSTOS OPERATIVOS EN LA COMPAÑÍA MINERA SUMMA GOLD CORPORATION S.A.C – 2020”, se desarrollan los siguientes capítulos, organizados como siguen:

Capítulo I: Generalidades, aquí se tratan temas referentes al entorno físico del proyecto, como la ubicación y acceso, topografía, el clima y recursos naturales, así también del entorno geológico como la geología regional, geología local, geología estructural y geología económica.

El capítulo II: Fundamentación, describe el marco teórico, los antecedentes de la investigación, definición de términos y la fundamentación teórica.

El capítulo III: Metodología, trata sobre el problema, donde se describe la realidad problemática, planteamiento y formulación del problema, objetivos de la investigación, justificación, limitaciones y alcances de la investigación; por otra parte, también trata sobre la hipótesis de investigación, las variables, operacionalización de variables y diseño de la investigación.

El capítulo IV: Resultados de la investigación, determinación e implementación de indicadores de gestión, la contrastación de las hipótesis y la discusión de resultados.

Finalmente se presentan las conclusiones, las recomendaciones, las referencias bibliográficas y los anexos.



## INDICE

DEDICATORIA .....	ii
AGRADECIMIENTO .....	iii
RESUMEN .....	iv
ABSTRACT .....	v
INTRODUCCIÓN .....	vi

## CAPITULO I

<b>GENERALIDADES .....</b>	<b>1</b>
Entorno físico.....	1
1.1.1. Ubicación y Acceso.....	1
1.1.2. Topografía.....	4
1.1.3. Hidrología.....	5
1.1.4. Geomorfología.....	5
1.1.5. Clima y Recursos Naturales.....	5
Entorno geológico.....	5
1.1.6. Geología Regional.....	5
1.1.7. Geología Local .....	8
1.1.7.1. Estratigrafía en el Contexto Local .....	8
1.1.8. Geología Estructural .....	8
1.1.9. Geología Económica .....	10



## CAPÍTULO II

<b>FUNDAMENTACIÓN .....</b>	<b>11</b>
<b>MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>11</b>
2.1.1. Antecedentes de la Investigación .....	11
2.1.2. Definición de Términos .....	16
2.1.3. Fundamentación Teórica .....	19
2.1.3.1. Indicadores Clave de Desempeño .....	20
2.1.3.2. Ámbitos de desempeño de un indicador .....	20
2.1.3.3. Tipos de indicadores .....	22
2.1.3.4. Metodología para diseñar indicadores .....	23
2.1.3.5. Equipos mineros .....	27
2.1.3.6. Eficiencia de los equipos .....	29
2.1.3.7. Índices de operación minera .....	30
2.1.3.8. Conceptos económicos .....	31

## CAPÍTULO III

<b>3. METODOLOGÍA .....</b>	<b>33</b>
<b>EL PROBLEMA .....</b>	<b>33</b>
3.1.1. Descripción de la Realidad Problemática .....	34
3.1.2. Planteamiento y formulación del Problema .....	34
3.1.2.1. Problema General .....	34
3.1.2.2. Problemas Específicos .....	34
3.1.3. Objetivos .....	35
3.1.3.1. Objetivo General .....	35

3.1.3.2. Objetivos Específicos .....	35
3.1.4. Justificación de la Investigación .....	35
3.1.5. Limitaciones .....	36
3.1.6. Alcances de la Investigación .....	36
HIPÓTESIS .....	37
3.1.7. Hipótesis General .....	37
3.1.8. Hipótesis Específicas .....	37
VARIABLES .....	37
3.1.9. Variable Independiente .....	37
3.1.10. Variable Dependiente .....	37
3.1.11. Operacionalización de Variables .....	38
DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN .....	39
3.1.12. Tipo de investigación .....	39
3.1.13. Nivel de Investigación .....	39
3.1.14. Diseño de Investigación .....	39
3.1.15. Población y Muestra .....	40
3.1.15.1. Población .....	40
3.1.15.2. Muestra .....	41
3.1.16. Técnicas, Instrumentos de Recolección de Datos .....	41
3.1.16.1. Revisión Bibliográfica .....	42
3.1.16.2. Observación Directa .....	42
3.1.17. Forma de Tratamiento de los Datos .....	42
3.1.18. Instrumentos de recolección de datos .....	42

## CAPÍTULO IV

<b>RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>43</b>
Descripción de la realidad .....	43
Determinación e implementación de Indicadores de Gestión .....	45
4.1.1. Evaluación de indicadores de producción .....	46
4.1.2. Evaluación de indicadores de mantenibilidad .....	51
4.1.2.1. Disponibilidad .....	52
4.1.2.2. Utilización .....	56
4.1.2.3. Tiempo Medio entre Fallas (MTBF) .....	60
4.1.2.4. Tiempo Medio entre Reparación (MTTR) .....	62
4.1.3. Performance de Equipos .....	64
4.1.3.1. Rendimiento de carguío .....	64
4.1.3.2. Velocidad de acarreo .....	69
4.1.3.3. Dimensionamiento de Flotas .....	71
4.1.3.4. Factor de Acoplamiento (Match Factor) .....	74
4.1.4. Control de costos operativos .....	77
CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS.....	79
DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS .....	79
APORTES DEL TESISISTA .....	80
CONCLUSIONES .....	81
RECOMENDACIONES .....	82
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	83
ANEXOS .....	85

# CAPÍTULO I

## GENERALIDADES

### Entorno físico

#### 4.1.5. Ubicación y Acceso

La unidad Isabelita de la empresa minera, está ubicado en las coordenadas UTM: 9°134,814-N y 829,083-E en su parte central, a una distancia de 180 Km al Este de la ciudad de Trujillo y a 4 Km al Sur - Este, desde el distrito de Huamachuco, provincia de Sanchez Carrión.

Las altitudes oscilan entre 3350 a 3680 msnm, en el distritito de Huamachuco, provincia de Sánchez Carrión, región La Libertad, dentro de los cuadrángulos de Cajabamba 16-G (Ver Figura 01).

La vía de acceso es asfaltada hasta la ciudad de Huamachuco, a partir de aquí existe un tramo corto hacia la mina, de vía afirmada; es importante resaltar las buenas condiciones de la ruta hasta Huamachuco ya que existe un alto tránsito de unidades de carga pesada, así como de transporte de personal.

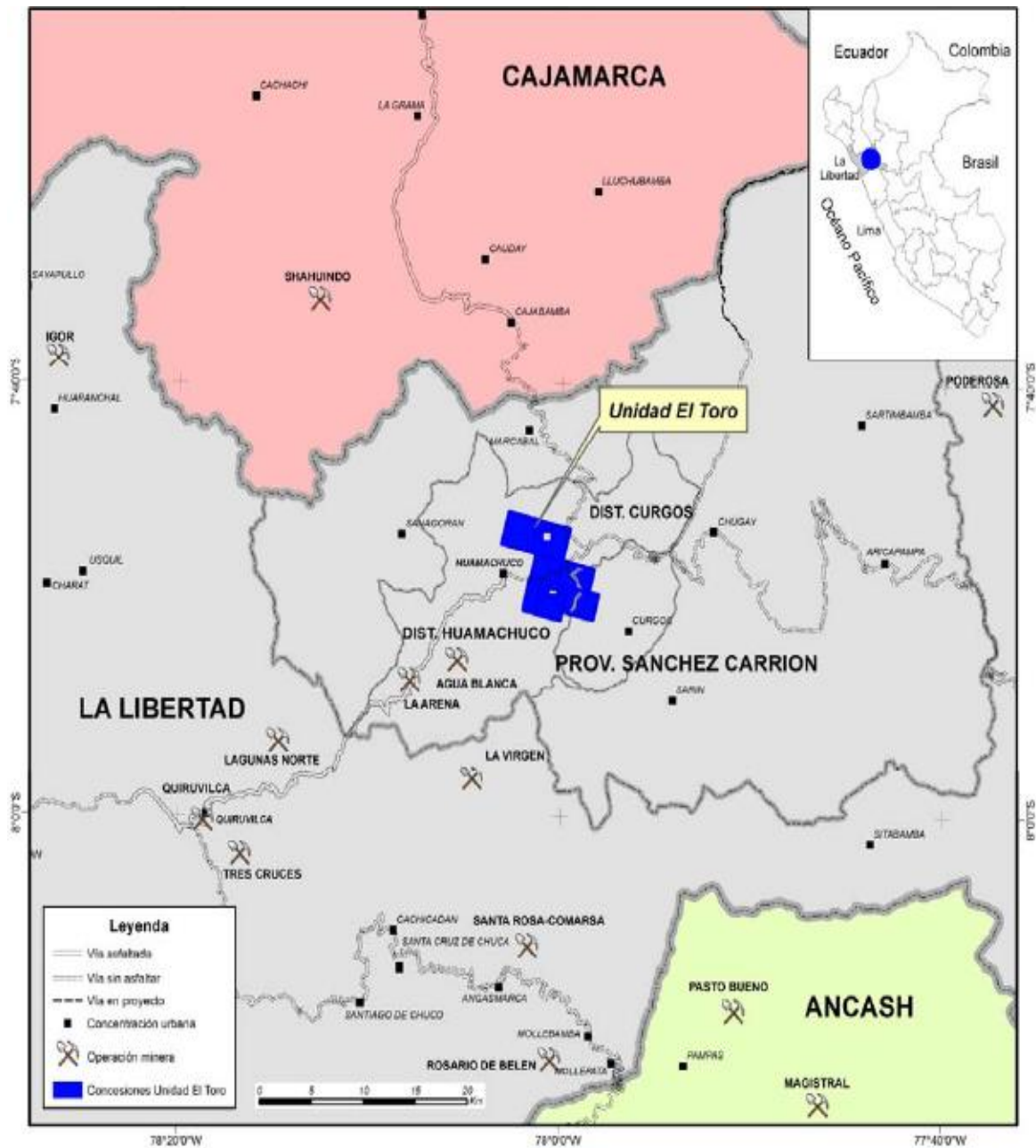
En la siguiente tabla, mostraremos un resumen de distancias, condición de la vía y tiempo aproximado por segmentos de la ruta:

Tabla 01: Vías de acceso	Tramo	Distancia	Acceso	Tiempo
1	Lima – Trujillo	545 km	Asfaltado	8.0 Hrs.
2	Trujillo – Huamachuco	140 km	Asfaltado	4.5 Hrs
3	Huamachuco – Isabelita	4 km	Afirmado	0.5 Hrs

*Fuente: Elaboración propia*

La mina se encuentra rodeada de cuatro comunidades de influencia directa, estas son Shiracmaca, El Toro, Coygobamba y Santa Cruz con quienes se mantienen buenas relaciones para que el desarrollo de las operaciones se den sin conflictos.

Figura 01: Plano de ubicación



*Fuente: Informe Los Andes Perú Gold*

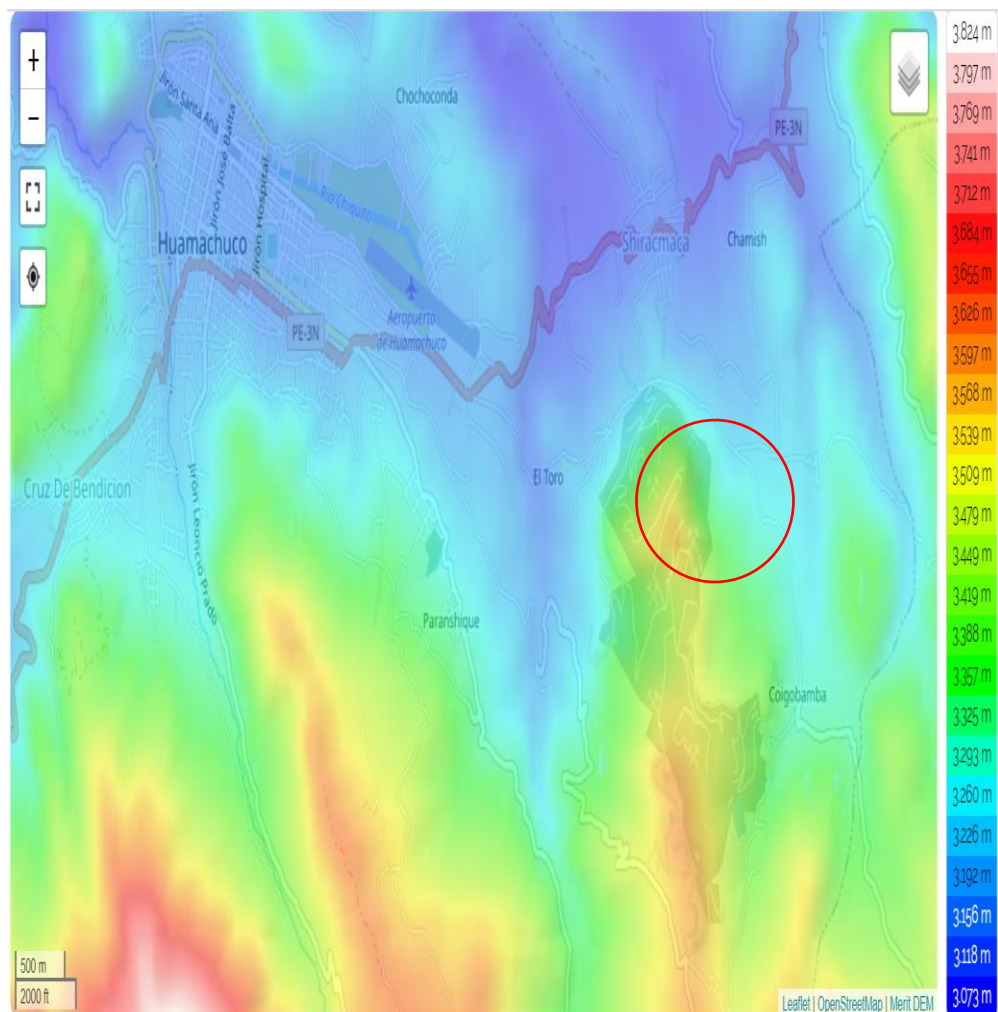


#### 4.1.6. Topografía

La unidad minera está atravesada por la cordillera de los andes, de sur a norte en forma irregular generándose las condiciones para la formación del yacimiento de diseminado de oro con emplazamiento en areniscas.

La zona está formada por suelos relativamente muy profundos de textura media generalmente con influencia volcánica (Ver Figura 02).

Figura 02: Mapa topográfico



Fuente: <https://es-pe.topographic-map.com/maps/6ye2/Huamachuco/>

#### **4.1.7. Hidrología**

Los ríos de la provincia de Sánchez Carrión pertenecen a la cuenca hidrográfica del Atlántico, pues todas vierten sus aguas al Río Marañón, en el curso del río es no navegable en la provincia.

#### **4.1.8. Geomorfología**

La geomorfología se observan pliegues sinclinales, anticlinales y pliegues secundarios con una tendencia generalizada al rumbo andino (NE-SW), cortadas por una serie de fallas, estructuras tectónicas regionales activadas y reactivadas en las fases de la Orogenia Andina generando zonas de debilidad estructural permitiendo el emplazamiento de rocas intrusivas.

#### **4.1.9. Clima y Recursos Naturales**

En la unidad minera el clima es frío y seco, la temperatura varía entre 4 °C – 10 °C entre el día y la noche. El clima está dividido en dos estaciones claramente diferenciadas durante el año, una estación seca (Abril – Setiembre) y otra estación lluviosa (Octubre – Marzo), la cantidad de precipitación varía según la posición geográfica.

Respecto a la vegetación en la unidad minera se ha determinado la presencia de cinco unidades de Vegetación: Matorrales, praderas, bosques con eucalipto y zonas de cultivo.

### **Entorno geológico**

#### **4.1.10. Geología Regional**

Está representada por la “Cordillera de los Andes”, constituye las unidades morfoestructurales depresiones fuertemente disectadas, con valles fluviales

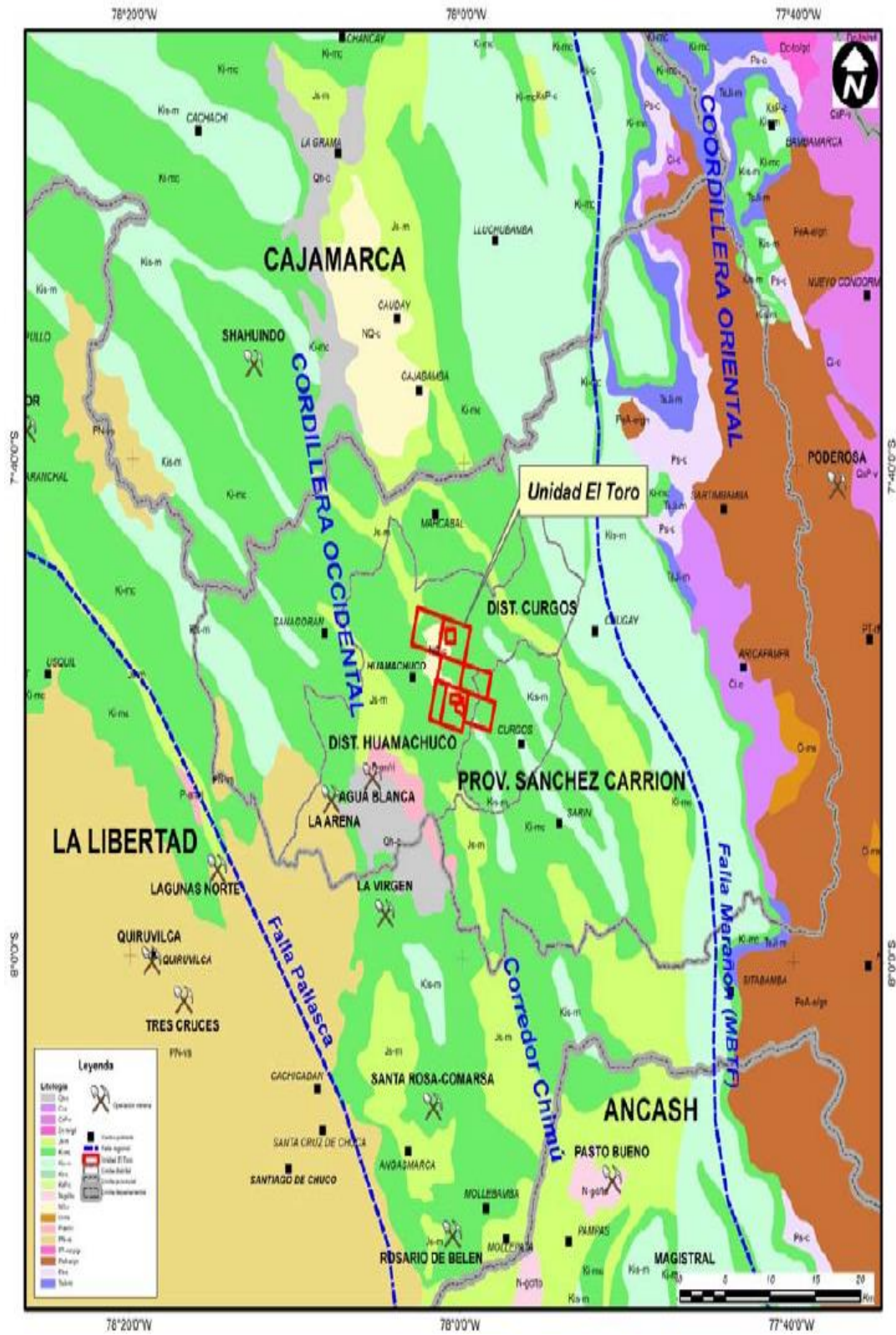
de flancos suaves a encañonados, cerros de cimas angulosas y extensos conos aluviales (Peña & Belleza 2017).

La litología regional comprende secuencias de rocas sedimentarias pertenecientes al grupo Goyllarisquizga del cretácico inferior, seguido de lutitas y calizas de las Formaciones Inca, Chulec y Pariatambo, del Cretácico Medio Superior, relacionados probablemente a la mineralización del yacimiento donde la tectónica regional tiene un dominio de esfuerzos compresivos manifestándose en fallas y pliegues de orientación NO-SE de extensión kilométrica, que afectan al basamento del Jurásico - Cretácico (Peña & Belleza 2017), (Ver Figura 03).

Subsecuentemente, el fracturamiento tensional radial del arco, ha generado fallas o lineamientos de transferencia (Corbett y Leach, 1997). La intersección de éstas con fallas de arco paralelas a la orientación andina ha dado origen a zonas de debilidad, favorables para la inyección de los sistemas de intrusión-alteración mineralización.

Los intrusivos, generalmente de mediana acidez, han aprovechado los ejes de los pliegues sedimentarios para su emplazamiento. La parte axial del arco, parece ser el sector de mayor actividad magmática hidrotermal asociada a la mineralización, tanto dentro el campo volcánico terciario, como a través de la secuencia sedimentaria mesozoica. Aunque no está claro si los yacimientos de AuAg y polimetálicos de la región están controlados por lineamientos NW-SE o por el sistema NE-SW, estos últimos parecen controlar la mineralización económica, como se observa en el trend Salpo-Machacala-Quiruvilca (dentro de los Volcánicos Calipuy).

Figura 03: Geología Regional



Fuente: Geología de la Unidad Minera el Toro, PERUMIN

## 4.1.11. Geología Local

### 4.1.11.1. Estratigrafía en el Contexto Local

El área de estudio ha sido ampliamente descrita en los boletines de INGEMMET. Por tal motivo se describe brevemente los principales rasgos geológicos de rocas sedimentarias representadas por las Formaciones Chicama, Chimú, Santa, Carhuaz; rocas volcánicas representadas por el Grupo Calipuy y afloramientos de cuerpos intrusivos.

- a) *Formación Chimú*
- b) *Formación Santa y Carhuaz*
- c) *Grupo Calipuy*

## 4.1.12. Geología Estructural

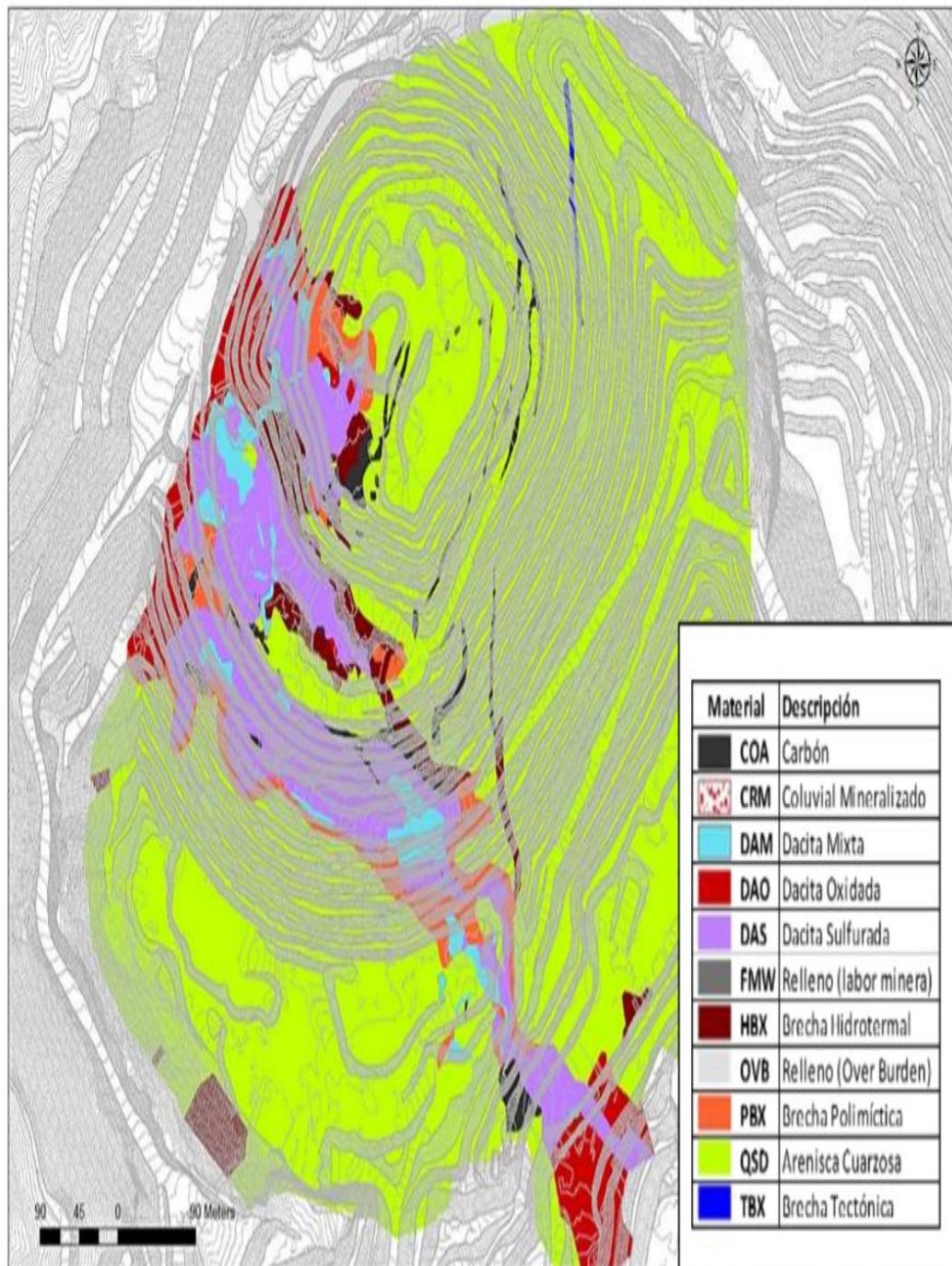
Se ha formado en el Cretáceo superior – Terciario, como resultado de los intensos procesos tectónicos debidos a la Orogenia Andina. Ahora se observan sus afloramientos como pliegues sinclinales, anticlinales y pliegues secundarios. Estas estructuras a veces son abiertas, otras veces comprimidas o cerradas y sus flancos muchas veces llegan hasta la posición invertida.

Asociado a los pliegues, se presentan fallas inversas y algunas normales que cortaron las formaciones sedimentarias, regionalmente la orientación de estas estructuras es predominantemente las fallas longitudinales.

Las estructuras en la roca volcánica del Grupo Calipuy está afectada por un sistema de juntamiento, que han producido una disyuntura tabular.

De modo tal que entre los principales factores que controlaron el emplazamiento de cuerpos minerales se tienen las estructuras: pliegues, fallas y fracturas (Ver Figura 04).

**Figura 04:** Plano litológico del Tajo



*Fuente: Informe Geológico de Los Andes Gold, 2018*

#### 4.1.13. Geología Económica

En el yacimiento Isabelita la composición mineralógica principal existente es el Au microscópico que se encuentra diseminado en las cuarcitas y areniscas, alcanzando un promedio desde 0.15 hasta 1.3 gr/tn. también dentro de un conjunto de vetillas y micro-vetillas de potencias muy diferentes y reducidas que oscilan entre 0.05 m. a 0.15 m. con relleno de óxidos en este caso alcanzando de hasta 0.453 gr/tn. en ambos casos se encuentra asociado a la Ag, acompañada de una falla.

## CAPÍTULO II

### FUNDAMENTACIÓN

#### MARCO TEÓRICO

##### 5.1.1. Antecedentes de la Investigación

**Villanueva, A. (2008)** en la tesis *INDICADORES DE GESTIÓN EN CONSORCIO MINERO HORIZONTE S.A.* Lima – Perú.

Concluye:

Los indicadores de gestión son una herramienta importante para el liderazgo de las empresas mineras; permite, además, evaluar en forma periódica el avance el cumplimiento los objetivos estratégicos planteados por las organizaciones y considera la gestión e indicadores de cada una de las áreas internas Así mismo; La Corporación Andina de Fomento; indica que es necesario medir el desempeño de cada proceso dentro de una empresa y ello se realiza mediante indicadores.

**Baldeon, Z. (2011)**, en su tesis *“GESTIÓN DE LAS OPERACIONES DE TRANSPORTE Y ACARREO PARA EL INCREMENTO DE LA PRODUCTIVIDAD EN LA CIA MINERA CONDESTABLE S.A.”*, Lima -Perú.

Concluye

- La gestión de transporte y acarreo es fundamental para garantizar la confiabilidad operativa de los procesos y el resultado se observa con la reducción de la cantidad de fallas del proceso operativo.



**Caballero, G. (2013)**, en su tesis, ***“KPI’S FUNDAMENTALES PARA LA GESTIÓN DEL ÁREA PRODUCTIVA DE UNA MINERA DE MEDIANA PRODUCCIÓN DE CÁTODOS DE COBRE EN CHILE”***, Chile.

#### **RESUMEN**

- Se realiza un mapeo de los indicadores en toda la operación identificando KPI's fundamentales, que deben implementarse para controlar la gestión en una minera de extracción de cobre en Chile, sin embargo, se prioriza los indicadores de producción y de costos debido a que el propósito de las empresas es generar rentabilidad sobre la inversión.

**Villa, L. (2015)**, en su tesis ***“UN MÉTODO PARA LA DEFINICIÓN DE INDICADORES CLAVE DE RENDIMIENTO CON BASE EN OBJETIVOS DE MEJORAMIENTO”*** Medellín, Colombia.

#### **RESUMEN**

Propone un método para definir indicadores de gestión, planteando una relación de directa de dependencia entre los objetivos de las empresas y los indicadores. Concluyendo que este nuevo método es aplicable para cualquier organización ya que brinda trazabilidad entre objetivos e indicadores.

**Montero, L. (2016)**, en su tesis ***“DISEÑO DE INDICADORES PARA LA GESTIÓN DE PROYECTOS”***, Madrid - España.

#### **RESUMEN**

El objetivo base de la investigación es diseñar indicadores, evaluando la metodología de la gestión de proyectos, finalmente la implementación y puesta en marcha para validar la funcionalidad de los indicadores. Concluye que actualmente la gestión de proyectos es crucial para el crecimiento y desarrollo empresarial.

**Condori, R (2017)**, en su tesis, ***“ESTUDIO DEL SISTEMA DE ACARREO DE INTERIOR MINA PARA OPTIMIZAR TIEMPOS, DISMINUIR COSTOS E INCREMENTAR LA PRODUCCIÓN EN EE NCA SERVICIOS MINA MOROCOCHA”***, Arequipa - Perú:

- La toma de datos de campo permitirá encontrar nuevos métodos de control y mejoramiento de la productividad en base al análisis de indicadores (KPI) y análisis de costos dentro de la operación. Esto puede ser utilizado como referencia en cualquier proyecto.

Se identifican las causas relacionados con la disminución de la productividad y se trabaja en ellas.

- El objetivo es incrementar la eficiencia y utilización de la flota de acarreo, se tomaron datos de ratios operativos y rendimientos de los equipos por unidad horaria.

**Quiroga, P. (2017)** en la tesis ***“DISEÑO DE HERRAMIENTA COMPUTACIONAL PARA CONTROL DE KPI DE OPERADORES DE CARGUÍO Y TRANSPORTE – MINA LOS BRONCES”***, Chile.

Departamento de Ingeniería de Minas, concluye lo siguiente:

Para lograr incrementar la productividad es importante la participación de los operadores, para ello se definen los KPI del proceso, mediante la cual

los operadores deberán realizar mediciones y evaluar su rendimiento. En el caso de este trabajo, se centra en operadores de carguío y transporte, y los indicadores que serán medidos, como los tiempos de aculatamiento y velocidades para el caso de operadores de transporte, y tiempos de carguío y rendimientos efectivos para el caso de operadores de carguío.

**Rodriguez, J. (2017), en la tesis “IMPLEMENTACIÓN DE INDICADORES KPI EN LOS CONTROLES DE LOS EQUIPOS “EMPERNADORE HAMMER BOLT” PARA MEJORAR EL RENDIMIENTO DE LOS EQUIPOS EN EL SOSTENIMIENTO MECANIZADO – MINA CATALINA HUANCA SOCIEDAD MINERA S.A.” Trujillo -Perú**

Concluye:

- La implementación de indicadores en la mina Catalina Huanca demuestra la efectividad en el uso de los equipos y se demuestra con la mejora del del rendimiento, disponibilidad mecánica, utilización, confiabilidad y mantenibilidad de los equipos Hammer Bolt.

**Pizarro, Y. (2018), en su tesis “CARGUÍO Y ACARREO DE MINERAL MEDIANTE EL USO DE INDICADORES CLAVES DE DESEMPEÑO (KPI) EN CIA MINERA LOS QUENUALES S.A.” Apurímac - Abancay,**

## RESUMEN

El objetivo principal es mejorar las operaciones unitarias de carguío y acarreo de mineral mediante el planteamiento de indicadores de desempeño

que permitan evaluar la productividad de estas dos operaciones unitarias; desarrollado mediante diseño no experimental, nivel descriptivo. Concluyendo que plantear un control de los indicadores clave de gestión incrementa la utilización efectiva de los equipos de un 65% a un 85%.

**Ayala, G (2019)**, en su tesis ***“IMPLEMENTACIÓN DE INDICADORES DE GESTIÓN PARA EL CONTROL DE LAS OPERACIONES EN UNA MINA SUBTERRÁNEA”*** Lima-Perú.

### RESUMEN

Se establece una línea base, evaluando la situación actual de la empresa, permite poseer herramientas de control, mediciones y evaluaciones de diversas estrategias planteadas en relación con los objetivos de la mina, medir de forma objetiva el resultado de las operaciones mineras subterráneas e implementar los indicadores gestión que se van a utilizar en el minado y que finalmente genere la creación de valor en las operaciones mineras.

El objetivo es diseñar e implementar indicadores para usar eficientemente los recursos disponibles en una empresa minera. Concluyendo que la implementación de estos en la empresa permite controlar eficientemente los procesos e incrementar la productividad de estos.

#### 2.1.2. Definición de Términos

**PROCESOS.** Es un conjunto de actividades o eventos que están interrelacionados y ocurren bajo ciertas condiciones con un fin determinado.

**OBJETIVOS Y METAS.**

Son un conjunto de planteamientos trazados por una organización, en busca alcanzar un resultado esperado en un determinado periodo, están pueden ser medibles y observables.

La meta es una intención de alcanzar algo, no depende del tiempo y no se establece un plan específico.

### **EQUIPOS DE CARGUÍO**

Son los equipos encargados de cargar el material roto sobre los equipos de transporte, estos deben estar dimensionados de acuerdo a la capacidad de los camiones, para alcanzar el máximo rendimiento, además se deben considerar otros factores como la fragmentación del material, tipo de roca, etc.

**ACARREO DE MATERIAL.** Es el proceso en el cual el material cargado por los equipos de transporte son trasladados mediante volquetes a sus destinos finales como pueden ser, botadero, pads o chancadora.

### **INDICADORES CLAVE DE DESEMPEÑO (KPI)**

Es una medida de objetivos cuantitativa que muestra cómo las empresas progresan hacia sus objetivos empresariales más importantes.

Son usado en varios niveles de las organizaciones. Se puede plantear KPI para toda la empresa, así como para tareas específicas, en equipos o asignados a la fuerza laboral, dependiendo de las métricas a las que se desea dar seguimiento. Un buen KPI puede darte una idea de si vas por el camino correcto para alcanzar tus objetivos estratégicos.

### **EFICIENCIA**

Se refiere a alcanzar los objetivos planteados con la menor cantidad de recursos. Lo importante en este punto es la disminución del uso de recursos por lo tanto disminución de costos.

### **EFICAZ**

Definido como el grado de cumplimiento de los objetivos deseados, en un determinado periodo.

**PRODUCCIÓN.** Es medido como la cantidad de producto obtenido dentro de un periodo operativo, referido a la minería puede ser toneladas alcanzadas o comercializadas.

**PRODUCTIVIDAD.** La productividad es la relación existente entre los resultados obtenidos, el tiempo y los recursos que se emplean para alcanzarlos.

### **GESTION DE COSTOS.**

Referido a la administración adecuado de los recursos económicos, en colaboración con el área de trabajo involucradas.

Es fundamental para la competitividad y sostenibilidad de las organizaciones.

**FLUJO DE CAJA.** El flujo de caja se refiere a la información sobre los recursos que genera una empresa, tanto los flujos de entrada como de salida, en un periodo de tiempo específico. Se utiliza para indicar la acumulación

**COSTOS UNITARIOS.** Es el valor monetario de producir un bien o un servicio. Se suele calcular como el costo de producir todos los bienes entre el número de bienes producidos.

**TONELADAS.** Es la unidad de medida de la producción de material (Desmonte o mineral).

**UTILIZACIÓN.**

Esta referido a la aplicación de los recursos tanto económicos como en equipos, mide cuanto de los recursos disponibles se están utilizando para alcanzar o fabricar un producto.

**DISPONIBILIDAD.**

Es el tiempo en el que un recurso se encuentra disponible para ser utilizado, esto puede ser medido, en función de tiempo, de costos, de consumo, etc.

Es fundamental contar con recursos para alcanzar un objetivo planteado.

**MATCH FACTOR.**

Definido como la relación de productividad entre los equipos de transporte y los equipos de carguío.

**DIMENSIONAMIENTO DE FLOTAS.** Es la determinación óptima del número de volquetes para un tipo equipo de carguío, para ello se toman en cuenta factores como tiempo de transporte cargado, tiempo de transporte vacío, tiempo de carguío, tiempo de descarga.

**TAJO ABIERTO.** Es el proceso de extracción de material a cielo abierto donde se realizan cortes para llegar al mineral.

**DIAGRAMA PARETO.** Es una herramienta gráfica que ordena datos de mayor a menor, permite evaluar las causas de una problemática estudiada en un determinado proceso.

El análisis de Pareto es una comparación cuantitativa y ordenada de elementos o factores según su contribución a un determinado efecto.

El objetivo de esta comparación es clasificar dichos elementos o factores en dos categorías:

Los "pocos vitales" (los elementos muy importantes en su contribución) y los "muchos triviales" (los elementos poco importantes en ella).

### 2.1.3. Fundamentación Teórica

Cotidianamente es frecuente interactuar con múltiples indicadores sin que seamos conscientes de estos, tales como: velocidad de tránsito, horarios de trabajo, señales de emergencia, número de ventas, etc. Todos ellos proveen información de forma clara, simple, precisa y no generan confusión, por ejemplo, sabemos en qué momento detenerse o avanzar de acuerdo con el color de las luces del semáforo, interpretamos señales de respete los asientos reservados para personas mayores, evitamos estacionarnos en áreas para discapacitados. La mayoría estos indicadores son de fácil entendimiento, no es necesario que alguien nos explique su significado, solo se requiere un poco de información para interpretarlos de manera lógica.

En minería existen diversos indicadores que brindan información importante, trascendente y única respecto a algo, el resultado debe ser interpretada de una única manera dado que tiene un solo objetivo.

**2.1.3.1. Indicadores Clave de Desempeño.** Las organizaciones deben planificar, diseñar e implementar controles cuyo propósito será validar la información generada, se realiza la medición, evaluación y capacidad de los procesos, así también la satisfacción de los clientes externos e internos.<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Robert José Herrera Acosta & Tomas José Fontalvo Herrera, Seis Sigma como Herramienta de Gestión, cap. 03, pp 16.



Se entiende como indicador clave de desempeño a los monitoreos que se realizan con el fin de medir el grado de cumplimiento de las metas; estos reflejan el rendimiento de las organizaciones y generalmente se establecen dentro del plan estratégico.

### **2.1.3.2. Ámbitos de desempeño de un indicador**

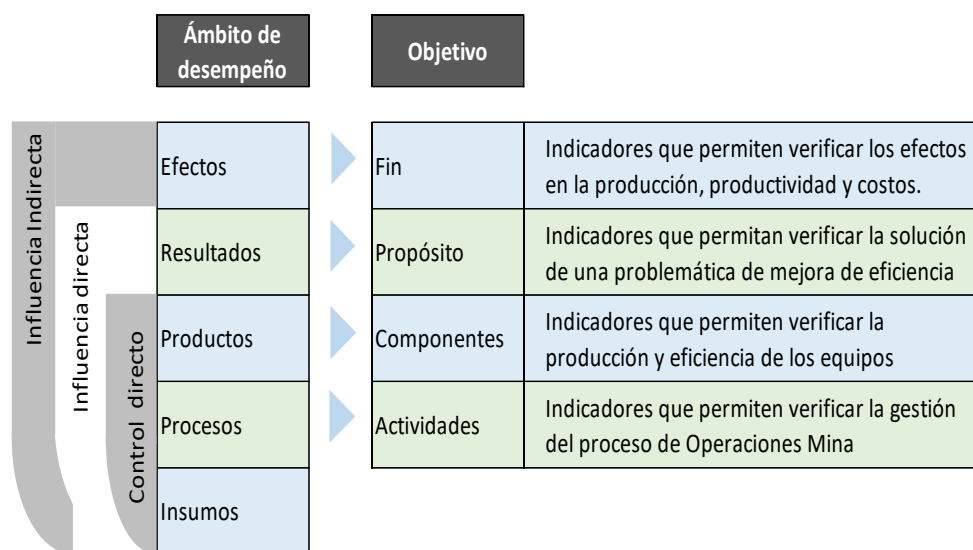
Las etapas de un proceso se encuentran conectadas mediante una cadena lógica de resultados, cada una está ligado al resultado anterior, asociada al tiempo, lo complejo de esto se incrementa conforme se avanza en el proceso (Ver Figura 01).

El entorno de desarrollo de los indicadores deben ser medidos en todos los niveles de los objetivos. Las actividades están relacionadas con la gestión de las organizaciones, de la misma manera que los componentes son parte importante para la generación y entrega de los productos o servicios. El propósito está referido a la finalidad de cada acción y su impacto en los resultados concretos, mientras que la razón se refiere a los efectos de este sobre los objetivos de mayor logro en el mediano plazo. Cada nivel de la matriz se encuentra asociado a objetivos con diferente grado de complejidad, por lo que es necesario establecer indicadores que permitan monitorear distintas etapas de la cadena de producción.<sup>2</sup>

---

<sup>2</sup> CONEVAL, *Manual para el diseño y construcción de Indicadores*, pp. 19, México, 2013

**Figura 05:** Ámbito de desempeño de los Indicadores



**Fuente:** *Manual para el diseño y construcción de indicadores, CONEVAL*

Las actividades miden los procesos llevados a cabo el área de operaciones mina para generar la producción planificada. Se pretende verificar la eficiencia de la gestión del plan de minado.

En los componentes se mide la producción, el tonelaje de mineral transportado, las onzas puestas en el pad, la cantidad de equipos de acarreo requeridos, la disponibilidad y utilización eficiente de estos.

El propósito de los indicadores están enfocados en evaluar el grado de cumplimiento de los resultados del plan de minado, estos se miden en porcentajes, permiten cuantificar los objetivos alcanzados en un determinado periodo.

El fin busca medir los efectos de los resultados alcanzados respecto a los objetivos establecidos. En este ámbito, lo indicadores evalúan los impactos generados en la producción, productividad de los equipos y económicos en el proceso de minado. Dada la complejidad y el alcance de estos objetivos,

un programa solamente contribuye a la solución de una parte de la problemática general. De tal manera que la solución a mediano plazo, necesita de la cooperación de todos los involucrados en el proceso para cumplirse.

### **2.1.3.3. Tipos de indicadores**

Identificaremos criterios para distinguir los tipos de indicadores:

#### **a. Indicadores de eficacia**

En los principales procesos los indicadores de eficiencia mide el grado de cumplimiento de los objetivos planteado, es decir, evidencian el porcentaje de alcance de objetivos planteados.

#### **b. Indicadores de eficiencia**

Aquí se mide la relación existente entre el logro de los objetivos planteados y los recursos usados para el cumplimiento. Estos valoran el costo de alcanzar un objetivo, no están limitados a los recursos económicos, también valoran los recursos humanos y materiales que se emplea en la operación para alcanzar un objetivo específico.

Los indicadores de eficiencia no ayudan a tomar decisiones, ya que describen el costo de alcanzar los objetivos planteados.

#### **c. Indicadores de economía**

Estos controlan la capacidad de los procesos de administrar, generar o movilizar de correctamente los recursos financieros, de esta manera cuantifican el uso de los recursos.

En el caso de mida se medirá como los gastos realizados para el cumplimiento de la producción planificada.

#### **d. Indicadores de calidad**

Estos indicadores miden las propiedades, capacidad y las características propias de los bienes y servicios producidos, controlan las características mínimas que deben tener para cumplir con el objetivo planteado.

#### **2.1.3.4. Metodología para diseñar indicadores**

Muchos de los procesos en la vida siguen ciclos de mejora continua, los indicadores no están excluidos, ya sea en la vida familiar de una persona, en una gran compañía, las instituciones del gobierno, en todos los ámbitos, los procesos deben ser medidos, para ser controlados y de esta manera buscar la eficiencia de estos. Existen metodologías para que cada uno de estos sean diseñados y medidos.

#### **a. Ciclo de Deming (PDCA)**

Es una metodología cíclica que busca la optimización de los procesos de las organizaciones, consta de cuatro etapas<sup>3</sup>:

- Plan (Planificar). Es el primer paso del ciclo y es donde se identifican las oportunidades de mejora, se crean planes de acción para solucionarlo.
- Do (Hacer). Es el segundo paso del ciclo PDCA donde los colaboradores trabajan poniendo en marcha los planes de acción para lograr los objetivos planteados. En esta etapa el equipo es guiado por un mentor, si es necesario se realizan pruebas piloto.

---

<sup>3</sup> <https://www.beetrack.com/es/blog/ciclo-de-deming-etapas-ejemplos>

- Check (Verificar). Después de la implementación de los planes de acción en esta etapa se procede a verificar la eficacia y eficiencia de estos. Esto se realizan mediante indicadores KPI.
- Act (Actuar). Es la última etapa del ciclo PDCA, después de la evaluación de resultados y del aprendizaje alcanzado, se implementan acciones correctivas. En caso de que los resultados, se documenta dicho cambio y se integra dentro de los procesos empresariales.

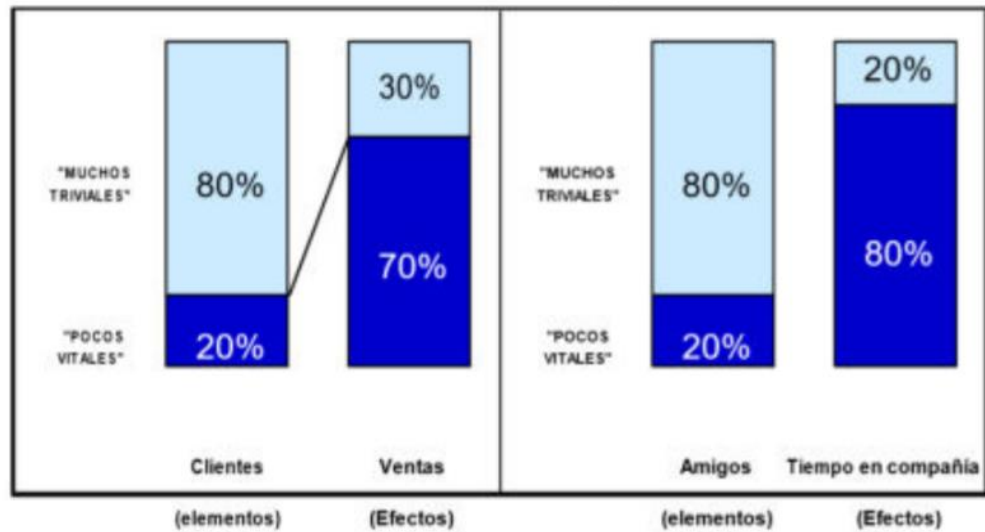
**b. Diagrama de Pareto**

Salas, L. (2013). En su tesis *“ESTUDIO DE KPIS EN LOS EQUIPOS DE PERFORACIÓN, CARGUÍO Y ACARREO PARA EL INCREMENTO DE LA PRODUCCIÓN DE 3000 A 3600 T/DÍA EN LA MINA PALLANCATA - HOCHSCHILD MINING”*, Arequipa - Perú.

En resumen, el principio de Pareto consiste en que, de todo conjunto de elementos o factores que son la causa de un mismo efecto o resultado, unos pocos vitales son causantes de la mayor parte de los efectos o resultados, por lo que es conveniente enfocar los esfuerzos en estos.

La metodología permite estudiar las fallas en las organizaciones. La distribución de las causas y efectos no es un proceso organizado, el 20% de las causas totales originan el 80% de los efectos. La principal utilidad que tiene el evaluar este diagrama es para poder establecer un orden de prioridades en la toma de decisiones dentro de una organización. Evaluar todas las fallas, saber si se pueden resolver o mejor evitarla.

**Figura 06:** Principio de Pareto



Fuente: (SALAS 2013)

**c. Diagrama Causa – Efecto (Ishikawa)**

Salas, L. (2013). En su tesis *“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”*

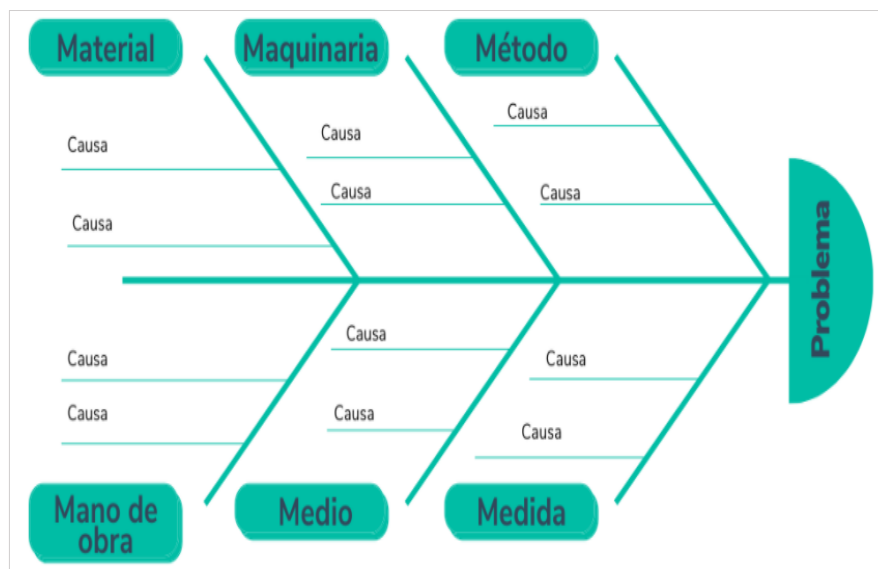
**RESUMEN**

En el análisis del diagrama causa - efecto se muestra la relación cualitativa y cuantitativa de los factores que interactúan entre sí y contribuyen a un efecto o fenómeno que es evaluado mediante el diagrama de Ishikawa (por su creador, el Dr. Kaoru Ishikawa, 1943), o diagrama de espina de pescado, es utilizado en todas las fases del proceso, así como en la identificación de las diversas causas, de acuerdo con los distintos niveles de importancia, trascendencia y proporción. Generalmente las causas tienen relación con el origen del problema, o con los efectos que este produce.

### ¿Para qué sirve?

Se evalúan las posibles causas de los problemas y ayudan a encontrar la causa raíz, para ello se forman equipos multidisciplinarios y cada uno entregan posibles soluciones, para ello puede usarse Brianstorming.

*Figura 07:* Diagrama de Ishikawa



Fuente: <https://blog.hubspot.es/sales/diagrama-ishikawa>

#### 2.1.3.5. Equipos mineros

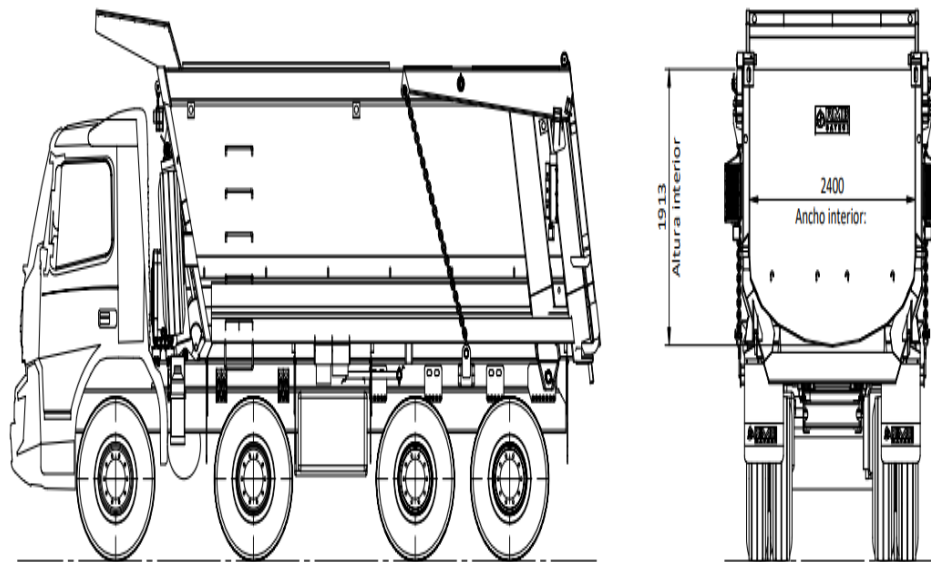
Hace alusión a los equipos usados dentro de proceso productivo para la extracción de mineral o para su transformación, estos pueden ser de diferente tipo, capacidad, funcionalidad, etc., para nuestro caso de estudio nos limitaremos a describir los equipos involucrados dentro del proceso de extracción de mineral los cuales son: Equipos de acarreo, equipos de carguío, equipos para trabajos auxiliares.

##### a. Equipos de acarreo

Es el proceso mediante el cual el material roto es transportado hacia sus diferentes destinos (Planta, Botadero, Stock), mediante el uso de

volquetes y/o volquetes dimensionados para equipos de carguío CATERPILAR, buscando alcanzar el Match Factor más cercano a 1, lo que nos brindará una mejor productividad pala/volquete.

**Figura 08:** Dimensiones del volquete de 24 m<sup>3</sup>



**Fuente:** Ficha técnica de volvo FMX

#### **b. Servicios Mina**

Los equipos de servicios mina son usados de acuerdo a las necesidades de la operación, su función principal es mantener las actividades de soporte dentro de la operación en óptimas condiciones, esto ayudará a alcanzar los rendimientos técnicos de los equipos.

Los trabajos auxiliares más frecuentes que se realizan son la limpieza de las áreas de carguío, perfilado de taludes, empuje de materiales, mantenimiento de vías, etc., por lo que los equipos que se usan son: excavadoras, cargador frontal, tractor oruga, motoniveladora, retroexcavadora, rodillo, etc.

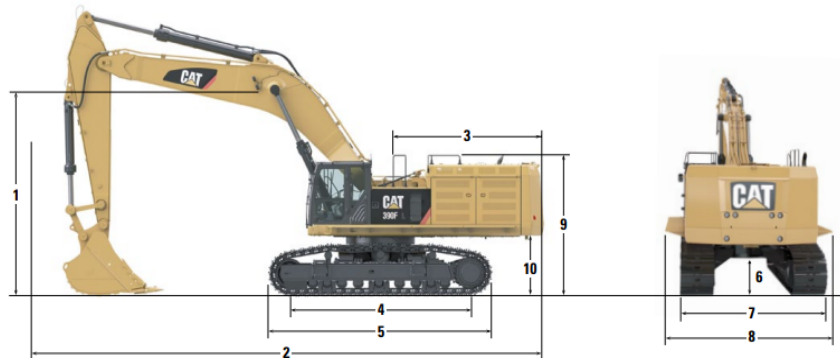


### c. Equipos de carguío

El material fragmentado es cargado sobre volquetes para ello se hace uso de excavadoras y/o palas. Este proceso representa uno de los costos más altos después de acarreo por lo que es de gran importancia garantizar el uso eficiente de los equipos.

En Summa Gold Corporation S.A.C, el proceso de carguío se realiza mediante excavadoras CAT 390, Volvo 950 y 750, además dentro de la flota se consideran los cargadores Volvo L260 y L150H, la eficiencia se mide mediante la capacidad de carguío de los cucharones y el tiempo que demora cada pase.

**Figura 09:** Especificaciones técnicas de excavadora 390 FL



Auslegeroptionen	Standardausleger 10,0 m		GP-Ausleger 8,4 m			ME-Ausleger (Mass Excavation, Massenaushub) 7,25 m	
	R5,5 m	R4,4 m	R5,5 m	R4,4 m	G3,4 m	M3,4 m	M2,92 m
<b>Stieloptionen</b>							
<b>1</b> Transporthöhe	mm 5490	5070	5840	5290	5160	5310	4890
<b>2</b> Transportlänge	mm 16.290	16.330	14.500	14.690	14.720	13.550	13.690
<b>3</b> Heckschwenkradius	mm 4700	4700	4700	4700	4700	4700	4700
<b>4</b> Tragende Kettenlänge	mm 5120	5120	5120	5120	5120	5120	5120
<b>5</b> Kettenlänge	mm 6358	6358	6358	6358	6358	6358	6358
<b>6</b> Bodenfreiheit	mm 900	900	900	900	900	900	900
<b>7</b> Spurweite (eingefahren)	mm 2750	2750	2750	2750	2750	2750	2750
Spurweite (ausgefahren)	mm 3510	3510	3510	3510	3510	3510	3510
<b>8</b> Transportbreite							
650-mm-Bodenplatte	mm 4160	4160	4160	4160	4160	4160	4160
750-mm-Bodenplatte	mm 4260	4260	4260	4260	4260	4260	4260
900-mm-Bodenplatte	mm 4410	4410	4410	4410	4410	4410	4410
<b>9</b> Höhe Schutzgeländer	mm 3830	3830	3830	3830	3830	3830	3830
<b>10</b> Lichte Höhe bis Kontergewicht	mm 1640	1640	1640	1640	1640	1640	1640
<b>Löffeltyp</b>	GD	GD	GD	GD	SD	SDV	SDV
<b>Löffelinhalt</b>	m <sup>3</sup> 3,9	3,9	4,6	4,6	4,6	6,0	6,0
<b>Löffelschwenkradius</b>	mm 2424	2424	2319	2319	2319	2505	2505

Fuente: Ficha técnica de CATERPILAR

### 2.1.3.6. Eficiencia de los equipos

La eficiencia comprende el uso de la energía y/o potencia para que los equipos realicen trabajos; todos los equipos tienen partes mecánicas que desgastan energía por la fricción o alguna otra causa, razón por la que no toda la energía es usada en el trabajo útil.

#### a. Factores que influyen en el rendimiento de los equipos

El rendimiento eficiente de los equipos se ve afectado por varios factores que a continuación evaluaremos:

- **Factores humanos.** Se considera la destreza y habilidad del operador.
- **Factores geográficos.** Depende de la ubicación del trabajo, influye el factor climatológico, altitud media.
- **Naturaleza del terreno.** Evalúa la calidad de material en el área donde los equipos van a trabajar (rocoso, arcilloso, pantanoso, etc.).

### 2.1.3.7. Índices de operación minera

Los índices operacionales mineros pueden clasificarse en:

#### a. Índices mecánicos

Estos generan información sobre las actividades de los equipos e instalaciones, estos datos son usados para realizar la medición de distintos indicadores como la disponibilidad mecánica, utilización y rendimientos.

#### b. Índices de Insumos

Relacionado con las magnitudes de los recursos utilizados, en este caso se mide el rendimiento de los insumos utilizados con relación a los productos y/o servicios generados (ej. Kg. explosivo/ton, ton-Km/Gal combustible).

**c. Índices Mineros**

Son los índices que están relacionados y se miden con respecto al mineral extraído durante el proceso (ejemplo: Striping ratio que es la relación estéril/mineral).

**d. Índices de resultados**

Tiene que ver con alcanzar el resultado final de la empresa, como ejemplo: Onzas de oro producido, tonelada de concentrado de cobre producido, etc. En este estudio abordaremos índices de equipos, de producción y de costos, los cuales provienen de la información obtenida de cada uno de estos procesos:

- Uso, funcionamiento y operación.
- Rendimiento de equipos.
- Producción de mineral.
- Costos de producción y costos operativos.

**2.1.3.8. Conceptos económicos**

**a. Costos Directos**

Son los costos generados por incurrir directamente en las actividades de producción desde la perforación, voladura, carguío y acarreo, estos costos también son denominados costos variables.

**b. Costos indirectos**

Son los costos que no están directamente relacionado con la operación o producción. Estos tienen que ver con las actividades de soporte, como áreas administrativas, de ventas, comunicaciones, marketing, también son denominados costos fijos.

**c. Costos operativos o de producción mina**

Se pueden categorizar como costos directos e indirectos y están directamente relacionados a la producción de mineral y todas las operaciones involucradas en el proceso.

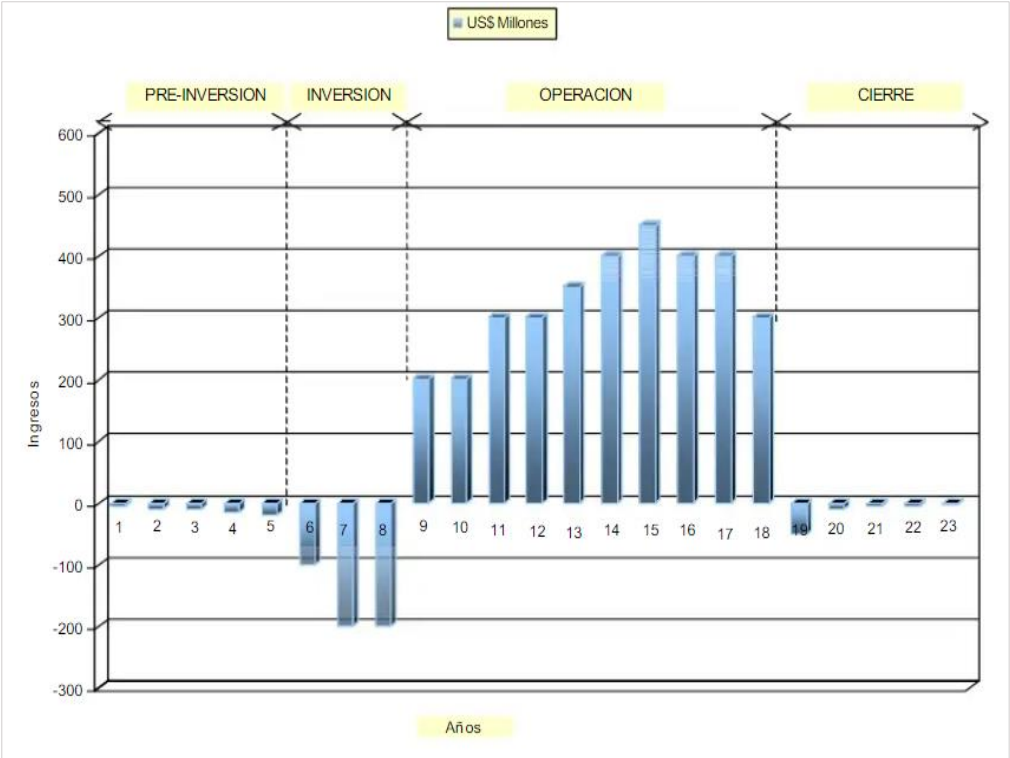
**d. Indicador**

Son índices que ha sido establecidos en base a las evaluaciones realizadas en cada proceso de las organizaciones, cuyo objetivo es realizar mediciones del grado de cumplimiento de cada uno de ellos.

**e. Flujo de caja**

Es un informe realizado para tener un control de los ingresos que se generan en una empresa durante un determinado periodo, así como los egresos, costos y todas aquellas obligaciones que surgen a lo largo del desarrollo de actividades de una compañía, institución, proyectos, etc, esto permitirá ordenar y controlar los movimientos de dinero que garantizará la disponibilidad de liquidez para la ejecución de una actividad y/o proyecto.

**Figura 10:** Flujo de caja de un proyecto minero



**Fuente:** Evaluación de proyectos mineros (PUCP)

## CAPÍTULO III

### METODOLOGÍA

#### 3.1. EL PROBLEMA

##### 3.1.1. Descripción de la Realidad Problemática

En toda empresa minera se destaca la importancia del uso eficiente de los recursos materiales, económicos y humanos; la gestión y administración eficiente de estas, generan un valor agregado dentro de cada proceso productivo hasta la obtención del bien y/o servicio final.

La Compañía Minera Summa Gold Corporation S.A.C. en su unidad de producción Isabelita, es una operación joven que ha venido creciendo paulatinamente. Es un yacimiento de oro de alta sulfuración que se encuentra emplazado en areniscas y cuarcitas, la extracción de mineral se realiza en su tajo principal, Diana; el material ya sea mineral o desmonte son transportados con volquetes hacia sus principales destinos, botaderos o pads según sea la clasificación del material. El carguío y acarreo se realizan con equipos de empresas contratistas que trabajan proveyendo volquetes y excavadoras con una disponibilidad por debajo del promedio esperado por lo que existen dificultades para alcanzar la producción planificada y dentro de los costos establecidos; estos costos representan el 75% de los costos operativos.

La mejora continua es uno de los pilares más importantes de la empresa, lo que impulsa la búsqueda constante de oportunidades de mejora en cada uno de sus procesos; en operaciones mina esto conlleva a evaluar diferentes alternativas de solución para aumentar la productividad de los equipos, de

esta manera contrarrestar la baja disponibilidad y alcanzar la producción planificada dentro de los costos estimados.

El presente trabajo propone la implementación de indicadores de gestión, mediante las cuales se van a controlar la utilización eficiente de todos los recursos económicos y maquinarias, buscando alcanzar los parámetros técnicos establecidos por los fabricantes.

### **3.1.2. Planteamiento y formulación del Problema**

#### **3.1.2.1. Problema General**

¿La implementación de indicadores de gestión mejorará la eficiencia en el uso de los equipos de producción reducirá los costos operativos de la Compañía Minera Summa Gold Corporation S.A.C.?

#### **3.1.2.2. Problemas Específicos**

- ¿Los indicadores de gestión a implementar mejorará la eficiencia de los equipos de producción?
- ¿El uso eficiente de equipos de producción se relacionará con la reducción de costos?
- ¿La implementación de indicadores de gestión impactará en los costos operativos?

### **3.1.3. Objetivos**

#### **3.1.3.1. Objetivo General**

Desarrollar la implementación de indicadores de gestión para mejorar la eficiencia en el uso de equipos de producción y reducir los costos operativos en la Compañía Minera Summa Gold Corporation S.A.C.

#### **3.1.3.2. Objetivos Específicos**

- Evaluar los indicadores de gestión que se deben implementar para mejorar la eficiencia de los equipos de producción.
- Relacionar el uso eficiente de los equipos de producción con la reducción de los costos operativos.
- Relacionar el impacto de la implementación de los indicadores de gestión con los costos operativos.

#### **3.1.4. Justificación de la Investigación**

La presente trabajo de investigación surge por la necesidad de cumplir con el plan de producción establecido, con los equipos actualmente disponibles en la Compañía Minera Summa Gold Corporation S.A.C.; para ello se propone implementar indicadores de gestión que ayudarán a monitorear el uso eficiente y buscar el máximo aprovechamiento de los equipos de producción (Excavadoras y volquetes), buscando alcanzar los rendimientos establecidos en los parámetros técnicos de fabricación, de manera complementaria es conveniente para reducir los costos operativos en la mina.

Adicionalmente permitirá sentar un precedente para poder realizar nuevas investigaciones en materia de implementación de indicadores de gestión en una operación minera.

#### **3.1.5. Limitaciones**

“Aquí se deben tener en cuenta la disponibilidad de los recursos financieros, humanos y materiales”.<sup>4</sup>

---

<sup>4</sup> Roberto Hernández Sampieri (2010). Metodología de la investigación, cap. 3, pp. 41. México: McGrawHill



En base a lo anterior, el presente estudio no tiene limitaciones ya que se cuenta con recursos como acceso a la información, asesoramiento de parte de los involucrados y financiamiento disponible, así como el tiempo para su desarrollo.

### **3.1.6. Alcances de la Investigación**

“Posterior a la revisión literaria se afina el planteamiento del problema, consideramos que alcances, inicial y final, tendrá nuestra investigación”.<sup>5</sup>

El presente estudio ayudará a evaluar el impacto de la implementación de indicadores de gestión en la productividad de los equipos de producción. Así mismo ayudará al conjunto estudiantil minero como fuente de información y servirá de base para la identificación de oportunidades de mejora dentro de los procesos productivos mineros.<sup>6</sup>

## **3.2. HIPÓTESIS**

### **3.2.1. Hipótesis General**

La implementación de indicadores de gestión para mejorar la eficiencia en el uso de los equipos de producción reduciría los costos operativos de la Compañía Minera Summa Gold Corporation S.A.C.

### **3.2.2. Hipótesis Específicas**

- Los indicadores de gestión a implementar mejoraría la eficiencia de los equipos de producción.
- El uso eficiente de equipos de producción se relacionaría con la reducción de costos.

---

<sup>5</sup> Roberto Hernández Sampieri (2010). Metodología de la investigación, cap. 5, pp. 87. México: McGrawHill

<sup>6</sup> Roberto Hernández Sampieri (2010). Metodología de la investigación, cap. 5, pp. 87. México: McGrawHill

- La implementación de indicadores de gestión impactaría en los costos operativos.

### **3.3. VARIABLES**

#### **3.3.1. Variable Independiente**

- X = Implementación de indicadores de gestión.

#### **3.3.2. Variable Dependiente**

- Y1 = Mejorar la eficiencia en el uso de los equipos de producción.
- Y2 = Reducción de los costos de producción.

### 3.3.3. Operacionalización de Variables

Variables	Dimensión	Indicadores	Escala	Instrumento
<b>Variable Independiente (X)</b>  <b>Indicadores de gestión</b>	Clasificación de los indicadores de gestión.	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Rendimiento de equipos</li> <li>▪ Toneladas movidas</li> <li>▪ Velocidad de acarreo</li> <li>▪ Cantidad de equipos</li> <li>▪ Match Factor</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ tn/hr</li> <li>▪ tn/día</li> <li>▪ km/hr</li> <li>▪ #</li> <li>▪ #</li> </ul>	Cuadros comparativos de evaluación de datos.  Fichas técnicas de los equipos.
<b>Variable dependiente (Y1)</b>  <b>Mejorar la eficiencia en el uso de los equipos de producción y reducción de costos</b>	Eficiencia de los equipos de producción	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Evaluación de las fichas técnicas</li> <li>▪ Cumplimiento de producción</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ tn/día</li> </ul>	Tablas de análisis de datos.
	Costos de producción	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Costos de carguío y acarreo</li> <li>▪ Gastos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ \$/tn</li> <li>▪ \$</li> </ul>	Tablas de análisis de datos.

### **3.4. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **3.4.1. Tipo de investigación**

El estudio desarrollado es del tipo aplicada ya que permite evaluar y validar los conocimientos teóricos de que la implementación de los indicadores de gestión mejoran la productividad y permiten medir los resultados en el área de operaciones de la empresa Summa Gold Corporation S.A.C.

#### **3.4.2. Nivel de Investigación**

El nivel de la investigación es descriptivo, debido a que estudia la influencia de la implementación de indicadores de gestión en la mejora de la productividad de los equipos; relacionando las dos variables principales y finalmente describe los resultados obtenidos.

#### **3.4.3. Diseño de Investigación**

“... El término diseño se refiere al plan o estrategia concebida para obtener la información que se desea.”<sup>7</sup>

Para este estudio el diseño es no experimental - transversal, ya que el investigador no influye directamente en la modificación de la variable independiente y los datos se analizan en un determinado periodo, a partir de la cual se evalúa su incidencia e interrelación en los resultados posteriores; consiste en realizar la implementación de los indicadores de gestión para mejorar la eficiencia en el uso de los equipos de producción y reduciendo los costos operativos en la Compañía Minera Summa Gold Corporation S.A.C.

---

<sup>7</sup> Roberto Hernández Sampieri (2010). Metodología de la investigación, cap. 7, pp. 120. México: McGrawHill

### 3.4.4. Población y Muestra

#### 3.4.4.1. Población

La población está representada por todas las medidas de rendimientos de los equipos de producción y el cumplimiento de los objetivos planteados, esta evaluación se realiza en el área de operaciones mina de la Compañía Minera Summa Gold Corporation S.A.C.

*Tabla 01: Rendimientos de los equipos*

TipoEquipo	Equipo	Rendimiento (tn/hr)	Porcentaje de Incidencia (%)
Volquetes	FMX8X4R	86	30%
Excavadora Producción	750DL	1045	11%
Excavadora Producción	349DL	780	10%
Cargador Frontal	L260H	638	8%
Excavadora Producción	374FL	973	8%
Cargador Frontal	L150H	366	6%
Excavadora Producción	374DL	982	5%
MotoNiveladora	12M	216	4%
MotoNiveladora	12M	342	3%
Excavadora Producción	374FL	983	1%
MotoNiveladora	140K	298	1%
MotoNiveladora	140K	236	0%
RetroExcavadora	420F	88	1%
RetroExcavadora	420F	79	1%
RetroExcavadora	420F	92	1%
RetroExcavadora	420F	90	1%
RetroExcavadora	420F	90	0%
RetroExcavadora	420F	88	0%
RetroExcavadora	420F	85	0%
RetroExcavadora	420F	89	0%
RetroExcavadora	420F	65	0%
RetroExcavadora	420F	73	0%
RetroExcavadora	420F	70	0%
RetroExcavadora	420F	68	0%
Tractor de Oruga	D8T	118	1%
Tractor de Oruga	D8T	124	1%
Tractor de Oruga	D7T	108	1%
Tractor de Oruga	D6T	98	1%
Tractor de Oruga	D6T	95	1%
Tractor de Oruga	D7R	105	4%
Tractor de Oruga	D6T	97	0%
Tractor de Oruga	D8T	126	0%
<b>Total general</b>			<b>100%</b>

Fuente: Elaboración del autor

### 3.4.4.2. Muestra

La muestra poblacional está representada por los equipos de carguío y acarreo, la selección se realiza mediante el método estadístico y se seleccionan los de mayor representatividad, además los que tienen influencia en el 73% de los costos totales. La muestra tomada se ha dado para un periodo de doce meses donde se incluye la pre y post implementación de los indicadores de gestión.

*Tabla 02: Muestra de rendimiento de equipos*

TipoEquipo	Equipo	Rendimientos técnicos (tn/hr)	Rendimiento (tn/hr)	Porcentaje de Incidencia (%)
Volquetes	FMX8X4R	92	86	30%
Excavadora	750DL	1050	1045	11%
Excavadora	349DL	850	780	10%
Cargador Frontal	L260H	850	638	8%
Excavadora	374FL	1000	973	8%
Cargador Frontal	L150H	650	366	6%

*Fuente: Elaboración propia*

### 3.4.5. Técnicas, Instrumentos de Recolección de Datos

La técnica que se utilizó para la recolección de información son las siguientes:

**3.4.5.1. Revisión Bibliográfica:** La base de toda investigación es tener bibliografía de referencia por lo que se investigó la información vinculada al tema de estudio esto incluye libros, informes, trabajos de investigación, tesis y se consultó a especialistas en el tema.

**3.4.5.2. Observación Directa:** Se realizó un conjunto de observaciones directas en el campo a través de visitas frecuentes al área de estudio, donde se pudo encontrar evidencias del cumplimiento de rendimientos de los

equipos de carguío y acarreo, así como el avance en el minado y cumplimiento del plan de producción semanal, mensual.

La toma de datos de campo se ejecutó mediante un mapeo de todos los indicadores de gestión y el cumplimiento de estas en campo.

#### **3.4.6. Forma de Tratamiento de los Datos**

Los datos obtenidos en campo fueron ordenados, procesados e interpretados, los resultados obtenidos determinan la influencia que tiene la implementación de indicadores en el incremento de la productividad o rendimiento de los equipos en el área de operaciones mina.

En esta parte de la investigación se realizó el diagnóstico inicial de los indicadores de gestión, con una línea base se implementa nuevos indicadores y se controlan hasta alcanzar los niveles técnicos de fábrica.

#### **3.4.7. Instrumentos de recolección de datos**

Los instrumentos de recolección de datos están al alcance del investigador, básicamente son:

##### **Formatos**

- Hoja de recopilación de rendimientos de equipos, aquí se registraron los rendimientos de todos los equipos y se hizo un cuadro comparativo con las fichas técnicas de los equipos.
- Planes mensuales

##### **Equipos**

- Computadora, Memoria USB, Impresora

##### **Software**

- Microsoft Office (Excel, Word)

## CAPÍTULO IV

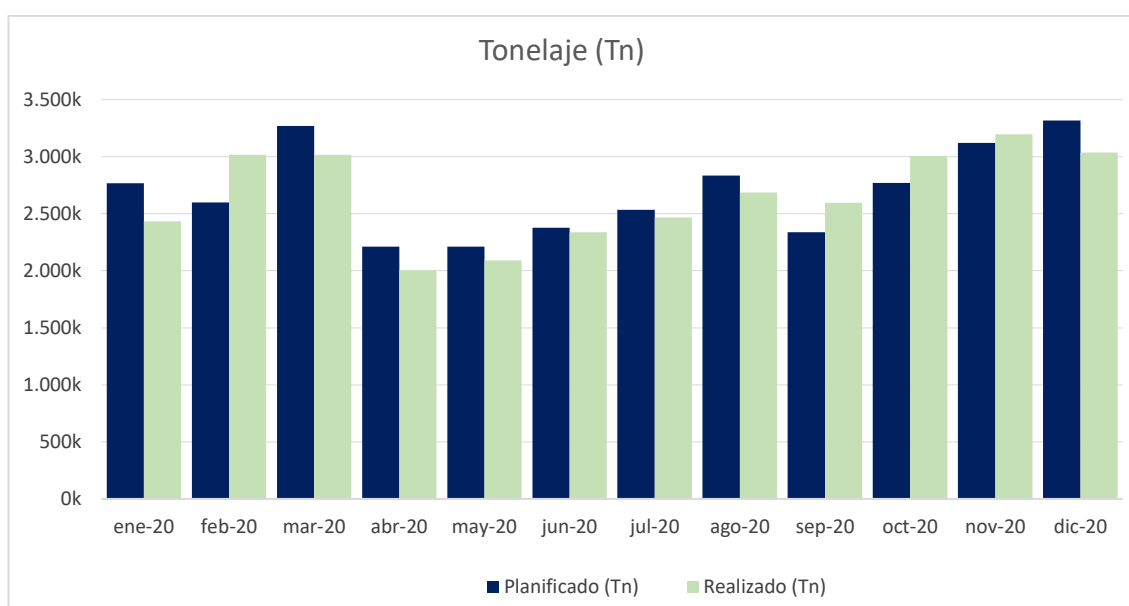
### RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

#### 4.1. Descripción de la realidad

En la Compañía Minera Summa Gold Corporation SAC, la mejora continua es el principal pilar en cada uno de los procesos de la organización por lo que se alienta a los profesionales a identificar oportunidades de mejora que posteriormente son evaluados e implementados.

Durante este proceso se ha identificado que en las condiciones actuales existen dificultades para el cumplimiento de la producción, por lo que se realiza el análisis de causas donde se concluye que existen factores operativos relacionadas a los equipos y su desempeño, así como a los factores de gestión y administración, que no están siendo medidos y controlados adecuadamente, esto no permite el cumplimiento de las metas trazadas.

**Figura N° 11: Cumplimiento de Producción**



**Fuente:** Elaboración propia



En el gráfico se muestra la producción planificada y ejecutada de manera mensual durante el año 2020, observamos que, en la mayoría de los meses, no se ha alcanzado la producción planificada, obteniéndose un porcentaje de cumplimiento del 96%, lo que genera la disminución de las ganancias anuales, esto conlleva a evaluar estrategias que mejoren el desempeño de cada factor que interviene para su cumplimiento.

Para ello, primero se realiza el mapeo de todos los Indicadores de Gestión existentes en el área de operaciones mina, estableciéndose una línea base a partir de la cual se evaluará la implementación de nuevos indicadores, además de llevar un mejor control en la operación.

Los primeros indicadores identificados son los de producción: Cumplimiento de producción (tn). Continuando con el mapeo de indicadores, se identifica una categoría importante referente a los indicadores de mantenimiento: disponibilidad de equipos (%), utilización (%), MTTR y MTBF que actualmente no se controlan; tampoco hay registros del control del performance de equipos: Rendimiento horario (tn/hr), velocidad de acarreo (km/hr), dimensionamiento de flotas (und), determinación del Match Factor, así como mejorar los tiempos de carguío y reducción de demoras de volquetes al inicio de guardia; en la categoría de costos no se identifican indicadores de control de costos de producción (tn/hr).

**Tabla 02:** Mapeo de Indicadores

Indicadores	Unidad	Planificado	Realizado	%
<b>Indicadores de Producción</b>				
Producción	tn	Existe	Existe	Existe
<b>Indicadores de Mantenimiento</b>				
Disponibilidad	%	No existe	No existe	No existe
Utilización	%	No existe	No existe	No existe
MTRR	Und	No existe	No existe	No existe
MTBF	Und	No existe	No existe	No existe
<b>Performance de Equipos</b>				
Rendimiento de Carguío	tn/Hr	No existe	No existe	No existe
Velocidad de acarreo	km/hr	No existe	No existe	No existe
Dimensionamiento de Flotas	Und	No existe	No existe	No existe
Match Factor	Und	No existe	No existe	No existe
<b>Indicadores de costos</b>				
Costos de acarreo	\$/tn	No existe	No existe	No existe
Costos de carguío	\$/tn	No existe	No existe	No existe

*Fuente: Elaboración propia*

En la tabla 02, de mapeo de indicadores se puede observar que no hay un control detallado de indicadores, por lo que se registran los principales y se agrupan por categorías.

#### 4.2. Determinación e implementación de Indicadores de Gestión

Como en toda industria, las empresas buscan reducir costos y alcanzar la máxima productividad.

En Summa Gold Corporation SAC, la implementación de Indicadores de Gestión se realiza ante la necesidad de tener el control de las principales actividades de operaciones mina, siguiendo la ideología de William Thomson Kelvin “Lo que no se define no se puede medir. Lo que no se mide, no se puede mejorar. Lo que no se mejora, se degrada siempre”.

Así también se toma en consideración la metodología SMART, es una técnica muy utilizada en la evaluación de indicadores, a continuación, se define cada uno de ellos:

- Específico: El indicador debe seguir una lógica clara y objetiva.
- Medible: Deben ser cuantificables, preferiblemente expresado en números.
- Alcanzable: Los objetivos deben ser realistas y estar al alcance de la persona responsable del indicador.
- Realista: Se debe proporcionar una idea clara de los objetivos previstos.
- Oportuno: El tiempo para alcanzar los objetivos debe determinarse desde un primer momento.

Estas condiciones nos llevan a evaluar cada uno de nuestros subprocesos dentro de operaciones mina, clasificarlos en 5 grandes grupos que a continuación se describen y desarrollan cada una de ellas, además de las condiciones que motivaron su implementación y control.

#### **4.2.1. Evaluación de indicadores de producción**

Este tipo de indicador es importante en cualquier empresa, permite medir la capacidad que tiene cada compañía y/o institución, de producir un bien o servicio.

En Summa Gold Corporation SAC, medir la producción de mineral equivale a medir la producción de onzas de oro; donde cada tonelaje de mineral producido es equivalente a 0.423 gr de oro, he ahí la relevancia de controlar este indicador.

La información para este indicador es de fácil acceso debido a que se encuentra en la base de datos del sistema KPI de Summa Gold Corporation SAC, estos datos son generados por la sumatoria de cada viaje que realizan los volquetes; un viaje es considerado desde el momento que el volquete es cargado con material en el punto de carguío, denominado como origen, el transporte hasta el botadero o pad, denominados puntos de descarga y su retorno hasta el punto de carguío.

Fórmula para el cálculo del ciclo de acarreo:

$$T_t = t_c + t_{tc} + t_d + t_{rv} \dots \dots \dots (1)$$

Donde:

$T_t =$  *Tiempo Total*

$t_c =$  *Tiempo de carguío*

$t_{tc} =$  *Tiempo de transporte cargado*

$t_d =$  *Tiempo de descarga*

$t_{rv} =$  *Tiempo de retorno vacío*

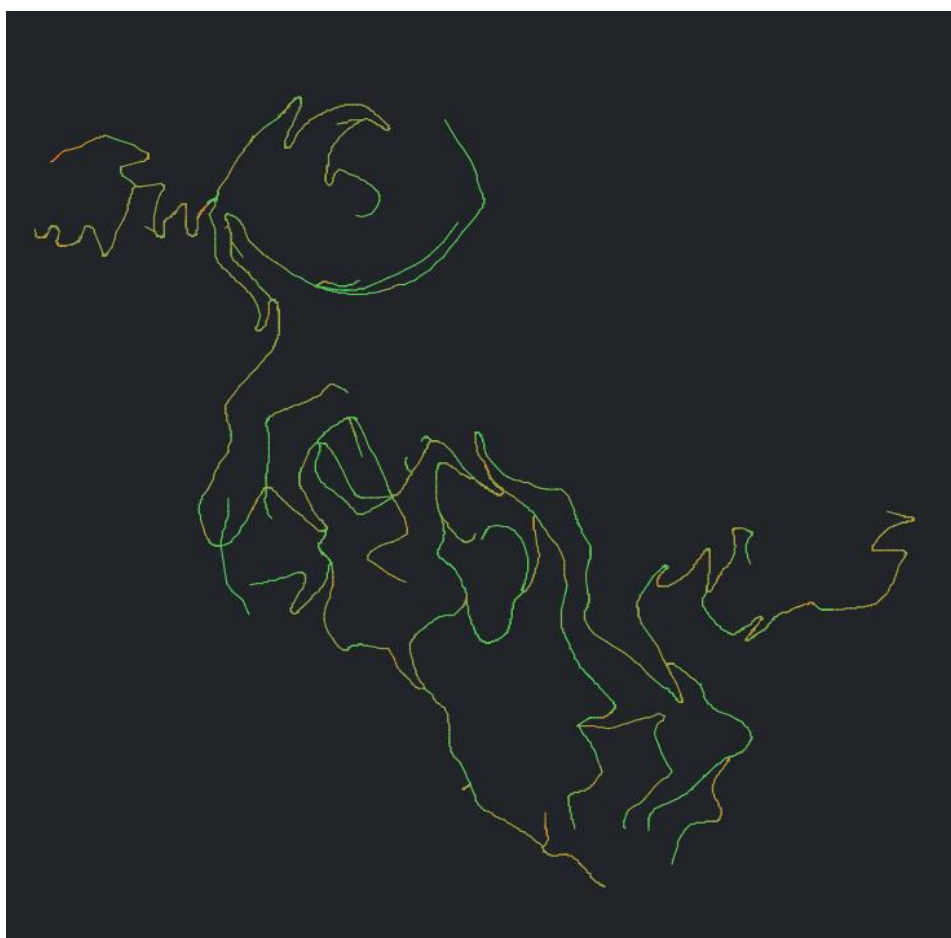
La medición de cada viaje se realiza mediante el registro de posicionamiento de los volquetes, esta información son captados por gps instalados en el sistema de los equipos, a su vez permite visualizar la ubicación del equipo de acareo dentro un plano de rutas de acarreo (Ver figura 12).

Si bien el registro de la información que generan los gps, se realiza cada 30 segundos y se almacena en la base de datos del sistema, sin embargo, la dificultad se encuentra en que el procesamiento de esta información se realiza con una guardia de retraso (12 horas después de finalizada la guardia), por lo que no se puede llevar el control de la producción en tiempo



real, el periodo de control mínimo que se puede implementar es de forma diaria, lo que facilita al responsable de mina, jefes de guardia, analistas, Dispatcher, etc. a realizar una proyección sobre los resultados de la guardia, controlando el desempeño en el día a día, además ayudará a buscar estrategias para cumplir con la producción planificada.

**Figura 12:** Rutas de acarreo de material



*Fuente: Plano de SUMMA GOLD CORPORATION*

La forma de cálculo de la producción es la siguiente:

$$\text{Producción} = \sum \text{número de viajes} * \text{tonelaje de volquete}$$

El tonelaje de cada volquete se determina de la siguiente manera:

$$\text{Tonelaje de volquete} = V * Fc * H * \rho$$

Donde:

$V = \text{Volumen del volquete}$

$Fc = \text{Factor de carga del volquete}$

$\rho = \text{Densidad de material transportado}$

$H = \text{Humedad del material transportado}$

En Summa Gold Corporation SAC, la capacidad de tolva de los volquetes es de 24 m<sup>3</sup>, por lo que el tonelaje que transporta cada equipo de acarreo es el siguiente:

$$\text{Tonelaje de volquete} = 24\text{m}^3 * 0.95 * 0.96 * 1.64 \text{tn}/\text{m}^3$$

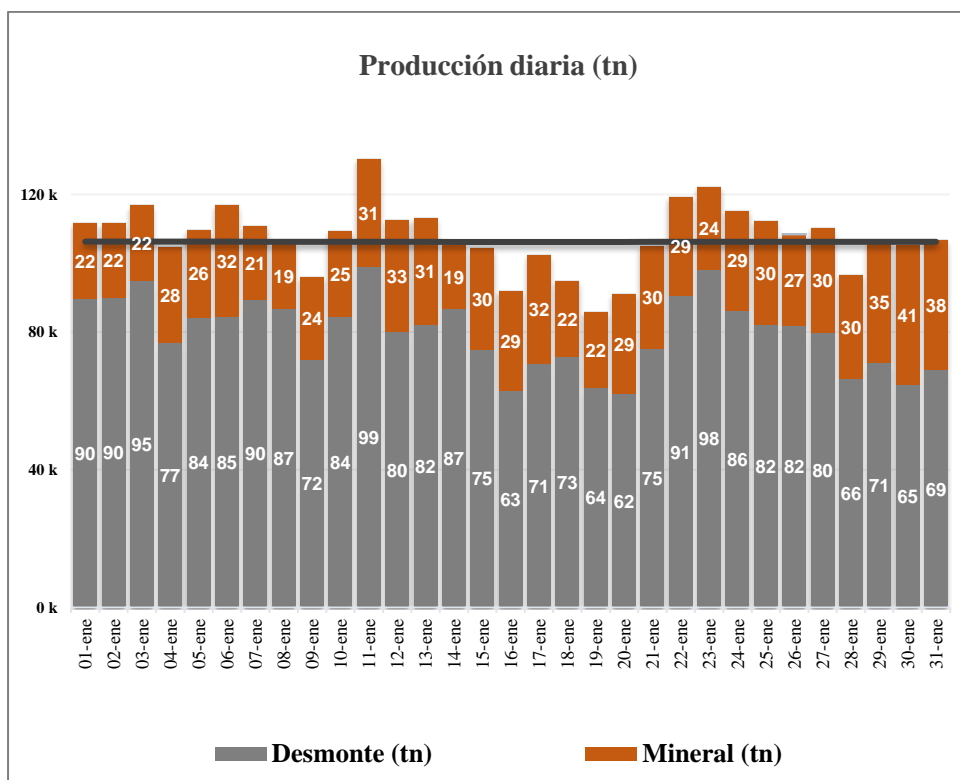
$$\text{Tonelaje de volquete} = 35.9 \text{tn}$$

El tonelaje que transporta cada volquete es de 35.9 tn, conociendo esta información, solo se necesita determinar el número de viajes realizados durante cada guardia para calcular la producción del día.

Para mejorar el performance y llevar un control adecuado del indicador, la frecuencia de monitoreo se realiza de forma diaria, por lo que se nota que desde su implementación ya estamos mejorando al reducir el periodo de monitoreo de una semana a diaria.

A continuación, detallaremos la evolución del cumplimiento de la producción después de su implementación.

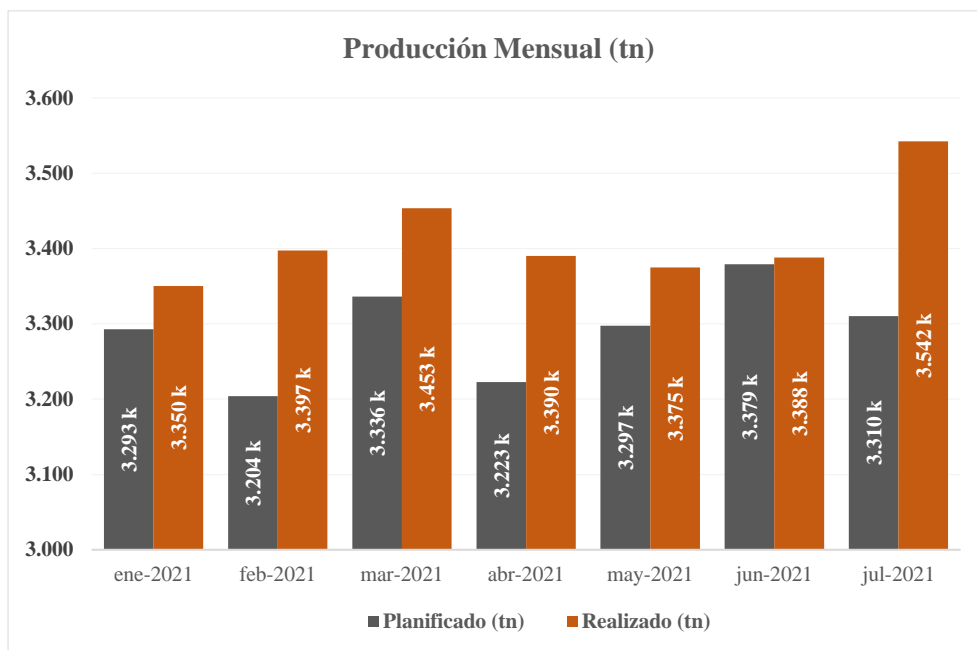
**Figura 13:** Cumplimiento de la producción diaria



*Fuente: Elaboración propia*

En la figura 13, se muestra una mejora significativa en el cumplimiento de la producción, como resultado del mes, el porcentaje de cumplimiento es del 102%, lo que significa que 22 de los 31 días se superó la producción planificada, esto ha contribuido a superar la meta programada del mes, lo que se busca es que este resultado sea sostenible en el tiempo, lo cual se verá en el control mensual.

**Figura 14:** Cumplimiento de la Producción mensual



*Fuente: Elaboración propia*

La figura 14, nos muestra el cumplimiento de la producción mensual, después de la implementación y control diario del indicador, se observa una mejora significativa del 4% por encima de lo planificado.

En base a los buenos resultados este indicador debe ser estandarizado en la operación, con una frecuencia de control diaria, claramente ayuda a alcanzar nuestros objetivos estratégicos en el largo y corto plazo, además permite comprender mejor la situación actual y evaluar la efectividad del Indicador.

#### **4.2.2. Evaluación de indicadores de mantenibilidad**

Los indicadores de mantenimiento miden la calidad de las operaciones para alcanzar los objetivos de mantenimiento planteados, el objetivo es reducir el tiempo de inactividad de los equipos, controlar las demoras mecánicas,



evaluar la efectividad del mantenimiento preventivo y correctivo. Son indicadores de referencia que monitorea la evolución del equipo a lo largo del tiempo, que ponen de manifiesto en qué punto se encuentra el equipo y qué se debe hacer para alcanzar los objetivos planteados. Además, son un buen apoyo para definir el camino hacia la mejora continua de toda operación.

Existen indicadores que son utilizados con mayor frecuencia basado en las estrategias que quiere alcanzar cada empresa.

En Summa Gold contamos con flotas de volquetes FMX 8X4R, excavadoras Caterpillar 374FL, Volvo EC750E, cargador 260L y cargador L150H, el objetivo es maximizar la disponibilidad de estos equipos, alcanzar su máxima utilización, monitorear el tiempo medio de fallas y el tiempo medio de reparación de estos, reduciendo los tiempos de demoras mecánicas; estos indicadores ayudarán a mejorar la efectividad y la eficiencia de los equipos. Teniendo en claro el objetivo de estos indicadores se procede a definir, implementar y controlar cada uno de ellos.

#### **4.2.2.1. Disponibilidad**

La disponibilidad se define como el tiempo en el que los equipos se encuentran listos para realizar trabajo. Este concepto abarca para todo tipo de industria, por lo que, la forma de cálculo será la misma, sin embargo, para un mejor análisis debe ser diferenciado por tipo, e incluso debe ser realizado por cada equipo.

La forma de cálculo es el siguiente:

$$Disponibilidad = \frac{Horas\ Totales - Horas\ de\ Mantenimiento}{Horas\ Totales} \dots\dots\dots(2)$$

**Figura 15:** Distribución de tiempos



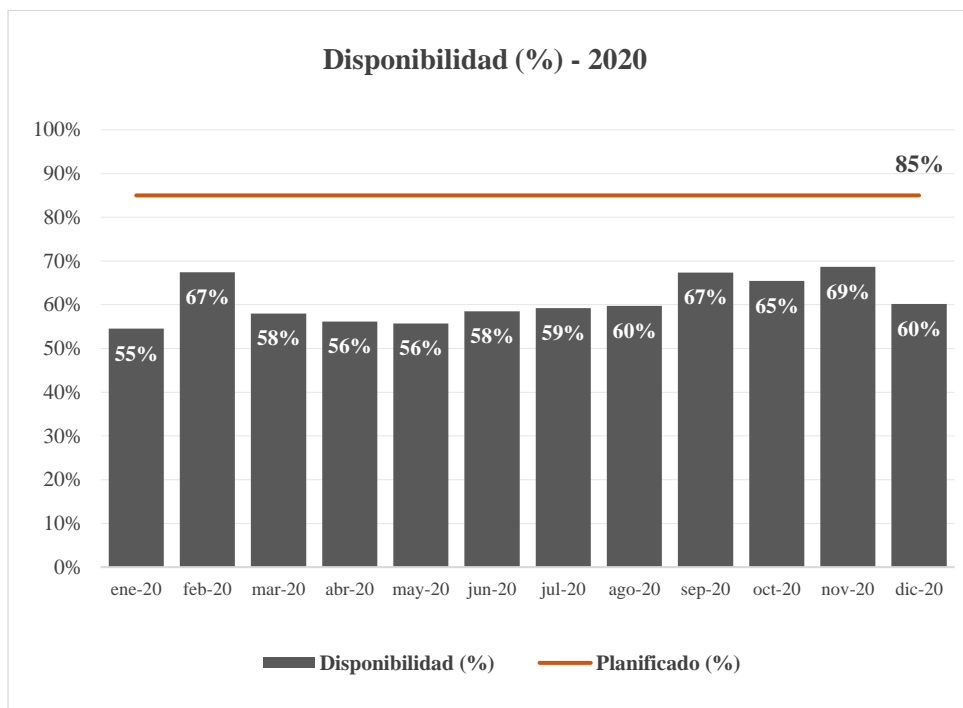
*Fuente:* <https://www.sistemasoe.com/calculo-oee-avanzado/>

En la figura 15, se explica gráficamente la distribución de los tiempos disponibles y tiempos de uso de los equipos, esto permite realizar una interpretación rápida del indicador.

De una evaluación inicial de la disponibilidad de los equipos de acarreo y de carguío, en Summa Gold Corporation se observa que los resultados no son favorables, perjudicando el cumplimiento de las metas de producción planteadas, además del incremento de los costos operativos, por lo que es necesario implementar un control estricto de este indicador que busca asegurar la calidad exigible del trabajo, a un mínimo costo, asegurando la seguridad del personal al momento de hacer uso de los equipos y con un bajo impacto ambiental.

A continuación, se muestra un resumen mensual de la disponibilidad antes de plantear una frecuencia de control del indicador.

**Figura 15:** Disponibilidad de volquetes antes de la implementación del indicador.



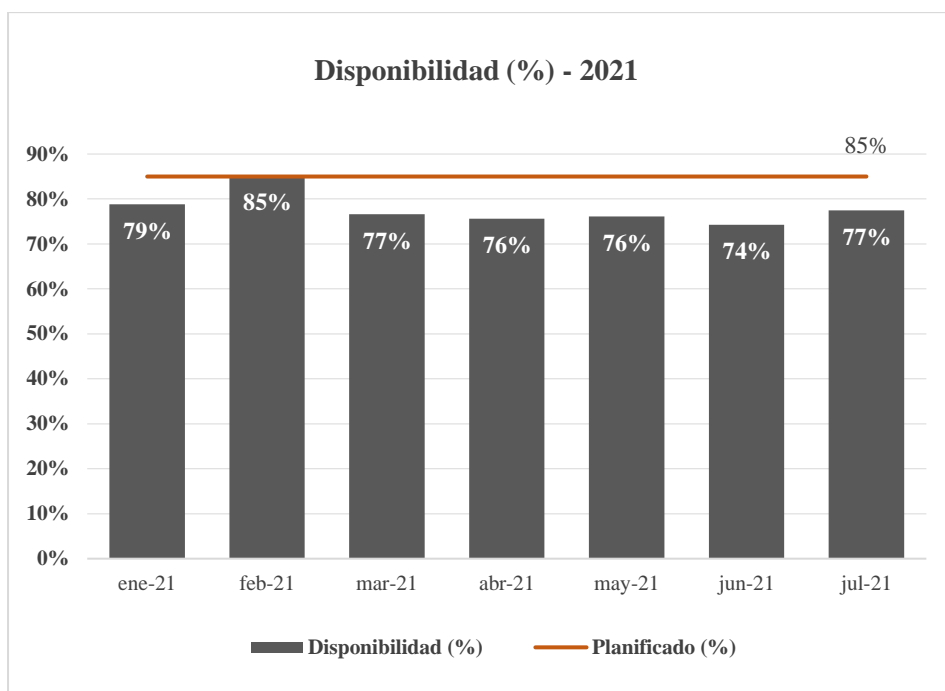
*Fuente: Elaboración propia*

En la figura 15, nos muestra un análisis de la disponibilidad de los volquetes, se realiza un comparativo respecto al planificado.

Los resultados de la evaluación de este indicador, muestra que el promedio de la disponibilidad de los volquetes antes del periodo de implementación del indicador es del 61%, claramente por debajo del objetivo planteado que es del 85%.

Después de la implementación de este indicador se puede observar una mejora considerable en los resultados de la disponibilidad, el incremento es del 28% en un periodo de 6 meses, pasando del 61% al 78% en promedio, acercándonos al objetivo planteado. Los beneficios de esto se han visto en el incremento de la producción y en la reducción de los costos (Ver figura 16).

**Figura 16:** Disponibilidad de los volquetes después de la implementación del indicador



*Fuente: Elaboración propia*

Debido a la notable mejora del indicador se continuará monitoreando los resultados de forma semanal.

De la misma manera que el control se ha implementado para los volquetes, también se realiza en los equipos de carguío. A continuación, los resultados del antes y después del indicador implementado (Ver tabla 03).

**Tabla 03:** Evolución de la Disponibilidad de los equipos de carguío antes de la implementación del indicador

Equipos	Ene-20	Feb-20	Mar-20	Abr-20	May-20	Jun-20	Jul-20	Ago-20	Set-20	Oct-20	Nov-20	Dic-20	Promedio
Excavadora 750DL	515	531	638	532	411	508	532	426	358	224	292	573	462
Disponibilidad (%)	76%	86%	94%	81%	60%	77%	78%	62%	54%	33%	44%	84%	69%
Excavadora 374FL	562	552	587	500	0	0	0	404	379	542	408	363	478
Disponibilidad (%)	82%	90%	86%	76%	0%	0%	0%	59%	57%	80%	62%	53%	72%
Cargador L260H	305	575	0	0	313	474	313	549	610	421	520	507	459
Disponibilidad (%)	45%	93%	0%	0%	46%	72%	46%	81%	92%	62%	79%	74%	69%

*Fuente: Elaboración propia*

En la tabla 03, los resultados de la disponibilidad de los equipos de carguío antes de establecer un indicador que permita llevar un control minucioso, los resultados se encuentran por debajo del objetivo establecido, siendo para excavadoras del 85% y cargadores 80%, en este caso el performance de las excavadoras 750DL, 374FL y cargador L260H, las disponibilidades reales son de 69%, 72% y 69%, respectivamente.

Por lo que establecen planes de acción que permitan mejorar estos resultados además de implementar un control semanal. En el siguiente periodo de análisis se observa una mejora significativa, alcanzando un 78%, 85% y 75% de disponibilidad para los equipos de carguío 750DL, 374 FL y L260H, respectivamente. La mejora es evidente alcanzando un 9% adicionales en promedio (Ver tabla 04).

**Tabla 04:** Resultados de la disponibilidad después de la implementación del indicador

Equipos		Ene-21	Feb-21	Mar-21	Abr-21	May-21	Jun-21	Jul-21	Promedio
Excavadora 750DL	Horas disponibles	621	564	548	535	591	172	593	461
	Disponibilidad (%)	91%	92%	80%	81%	87%	26%	87%	78%
Excavadora 374FL	Horas disponibles	568	523	656	524	552	507	620	510
	Disponibilidad (%)	83%	85%	96%	79%	81%	77%	91%	85%
Cargador L260H	Horas disponibles	219	546	566	484	500	434	278	462
	Disponibilidad (%)	72%	89%	83%	73%	73%	66%	69%	75%

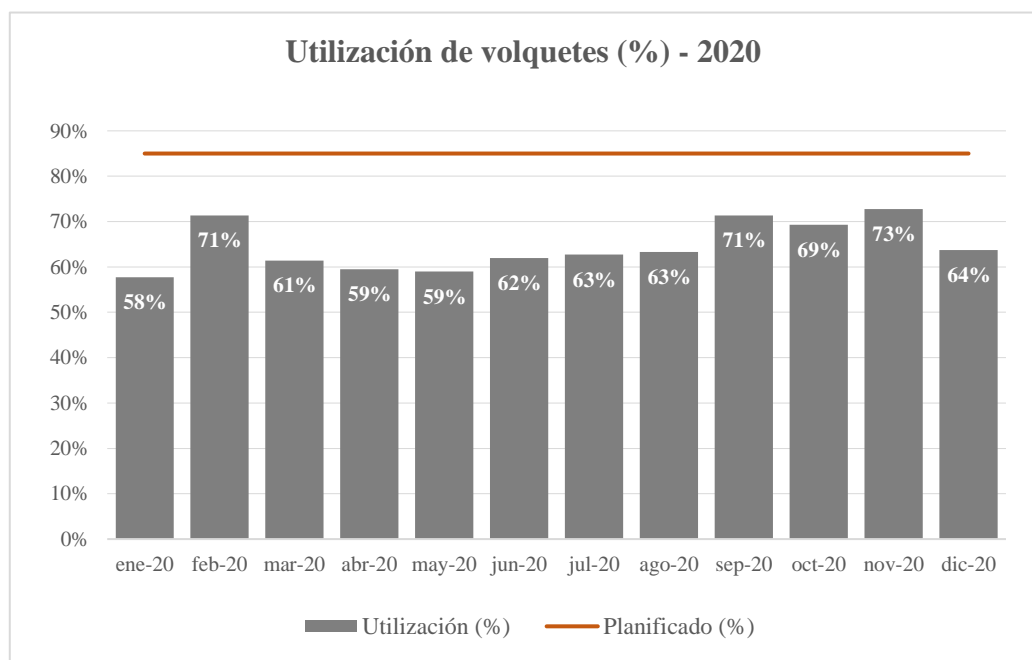
*Fuente: Elaboración propia*

#### 4.2.2.2. Utilización

Una vez definidas las horas disponibles de los equipos, este es el punto de partida para medir su utilización efectiva, es decir, buscar reducir las horas improductivas o demoras operativas, por lo consecuente el incremento de utilización efectiva.

En ese contexto los resultados de la utilización del equipo en el área de operaciones mina de Summa Gold Corporation, se encuentra por debajo del objetivo estimado, 85% (Ver figura 17).

Figura 17: Utilización de Volquetes antes de la implementación del indicador



*Fuente: Elaboración propia*

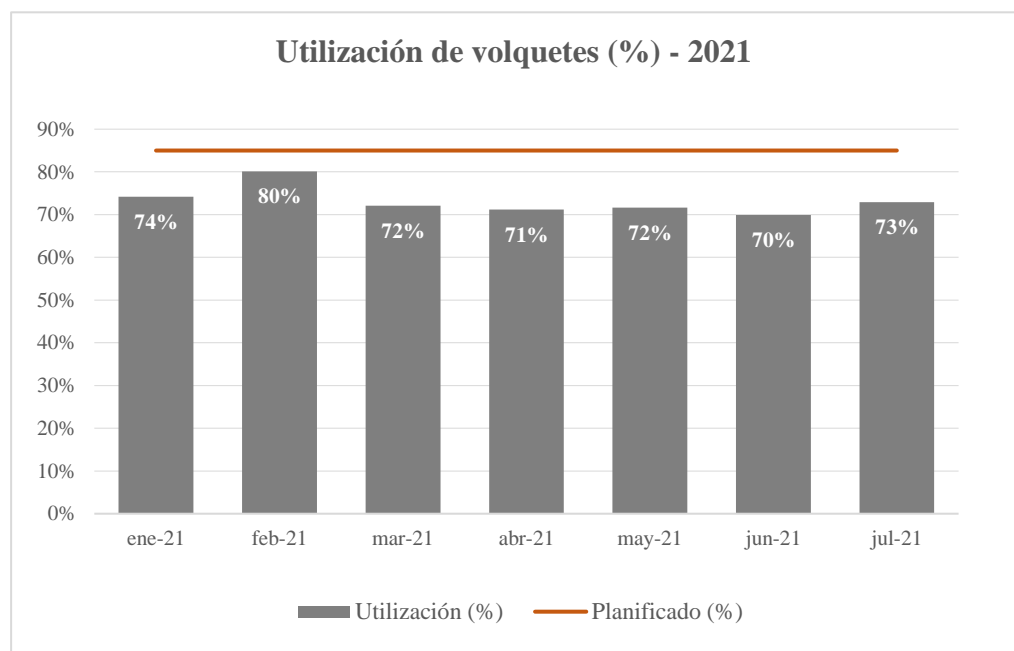
En la figura 17, el porcentaje promedio de utilización de los equipos es del 64%, bastante lejos del objetivo, para mejorar estos resultados se establecen estrategias enfocadas en reducir las demoras operativas y no operativas en el frente de trabajo.

- Se realiza el correcto dimensionamiento de las flotas tomando en cuenta el Match Factor Pala – Volquete.
- El apoyo de cargadores para la liberación de flotas en los inicios de guardia.

- Establecer velocidades mínimas de transporte vacío y cargado de los equipos de acarreo.
- Estandarización de las pendientes de las vías de acarreo, estas deben encontrarse por debajo del 12%.

Posterior a la implementación de estos planes de acción se ven mejoras en los resultados (Ver figura 17).

**Figura 18:** Resultados de la utilización de los equipos después de la implementación del indicador



*Fuente: Elaboración propia*

En la figura 18, se observa que los resultados mejoran notoriamente pasando del 64% al 73% de utilización, sin embargo, se continúa trabajando para alcanzar el 85% de utilización.

En general, los resultados del análisis de volquetes son favorables.

En el análisis de la utilización de los equipos de carguío, se miden los tiempos efectivos de carguío, los tiempos en que el equipo realiza trabajos auxiliares como: perfilado, conformación de su cama, limpieza de los carriles, todos estos contribuyen a la disminución de la efectividad en la realización del carguío (Ver tabla 05).

**Tabla 05:** Utilización de los equipos antes de la implementación del indicador

Equipos		Ene-20	Feb-20	Mar-20	Abr-20	May-20	Jun-20	Jul-20	Ago-20	Set-20	Oct-20	Nov-20	Dic-20	Promedio
Excavadora 750DL	Horas utilizadas	463	478	574	479	370	457	479	384	322	201	263	515	415
	Utilización (%)	79%	91%	99%	85%	63%	81%	82%	66%	57%	35%	47%	88%	73%
Excavadora 374FL	Horas utilizadas	275	517	0	0	282	427	282	494	549	379	468	457	413
	Utilización (%)	47%	98%	0%	0%	48%	76%	48%	85%	97%	65%	83%	78%	73%
Cargador L260H	Horas utilizadas	506	496	528	450	0	0	0	364	342	488	367	327	430
	Utilización (%)	87%	94%	91%	80%	0%	0%	0%	62%	61%	84%	65%	56%	75%

*Fuente: Elaboración propia*

En la tabla 05, la utilización alcanzada por las excavadoras, 750DL, 374FL y cargador L260H son de 73%, 73% y 75% en promedio.

En el caso de excavadoras se implementaron los siguientes planes de acción:

- Se implementa un cargador L120H para limpieza del área de carguío.
- Se implementa el minado masivo.
- Se implementa una excavadora exclusiva para perfilados.

En base a los anteriores se implementa el control de utilización de los equipos de carguío con una frecuencia de monitoreo semanal, los primeros resultados obtenidos de este periodo da la perspectiva que seguirá mejorando conforme se continúe controlando este indicador, mayor detalle se analizan en la tabla 06.



**Tabla 06:** Utilización de los equipos de carguío después de la implementación del indicador

Equipos		Ene-21	Feb-21	Mar-21	Abr-21	May-21	Jun-21	Jul-21	Promedio
Excavadora 750DL	Horas utilizadas	559	508	493	482	532	155	534	415
	Utilización (%)	96%	96%	85%	85%	91%	27%	92%	82%
Excavadora 374FL	Horas utilizadas	198	492	510	436	450	391	250	416
	Utilización (%)	74%	93%	87%	77%	77%	81%	76%	81%
Cargador L260H	Horas utilizadas	511	471	591	472	497	456	558	459
	Utilización (%)	88%	89%	95%	84%	85%	81%	96%	88%

*Fuente: Elaboración propia*

En la tabla 06, se muestran las utilizaciones promedio obtenidos por cada equipo de carguío, 750DL, 374FL y L260H con 82%, 81% y 88% respectivamente.

#### 4.2.2.3. Tiempo Medio entre Fallas (MTBF)

Representa el promedio del tiempo que transcurre entre dos averías en un mismo equipo. Cuanto más elevado sea el MTBF, más fiable es el funcionamiento de la máquina en cuestión o, por otras palabras, menor su downtime o tiempo de inactividad.

El cálculo se realiza en base a la diferencia entre el tiempo total disponible y el tiempo perdido, dividiendo por el número de paradas.

A continuación, la fórmula de cálculo.

$$MTBF = \frac{\text{Tiempo total Disponible} - \text{Tiempo de Inactividad}}{\text{Número de paradas}} \dots\dots\dots(3)$$

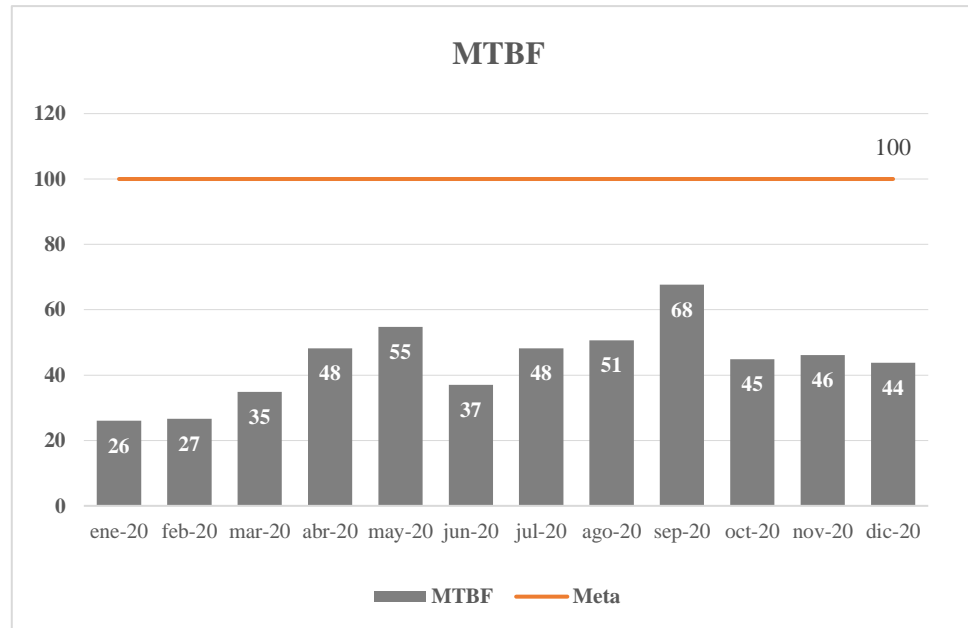
Donde:

- Tiempo total Disponible: Es el tiempo en que el equipo se encuentra listo para realizar trabajos, la frecuencia de medición puede ser diaria, semanal o mensual.

- Tiempo de Inactividad: Es el tiempo que el equipo se encuentra inoperativo.
- Numero de paradas: Es la cantidad de fallas que se han presentado durante cierto periodo.

Este control es nuevo en Summa Gold Corporation, el objetivo es alcanzar el máximo de horas disponibles, de tal manera de reducir el número de fallas, tanto de volquetes como de los equipos de carguío.

**Figura 19:** MTBF de los equipos antes de la implementación del indicador



*Fuente: Elaboración propia*

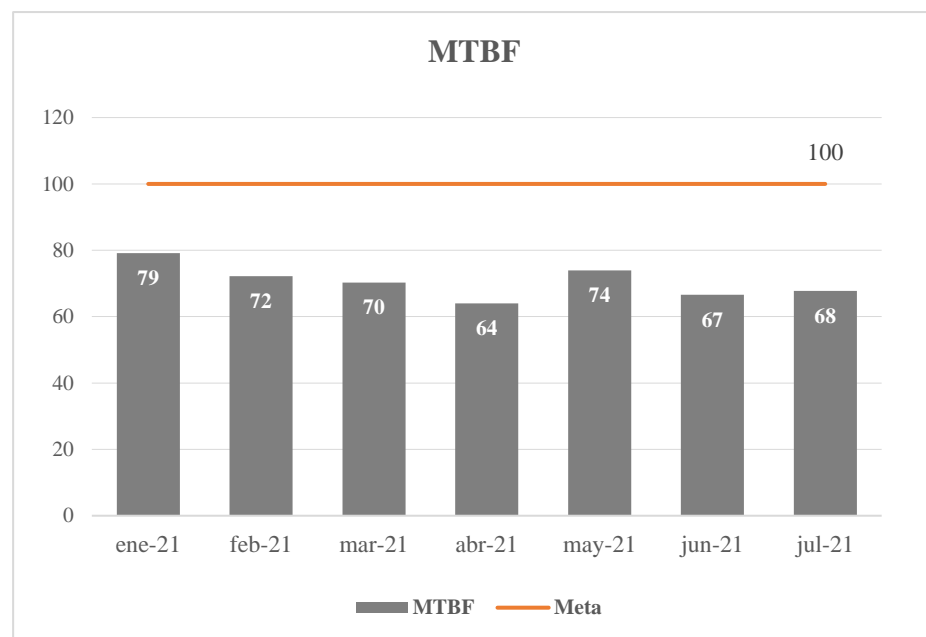
En la figura 19, el MTBF promedio es de 44 horas, lo que quiere decir que los equipos probablemente fallen en ese periodo, el resultado se encuentra muy por debajo de las horas mínimas estimadas, cada 100 horas en un mes.

Ante ello se establecieron controles como:

- Implementación de programas de mantenimiento preventivo.
- Mejorar la capacidad de respuesta del área de mantenimiento.
- Implementación del indicador MTBF y establecer un control semanal.

Después de ello se muestran los siguientes resultados.

**Figura 20:** Resultados del indicador MTBF, después de su implementación.



*Fuente: Elaboración propia*

En la figura 20, posterior a la implementación del indicador y su control semanal, el MTBF promedio es de 71 horas, hay un incremento considerable del tiempo entre fallas de los equipos, representa un 61% de mejora.

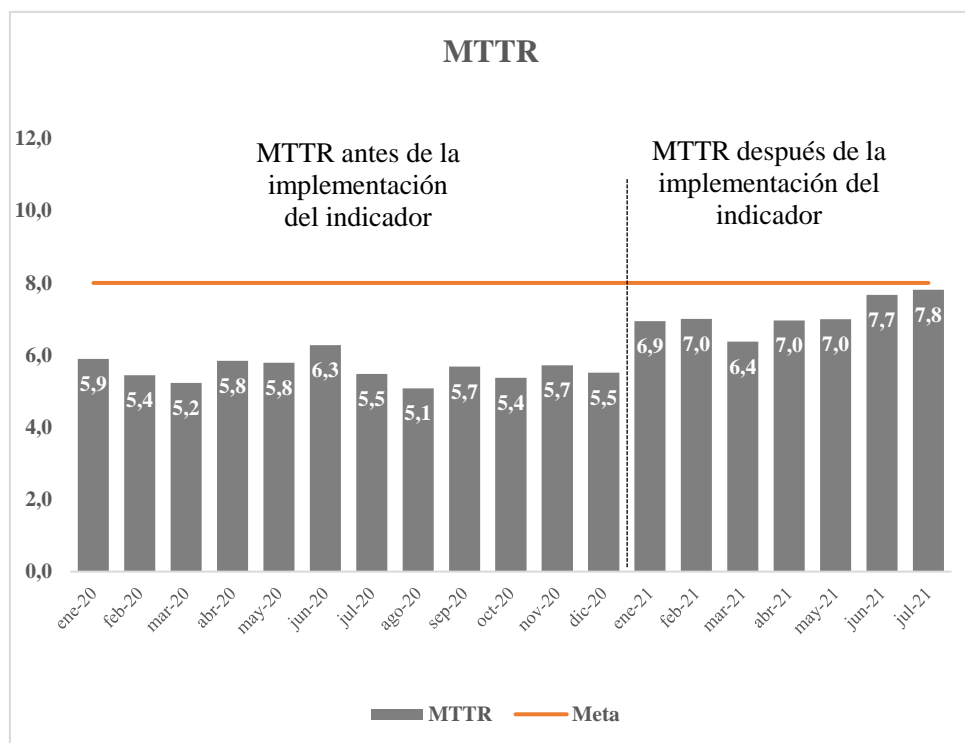
#### 4.2.2.4. Tiempo Medio entre Reparación (MTTR)

Este es un indicador que mide la eficacia de las reparaciones, y tiempo necesario para que los equipos vuelvan a funcionar normalmente.

En Summa Gold Corporation el objetivo es reducir el MTTR, un tiempo medio de reparación bajo, sugiere una rápida respuesta del área de mantenimiento, por otro lado, un tiempo medio de reparación elevado, puede indicar que la sustitución de un activo es mas barato o preferible que la reparación.

Este indicador es nuevo, por lo que los primeros datos han sido estimados,

**Figura 21:** MTTR mensual



**Fuente:** Elaboración propia

En la figura 21, se observa los resultados del MTTR, antes y después de la implementación de este indicador. Durante el primer periodo de implementación el MTTR es de 5.6 horas en promedio, lo que significa que un equipo será reparado en ese tiempo. Después de la implementación del indicador, se nota un incremento del 27% en el tiempo medio de reparación,

siendo 7.1 horas en promedio. Si bien hay un incremento, cuando la finalidad es disminuir los resultados de este indicador, sin embargo, debe considerarse que las horas de trabajo de los equipos, para este periodo es mayor pasando de 46,384 horas en promedio a 60,249 horas, por lo tanto, el incremento del tiempo medio de reparación se justifica.

#### **4.2.3. Performance de Equipos**

Este tipo de indicadores han sido definidos en base a la necesidad de la operación, busca mejorar el desempeño de los equipos al realizar trabajos, incrementando la eficiencia de estos.

Se ha tomado en cuenta los datos técnicos de los equipos, así como las condiciones operacionales.

##### **4.2.3.1. Rendimiento de carguío**

Este indicador no estaba mapeado en el sistema de Summa Gold Corporation, sin embargo, es de gran importancia para controlar la eficiencia de los equipos de carguío.

Se mide en base al tonelaje de producción horario de cada equipo. Los factores que influyen para el cálculo de este indicador es el tiempo que toma cada pase, las condiciones del área de carguío, condiciones de material (Fragmentado, material no fracturado, etc.), actividades auxiliares asociadas al carguío.

La fórmula de cálculo es el siguiente:

$$RC = \frac{\# \text{Volquetes cargados} \times \text{Tonelaje volquete}}{\text{Tiempo de Carguío}} \dots\dots\dots(4)$$

- El número de volquetes cargados va a depender del tiempo que demora cada pase y la capacidad de la tolva del volquete, a mayor capacidad de tolva mayor número de pases (Ver tabla 07). Para el caso de estudio se trabaja con volquetes de 24 m<sup>3</sup>.

**Tabla 07:** Relación de capacidad de cucharón con el número de pases

Equipos	Marca	Modelo	Capacidad de cucharón (m <sup>3</sup> )	Tiempos de pase (s)	# pases
Excavadora	Caterpillar	374 FL	5 m <sup>3</sup>	20 s	5
Excavadora	Volvo	EC750E	5.16 m <sup>3</sup>	18 s	5
Cargador	Volvo	L260H	6 m <sup>3</sup>	28 s	4
Cargador	Volvo	L150H	4 m <sup>3</sup>	25 s	6

Fuente: Elaboración propia

- El tonelaje del volquete se entiende como la capacidad de transporte que tiene el equipo de acarreo, para el cálculo intervienen múltiples factores como: Volumen de la tolva, factor de llenado de la tolva, densidad del material transportado, humedad del material.

$$Tn = Vcx Fcx Hx \delta \dots\dots\dots(5)$$

Donde:

Tn: Tonelaje de volquete

Vc: Volumen de volquete

Fc: Factor de llenado

H: Humedad

δ: Densidad de material fragmentado

$$Tn = 24m^3 \times 0.96 \times 0.95 \times 1.64 \frac{tn}{m^3}$$

$$Tn = 35.9 \text{ tn}$$

Por lo tanto, el tonelaje transportado por cada volquete es de 35.9 tn.

- Tiempo de carguío, es el periodo en el que se está realizando carguío de material, incluyen tiempo efectivo y demoras operativas.

Con los datos anteriores se calculan los rendimientos efectivos de los equipos de carguío, del análisis se determina que la efectividad del carguío es del 80% en promedio, debido a que durante la operación los equipos también realizan trabajos auxiliares asociadas al carguío (Ver tabla 08).

**Tabla 08:** Rendimiento efectivo del carguío

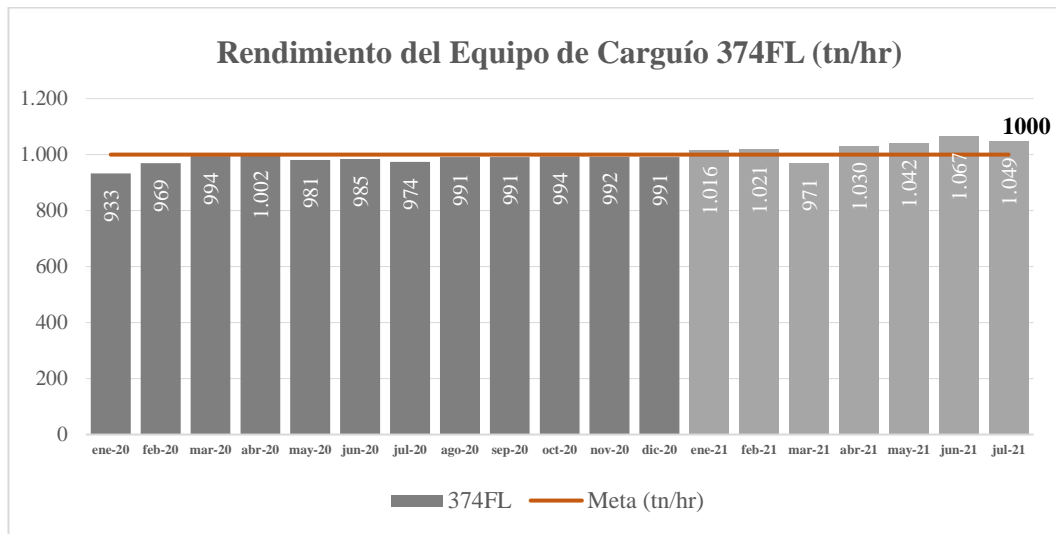
<b>Equipos</b>	<b>Marca</b>	<b>Modelo</b>	<b>Rendimiento efectivo (tn/hr)</b>
Excavadora	Caterpillar	374 FL	1000
Excavadora	Volvo	EC750E	1050
Cargador	Volvo	L260H	850
Cargador	Volvo	L150H	680

**Fuente:** Elaboración propia

En la tabla 08, se han determinado los rendimientos efectivos a partir de la cual se realizará el seguimiento continuo del indicador, a continuación, se mostrará el antes y después de la implementación.

Se realiza el análisis del rendimiento efectivo de la excavadora 374FL (Ver figura 22); durante la implementación del indicador, periodo 2020, se tiene un rendimiento promedio de 983 tn/hr con un cumplimiento del 98%, si bien este indicador nos muestra buenos resultados, sin embargo, posterior a la implementación del indicador se observan mejoras hasta de un 5% por encima del rendimiento efectivo establecido, alcanzando un promedio de 1,028 tn/hr, y con potencial de seguir mejorando conforme se va estandarizando y controlando.

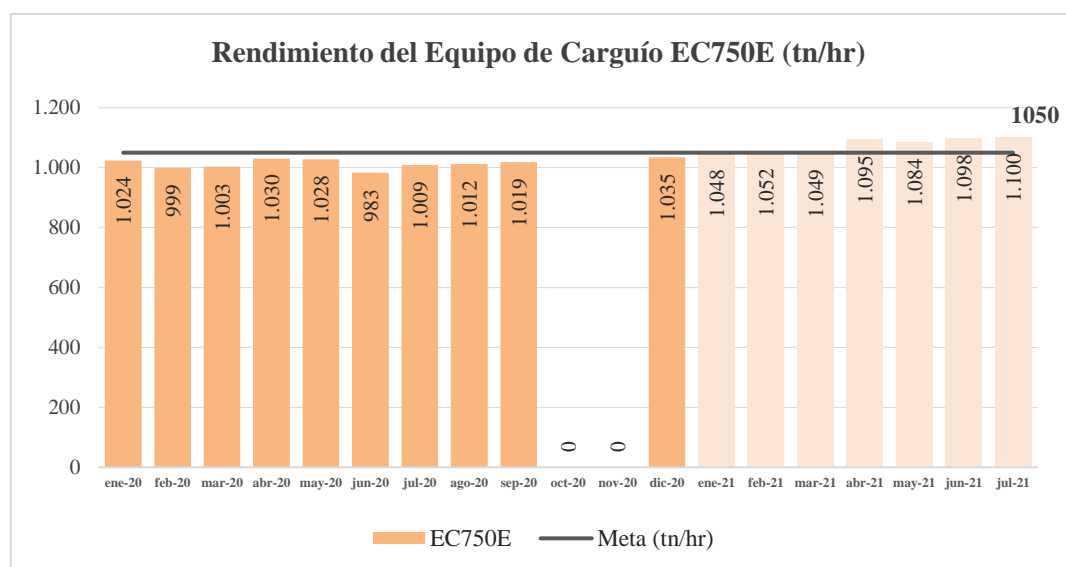
**Figura 22:** Evolución del rendimiento de la excavadora 374 FL



*Fuente: Elaboración propia*

En la figura 23, se evalúa el rendimiento efectivo de la excavadora EC750E; durante el periodo de implementación el resultado promedio es de 1,014 tn/hr, con un cumplimiento del 97% respecto a la meta establecida, posterior a la implementación del indicador este resultado alcanza el 102% respecto a la meta establecida, obteniendo un promedio de 1,075 tn/hr.

**Figura 23:** Evolución del rendimiento de la excavadora EC750E

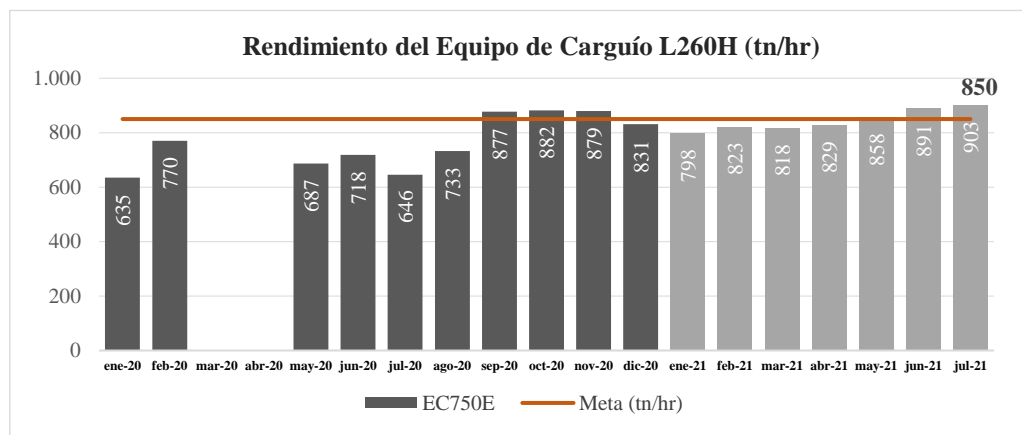


*Fuente: Elaboración propia*



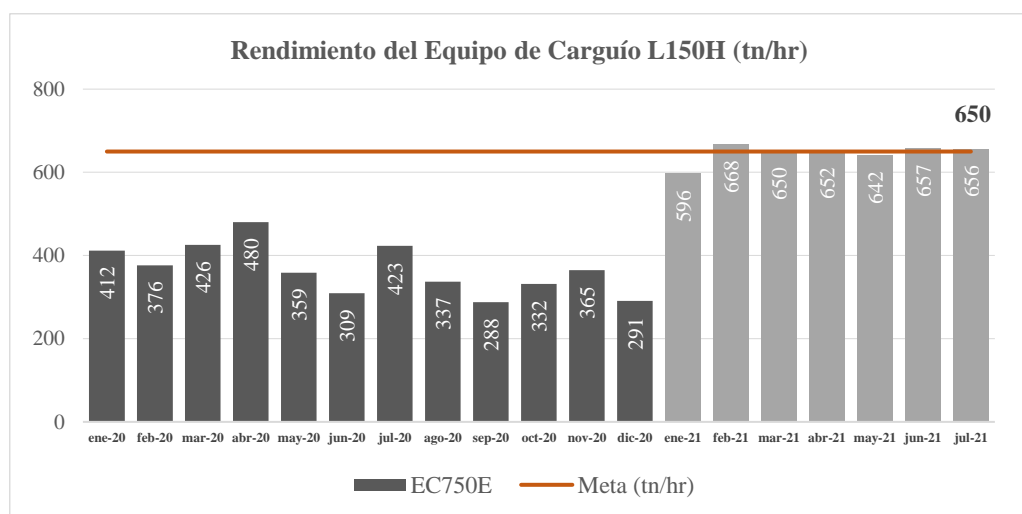
En las figuras 24 y 25, se muestran los rendimientos de los cargadores L260H y L150H, cuyas metas son 850 tn/hr y 650 tn/hr respectivamente, en ambos casos los rendimientos se encuentran muy por debajo de las metas, alcanzando 638 tn/hr y 366 tn/hr. Desde la implementación del indicador de enero del 2021 a Julio del 2021, se observa que este resultado a mejorado en ambos casos alcanzando un 99% de cumplimiento, que representa 845 tn/hr para el cargador L260H y 646 tn/hr para el cargador L150H.

**Figura 24:** Evolución del rendimiento del cargador L260H



*Fuente: Elaboración propia*

**Figura 24:** Evolución del rendimiento del cargador L150H



*Fuente: Elaboración propia*

#### 4.2.3.2. Velocidad de acarreo

La velocidad de acarreo se refiere a la rapidez con la que los volquetes transportan el material desde el tajo hasta los destinos de descarga, es medido en kilómetros por hora o sus equivalentes, lo que significa que a mayor velocidad de transporte, menor tiempo de acarreo, esto es beneficioso para la operación ya que permite realizar el mismo tonelaje de producción en un menor tiempo.

Por lo que es importante llevar un control de este indicador, la forma de cálculo es el siguiente:

$$v = \frac{d_r}{t_t} \dots\dots\dots(6)$$

$v$  = *velocidad de recorrido*

$d_r$  = *Distancia de recorrido*

$t_t$  = *Tiempo de transporte*

En Summa Gold Corporation, las vías de acarreo están sectorizadas por tramos las cuales tienen parámetros asociados, como distancias, pendientes (inclinación), ancho de vía, etc., estos influyen en el desarrollo de velocidades de los volquetes (Ver tabla 09).

El objetivo es alcanzar la máxima velocidad promedio, de esta manera se realizará una mayor producción en un mismo tiempo.



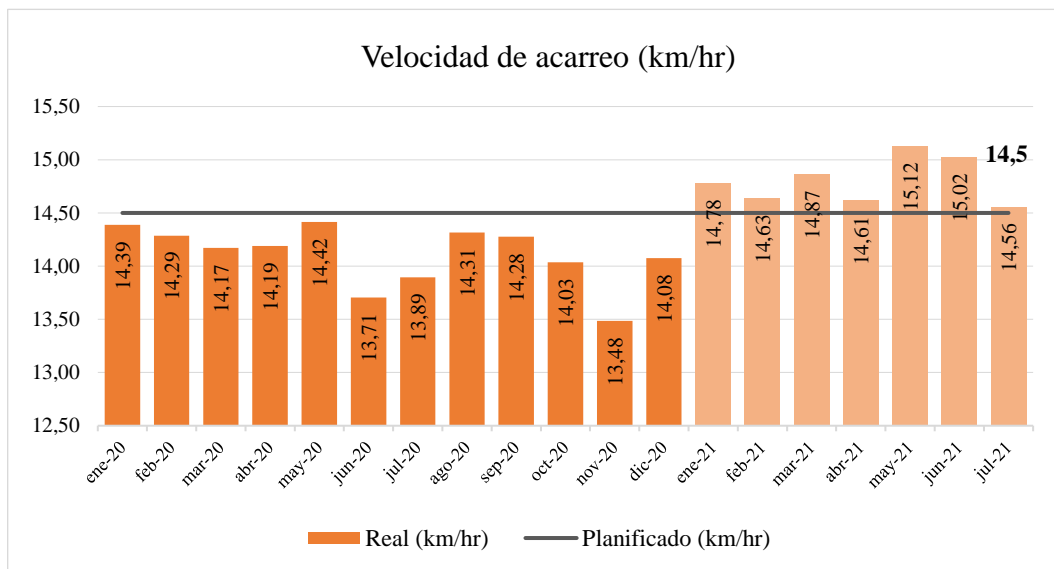
**Tabla 09:** Tramos de las vías asociados a la pendiente

TRAMO	PENDIENTE	VELOC
T-01	14%	11.073
T-02	13%	12.443
T-03	3%	16.982
T-04	11%	20.509
T-05	9%	17.841
T-06	10%	14.513
T-07	13%	15.005
T-08	8%	11.882
T-09	10%	15.936
T-10	6%	15.881
T-11	8%	21.553
T-12	13%	12.223
T-13	8%	17.365
T-14	11%	16.905
T-15	7%	15.460
T-16	8%	12.871
T-17	9%	12.902
T-18	11%	14.059
T-19	15%	16.407
T-20	11%	13.443
T-21	9%	14.986
T-22	19%	15.876
T-23	10%	16.282
T-24	10%	17.353
T-25	14%	13.315
T-26	13%	17.435
T-27	6%	18.792
T-28	15%	16.179
T-31	16%	13.150
T-32	8%	13.179
T-33	12%	14.925
T-34	13%	9.418
T-35	9%	13.299
T-36	2%	15.136
T-37	7%	15.630
T-38	7%	16.357
T-39	3%	14.940
T-40	16%	12.533
T-41	13%	15.162
T-42	23%	12.088
T-43	14%	12.562
T-44	11%	11.133
T-45	11%	13.197
T-46	11%	15.042
T-47	0%	18.521
T-55	12%	22.375
T-56	7%	24.571
T-57	9%	21.667
T-58	9%	18.292
T-59	11%	17.800
T-60	19%	15.786
T-61	14%	21.667
T-62	13%	20.789
T-63	6%	22.000
T-65	10%	17.556
T-66	0%	17.133
T-67	12%	17.056
T-68	13%	13.867
T-69	2%	17.533
T-70	7%	14.111
T-71	13%	14.793
T-72	14%	16.227
T-73	8%	17.857

*Fuente:* Base de datos de velocidades de Summa Gold Corporation

Las velocidades de acarreo calculadas mediante GPS instalados en los equipos de acarreo durante el periodo de implementación de este indicador y posterior a ello se muestran en la figura 24.

**Figura 24:** Histórico de velocidades de acarreo



*Fuente: Elaboración propia*

En el gráfico se muestra una clara mejora en la velocidad de acarreo desde la implementación de este indicador, el incremento ha sido del 4.8% respecto a los resultados obtenidos antes su implementación, el beneficio se ve reflejado en la mayor productividad de los equipos de acarreo.

#### 4.2.3.3. Dimensionamiento de Flotas

El dimensionamiento de flotas es importante en la operación, determina el número óptimo de volquetes asignados a un equipo de carguío. De esto va a depender que la excavadora llegue a su máxima productividad.

Para este caso se tomaron datos de campo como tiempos de carguío, tiempo de transporte del volquete vacío, tiempo de transporte cargado, tiempo de

descarga, demoras operativas, con lo cual se dimensionan las flotas para cada equipo de carguío.

**Tabla 10:** Ciclo total de acarreo

Equipo de Carguío		EC750	374FL	L260H	L150H
Capacidad de cucharón	m3	5.16	5	6	4
Capacidad de tolva	m3	24	24	24	24
Numero de pases	#	5	5	4	6
Tiempo de carguío	Min	1.43	1.83	2.13	3.5
Tiempo de traslado cargado	Min	19.2	19.2	19.2	19.2
Tiempo de descarga	Min	0.83	0.83	0.83	0.83
Tiempo de maniobras	Min	1.2	1.2	1.2	1.2
Tiempo de retorno vacío	Min	9.6	9.6	9.6	9.6
<b>Tiempo de ciclo</b>	<b>Min</b>	<b>32.3</b>	<b>32.7</b>	<b>33.0</b>	<b>34.3</b>

*Fuente:* Base de datos de ciclos

Con los datos anteriores se calculan el rendimiento de cada flota, así como el número óptimo de volquetes.

$$\#Camiones = \frac{\text{Rendimiento Excavadora}}{\text{Rendimiento volquete}} \dots\dots\dots(7)$$

- Para Excavadora EC750E

De la tabla 10 se toma los ciclos totales de los volquetes, con ello se realiza el calculo del rendimiento del volquete:

$$\text{Rendimiento volquete} = \frac{60 \text{ min}}{32.4 \text{ min}} \times 35.9 \text{ tn}$$

$$\text{Rendimiento volquete} = 66.76 \text{ tn/hr}$$

El rendimiento de los equipos de carguío se toman de la tabla 08

$$\#Volquetes = \frac{1,050 \text{ tn}}{66.76 \text{ tn}}$$

$$\# Volquetes = 15.73 \text{ volquetes}$$



Por lo que para la flota de la excavadora EC750E se requieren 16 volquetes para cumplir la producción planificada.

- Para la Excavadora 374FL

Se toman los ciclos de la tabla 10, para el cálculo del rendimiento del volquete:

$$\text{Rendimiento volquetes} = \frac{60 \text{ min}}{32.7 \text{ min}} \times 35.9 \text{ tn}$$

$$\text{Rendimiento volquetes} = 65.95 \text{ tn/hr}$$

Para el caso de la excavadora, el rendimiento se toma de la tabla 08.

$$\# \text{Volquetes} = \frac{1,000 \text{ tn}}{65.95 \text{ tn}}$$

$$\# \text{Volquetes} = 15.16 \text{ volquetes}$$

La flota de la excavadora 374FL debe contar con 15 volquetes para cumplir la producción planificada de este equipo.

- Para el cargador L260H

Como en los casos anteriores se toman datos de las tablas 08 y 10.

$$\text{Rendimiento volquetes} = \frac{60 \text{ min}}{33.0 \text{ min}} \times 35.9 \text{ tn}$$

$$\text{Rendimiento volquetes} = 65.35 \text{ tn/hr}$$

Cálculo del número de volquetes:

$$\# \text{Volquetes} = \frac{850 \text{ tn}}{65.35 \text{ tn}}$$

$$\# \text{Volquetess} = 13.01 \text{ volquetes}$$

Para esta flota se requieren 13 volquetes.

- Para el cargador L150H

Tomaremos datos de las tablas 08 y 10 para el cálculo de la flota.

$$\text{Rendimiento volquetes} = \frac{60 \text{ min}}{34.2 \text{ min}} \times 35.9 \text{ tn}$$

$$\text{Rendimiento colquetes} = 62.74 \text{ tn}$$

Cálculo del número de volquetes:

$$\# \text{ Volquetes} = \frac{650 \text{ tn}}{62.74 \text{ tn}}$$

$$\# \text{ Volquetes} = 10.36 \text{ volquetes}$$

Esta flota tendrá 11 volquetes, se resume en el siguiente cuadro.

**Tabla 11:** Resumen del número de volquetes por flota

Equipo de Carguío	EC750	374FL	L260H	L150H
# Volquetes	16	15	13	11

*Fuente: Elaboración propia*

Por lo tanto, la flota total requerida para cumplir con la producción planificada y con la productividad de los equipos de carguío es de 55 volquetes y de 4 equipos de carguío.

#### 4.2.3.4. Factor de Acoplamiento (Match Factor)

Es un sistema pala-volquete, uno de los indicadores más importantes que refleja la relación entre la productividad del equipo de carguío y la productividad de las unidades de transporte.

Para tener el número óptimo de volquetes en relación con el número de equipos de carguío usamos la relación del Factor de Acoplamiento o Match Factor (MF). Para ello analizaremos el escenario de 4 equipos de carguío y 55 volquetes.

$$\text{Factor de acoplamiento} = \frac{\sum \# \text{Volquetes Producción volquete}}{\sum \text{Capacidad equipo de carguío}} \dots\dots\dots(7)$$

$$\text{Factor de acoplamiento} = \frac{(16 * 66.76 + 15 * 65.95 + 13 * 65.35 + 11 * 62.74) \text{ tn}}{(1,050 + 1,000 + 850 + 650) \text{ tn}}$$

$$\text{Factor de acoplamiento} = 1.010$$

Interpretación de resultados:

- $MF > 1$ ; Sobredimensionamiento de las flotas de acarreo, lo que implica una máxima utilización de los equipos de carguío y una subutilización de la flota de acarreo. Los tiempos de espera serán crecientes en relación con el tamaño de flota.
- $MF < 1$ ; Sobredimensionamiento de los equipos de carguío, es decir que existe una máxima utilización de los equipos de acarreo y una subutilización de los equipos de carguío, es probable que en estas condiciones el equipo de carguío se encuentre en condiciones de espera.
- $MF = 1$ ; corresponde al acople perfecto de productividad entre los equipos de carguío y los equipos de acarreo, lo ideal es buscar esta condición o la máxima aproximación posible.

De los resultados obtenidos concluimos que nos encontramos en la primera condición  $MF > 1$ ; los resultados son muy próximos a 1, es decir obtenemos un match casi perfecto.

Para asegurarnos de que este resultado sea correcto realizaremos un análisis de sensibilidad del Match Factor, en la cual se va evaluar que sucede si quitamos o aumentamos el número de volquetes, veremos como varía el factor de acoplamiento y cual es su impacto en la productividad de los equipos de carguío (Ver tabla 12).

En la tabla observamos que el equilibrio pala-volquete se encuentra entre 54 y 55 volquetes.



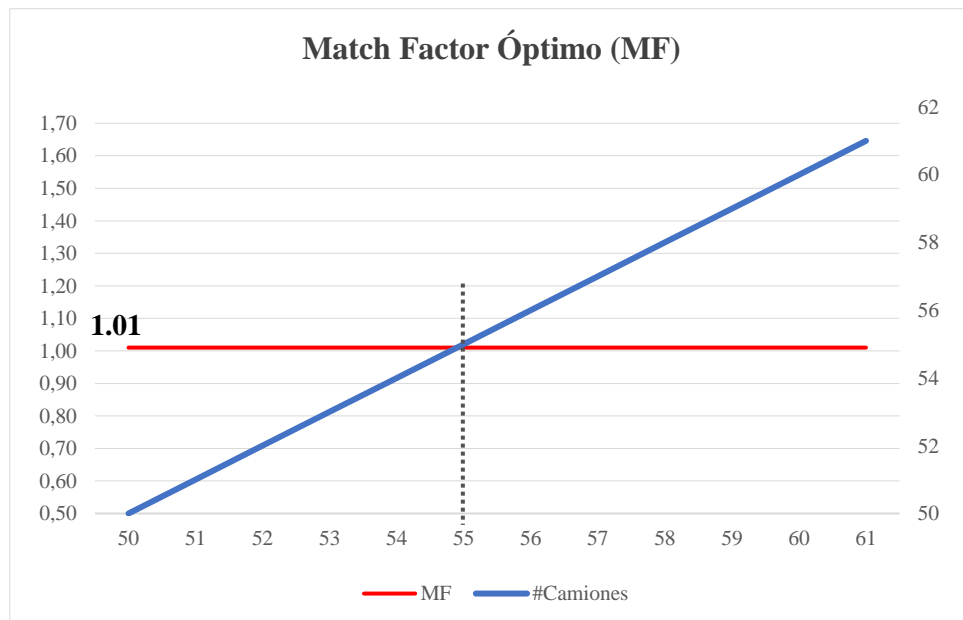
**Tabla 12:** Análisis de sensibilidad del Factor de Acoplamiento

#Camiones	Producción Real (Tn/Hr)	Capacidad de carguío (Tn/Hr)	MF
50	3,260	3550	0.918
51	3,325	3550	0.937
52	3,390	3550	0.955
53	3,455	3550	0.973
54	3,521	3550	0.992
55	3,586	3550	1.010
56	3,651	3550	1.028
57	3,716	3550	1.047
58	3,781	3550	1.065
59	3,847	3550	1.084
60	3,912	3550	1.102
61	3,977	3550	1.120

*Fuente: Elaboración propia*

El equilibrio pala-volquete también se muestra gráficamente (Ver figura 24).

**Figura 24:** Acoplamiento pala-volquete



*Fuente: Elaboración propia*

#### 4.2.4. Control de costos operativos

En una operación minera es importante controlar los costos en general, sin embargo, es importante enfocarse en los más representativos, en Summa Gold Corporation S.A.C estos son los costos de acarreo y los costos de carguío; todos los controles estudiados en este proyecto finalmente se ven reflejados en la reducción y control de estos dos.

Las valorizaciones en Summa Gold Corporation S.A.C se realizan por las horas efectivas de uso de los equipos, existe un presupuesto mensual mediante la cual se van a controlar, intervienen dos factores: la producción y los costos en los que se incurre para alcanzarlos.

$$\text{Costo de producción} = \text{Costo de acarreo} + \text{Cotos de carguío} \dots\dots(8)$$

$$\text{Costo de acarreo} = \text{horas de acarreo} * \text{tarifa horaria} \dots\dots(9)$$

$$\text{Costo de carguío} = \text{horas de carguío} * \text{tafira horaria} \dots\dots(10)$$

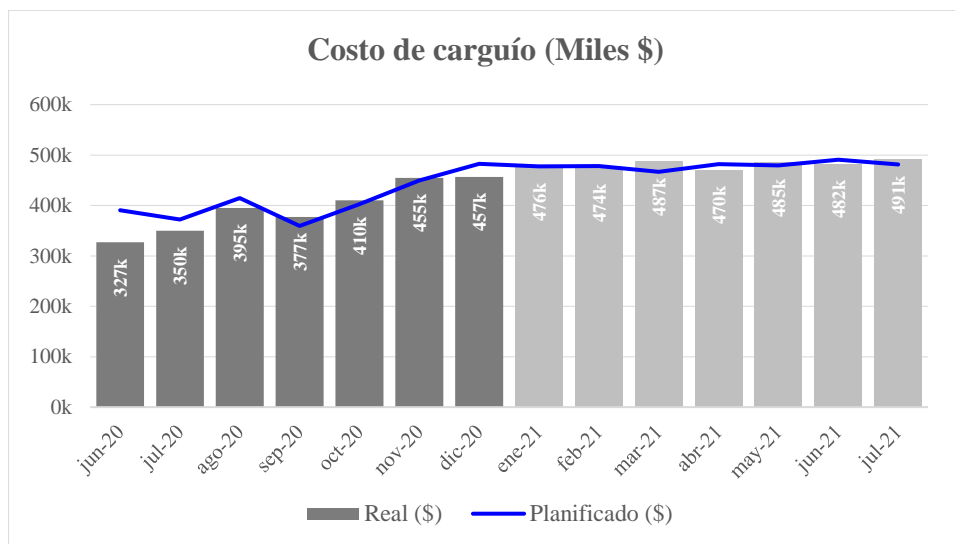
**Tabla 13:** Horas de trabajo de carguío y acarreo

Mes	Horas Carguío (Hrs)	Horas Acarreo (Hrs)
Jun-20	2,179	22,159
Jul-20	2,334	22,428
Ago-20	2,633	26,989
Set-20	2,514	28,768
Oct-20	2,734	31,459
Nov-20	3,030	36,007
Dic-20	3,046	36,047
Ene-21	3,177	35,367
Feb-21	3,163	36,721
Mar-21	3,249	35,474
Abr-21	3,135	37,608
May-21	3,232	36,673
Jun-21	3,214	35,117
Jul-21	3,273	32,850

*Fuente:* Base de datos productividad

Los datos de la tabla 13, representan las horas de trabajo de los equipos de acarreo, así como de los equipos de carguío, con estos datos y usando las formulas 9 y 10 calculamos los costos de ambos procesos unitarios.

**Figura 25:** Costo de carguío (Miles \$)

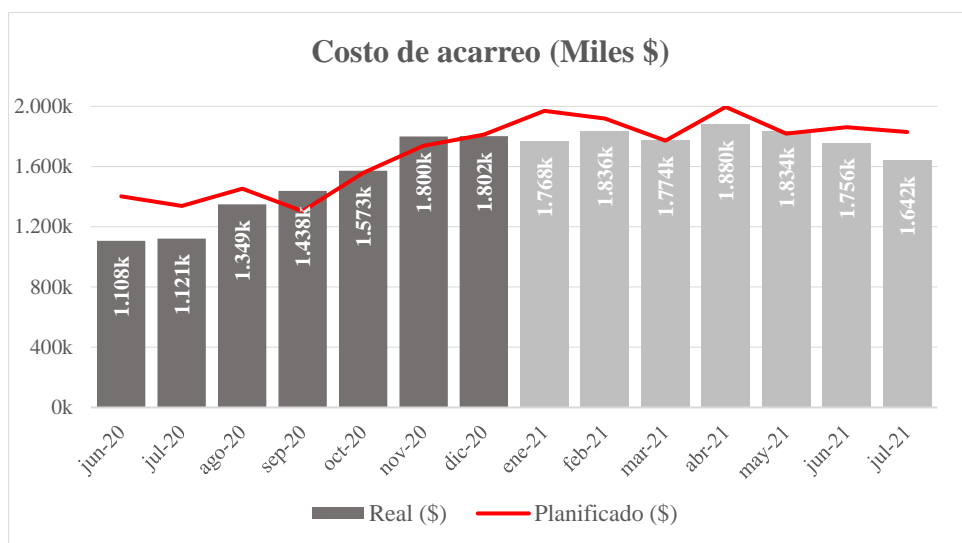


**Fuente:** Base de datos de costos

Entre junio y diciembre los costos de carguío son erráticos; el costo ejecutado no se ajusta a lo planificado, se tiene un desvío del  $\pm 5\%$ , después de la implementación de los controles ya descritos este desvío se reduce al  $\pm 2\%$ , generando un ahorro de 432 k\$, que representa el 2%.

De la misma manera se realiza el análisis de los costos de acarreo (Ver figura 26); los datos analizados muestran que en el periodo Junio – Diciembre del 2020 se tiene un desvío del 5% respecto al ejecutado en ese mismo periodo, por lo que se implementan planes de acción para mejorar la productividad de los equipos de tal manera que se alcanza a reducir el desvío hasta alcanzar  $\pm 2.5\%$ , logrando un ahorro de 267k\$ que representa el 2% de los costos acumulados en el periodo Enero - Julio del 2021.

**Figura 26: Costos de acarreo**



*Fuente: Base de datos de costos*

### 4.3. CONTRASTACIÓN DE HIPOTESIS

#### 4.3.1. HIPÓTESIS NULA

**H0:** *La implementación de indicadores de gestión para mejorar la eficiencia en el uso de los equipos de producción NO reduciría los costos operativos de la Compañía Minera Summa Gold Corporation S.A.C.*

En cambio, la hipótesis alternativa es la siguiente:

#### 4.3.2. HIPÓTESIS ALTERNATIVA

**H1:** *La implementación de indicadores de gestión para mejorar la eficiencia en el uso de los equipos de producción reduciría los costos operativos de la Compañía Minera Summa Gold Corporation S.A.C.*

De las muestras estudiadas en la presente investigación se confirma que la hipótesis es verdadera, respaldado por los resultados favorables obtenidos en el análisis de costos de acarreo y carguío (Figura 25 y 26), en la tabla 14, se muestra que entre acarreo y carguío se ha alcanzado un ahorro total de 699,000 US\$.

De 63 equipos estudiados que representan el 73% del total se ha logrado un 4% de ahorro.

**Tabla 14:** Cuadro de relación de resultados

Variables de la Investigación	Indicadores Estadísticos	Indicadores de gestión para mejorar la eficiencia en el uso de los equipos de producción.	Costos operativos
Indicadores de gestión para mejorar la eficiencia en el uso de los equipos de producción.	Ahorro	0.00 \$ (0.0%)	699 \$ (4% Ahorro)
	Muestras	66 (73%)	66 (73%)
Costos operativos	Ahorro	699 \$ (4% Ahorro)	0.00 \$ (0.0%)
	Muestras	66 (73%)	66 (73%)

*Fuente: Elaboración propia*

#### 4.4. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

El proceso de implementación de indicadores en el área de operaciones mina a tomado un periodo largo donde se sigue una secuencia de pasos desde la identificación de la oportunidad de mejora, evaluación de esta, recolección de datos, búsqueda de alternativas de solución o planes de acción que se plantean dentro de los subprocesos deficientes.

Respaldado en la investigación realizada por Ayala Orihuela, Ghersy en su tesis *“Implementación de Indicadores de Gestión para el Control de las Operaciones en una Mina Subterránea”*, los indicadores de producción y el performance de equipos son los que tienen mayor impacto en los resultados de productividad, así como en los costos de la operación, es por ello que se establecen controles rigurosos para cada uno de ellos y aseguran que se alcancen los objetivos planteados; por lo que es importante la participación constante de todos los involucrados en la operación, desde los analistas, jefes de guardia, hasta la superintendencia.

La elección de la metodología correcta que serán usadas durante la implementación de cada uno de los indicadores es de gran importancia, ello representará lo simple o complejo del proceso; en nuestro caso se usó la metodología del análisis Pareto que ayuda a la identificación del 20% de las incidencias que impactan en el 80% de los resultados, por lo que se identifica fácilmente las causas de los desvíos y se trabajan con estos para plantear planes de acción que minimicen o eliminen los factores improductivos.

#### **4.5. APORTES DEL TESISISTA**

Mi participación ha sido activa desde la identificación de las oportunidades de mejora, hasta su implementación y control. Además de mi participación en mesas de debate donde se evalúan los resultados de cada indicador.

## CONCLUSIONES

1. La implementación de indicadores de gestión y su control diario a permitido incrementar el cumplimiento del uso de los equipos en un 4%, ganando tonelaje adicional y reduciendo los costos en un promedio del 2%.
2. La disponibilidad de los equipos son parámetros claves para el cumplimiento de la producción, con su implementación hemos mejorado en un 13.3% la disponibilidad de los equipos de carguío y 28% en la disponibilidad de los equipos de acarreo.
3. La implementación de los indicadores de gestión ha permitido reducir los costos de acarreo y carguío en 432k\$ y 267k\$, respectivamente.
4. Los indicadores recomendados que deben implementarse son los indicadores de producción, mantenimiento, performance de equipos e indicadores de costos.

## RECOMENDACIONES

1. Realizar el análisis de los resultados de los indicadores con frecuencia diaria y horaria para una mejor toma de decisiones.
2. Todo dimensionamiento de flota debe ir acompañado de un análisis del factor de acoplamiento, ya que de esto depende alcanzar la productividad del sistema palavolquete.
3. Para el análisis y seguimiento de los indicadores es necesario el involucramiento y compromiso de todos los actores que participan en el proceso.
4. Realizar la evaluación de cada proceso, identificar oportunidades de mejora y controlarlos a través de indicadores, estos contribuyen a alcanzar la productividad de todos los subprocesos involucrados.
5. Se recomienda realizar la selección de equipos de acarreo y carguío.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AYALA ORIHUELA, Ghercy (2019), “Implementación de indicadores de gestión para el control de las operaciones en una mina subterránea”, Lima – Perú.
- BELLIDO, E. y DE MONTREUIL, L. (1972) – Aspectos generales de la metalogenia del Perú. Servicio de Geología y Minería, Boletín, Serie B: Geología Económica.
- BERNARD MARS, (2014), Indicadores Clave de Desempeño: Las 75 claves de Desempeño, Primera Edición, México.
- CONEVAL (2014) - Manual para el Diseño y la Construcción de Indicadores. Instrumentos principales para el monitoreo de programas sociales de México, Mexico.
- COSSÍO, A. (1964) – Geología de los cuadrángulos de Santiago de Chuco y Santa Rosa. INGEMMET. Boletín. Serie A: Carta Geológica Nacional.
- HERNANDEZ SAMPIERI, Roberto (2010) - Metodología de la Investigación - México: McGrawHill.
- INGEMMET (2001) - Boletín Especial, Proyectos de Inversión Minera y Prospectos en Estudio.
- MAURICIO BELTRAN, Jesus Maurillo, (2014), *Indicadores de Gestión: Herramientas para lograr la competitividad*, 2da Edición.
- PIZARRO MURILLO, Miguel. (2016) - Características Geológicas del Distrito Minero Aurífero de Huamachuco y su Potencial Para la exploración, La Libertad-Perú.
- PIZARRO SANCHEZ, Yuri. (2018), “Carguío y acarreo de mineral mediante el uso de indicadores claves de desempeño (KPI) en cia Minera los Quenuales”, Abancay.

- RIOS, H. (2005) – El yacimiento epitermal de oro de alta sulfuración de Alto Chicama, controles de mineralización y modelo genético preliminar, Tesis de Ingeniero Geólogo, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima.
- SALAS HURTADO, Luis Alberto, (2013), “Estudio de KPIs en los Equipos de Perforación carguío y acarreo para el incremento de producción de 3000 a 3600 TN/Día”. Arequipa.
- VICHARRA, M. (2003) – Rasgos geológicos regionales de Quiruvilca, Huamachuco y Angamarca - Estudio del yacimiento epitermal de oro de baja sulfuración Callullin - La Libertad. Sociedad Geológica del Perú. Boletín, vol. 96.
- RODRIGUEZ, Francisco Javier (1991) – Indicadores de Calidad y Productividad en la Empresa- Venezuela.

## ANEXOS

### Anexo N°01: Matriz de Consistencia

Título	Problema	Objetivo	Hipótesis	Variables	Diseño de la investigación
<p>Implementación de indicadores de gestión para mejorar la eficiencia en el uso de los equipos de producción y reducir los costos operativos en la cía Minera SUMMA GOLD CORPORATION S.A.C</p>	<p><b>PRINCIPAL:</b></p> <p>¿La implementación de indicadores de gestión para mejorar la eficiencia en el uso de los equipos de producción reducirá los costos operativos de la compañía minera Summa Gold S.A.?</p> <p><b>ESPECIFICOS:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. ¿Los indicadores de gestión a implementar mejorará la eficiencia de los equipos de producción?</li> <li>2. ¿El uso eficiente de equipos de producción se relacionará con la reducción de costos?</li> <li>3. ¿La implementación de indicadores de gestión impactará en los costos operativos?</li> </ol>	<p><b>GENERAL:</b></p> <p>Desarrollar la implementación de indicadores de gestión para mejorar la eficiencia en el uso de equipos de producción y reducir los costos operativos en la compañía minera Summa Gold.</p> <p><b>ESPECIFICOS:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Evaluar los indicadores de gestión a implementar para mejorar la eficiencia de los equipos de producción.</li> <li>2. Relacionar el uso eficiente de los equipos de producción con la reducción de los costos operativos.</li> <li>3. Relacionar el impacto de la implementación de indicadores de gestión en los costos operativos.</li> </ol>	<p><b>HIPÓTESIS PRINCIPAL:</b></p> <p>La implementación de indicadores de gestión para mejorar la eficiencia en el uso de los equipos de producción reduciría los costos operativos en la Compañía Minera SUMMA GOLD CORPORATION S.A.C.</p> <p><b>HIPOTESIS ESPECÍFICA:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Los indicadores de gestión a implementar mejoraría la eficiencia de los equipos de producción.</li> <li>2. El uso eficiente de los equipos de producción se relacionaría con la reducción de costos.</li> <li>3. La implementación de indicadores de gestión impactará en los costos operativos.</li> </ol>	<p><b>INDEPENDIENTE:</b></p> <p>X = Implementación de indicadores de gestión.</p> <p><b>DEPENDIENTE:</b></p> <p>Y1 = Mejorar la eficiencia en el uso de los equipos de producción.</p> <p>Y2 = Reducción de los costos de producción.</p>	<p><b>Tipo de investigación:</b> El tipo es aplicado.</p> <p><b>Nivel de investigación:</b> El nivel de investigación es descriptivo.</p> <p><b>Método:</b> Para el desarrollo de esta investigación, se aplicaron los siguientes métodos: Método de análisis y síntesis. Método deductivo. Método descriptivo y el Método explicativo.</p> <p><b>Población y muestra.</b> <b>Población.</b></p> <p>La población está representada por todas las medidas de rendimientos de los equipos de producción y el cumplimiento de los objetivos planteados, esta evaluación se realiza en el área de operaciones mina de la Compañía Minera Summa Gold Corporation S.A.C</p> <p><b>Muestra.</b></p> <p>La muestra poblacional está representada por los equipos de carguío y acarreo, la selección se realiza mediante el método estadístico y se seleccionan los de mayor representatividad, además los que tienen influencia en el 73% de los costos totales.</p> <p><b>Técnicas e instrumentos de recolección de datos:</b> Revisión bibliográfica, Observación directa</p> <p><b>Tratamientos de datos.</b> Los datos obtenidos de campo se procesaron en el programa Microsoft Excel.</p>



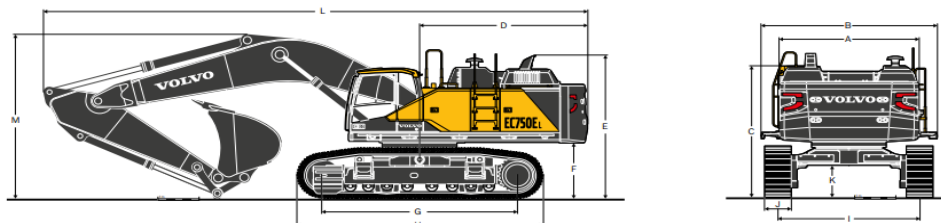
## Anexo 02. Frente de minado excavadora - volquete



Fuente: Álbum de fotos de Summa Gold Corporation

## Anexo 03. Datos técnicos de la excavadora EC750E

### DIMENSIONES



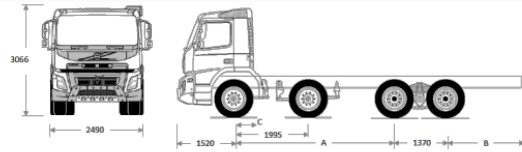
Descripción	Unidad	EC750E			
		6,6	2,9	7,7	4,2
Pluma	m	6,6		7,7	
Brazo	m	2,9	2,9	3,55	4,2
A Ancho total de la superestructura	mm	3 420	3 420	3 420	3 420
B Anchura total (estructura superior)	mm	4 290	4 290	4 290	4 290
C Altura total de la cabina	mm	3 520	3 520	3 520	3 520
D Radio de oscilación de la parte trasera	mm	4 140	4 140	4 140	4 140
E Altura total del difusor	mm	3 850	3 850	3 850	3 850
Altura total de la barandilla de protección	mm	4 000	4 000	4 000	4 000
Altura total del capó del motor	mm	3 540	3 540	3 540	3 540
Altura total de la protección contra la lluvia	mm	3 790	3 790	3 790	3 790
Altura total del filtro ciclónico	mm	3 850	3 850	3 850	3 850
Altura total del baño de aceite	mm	4 100	4 100	4 100	4 100
F Altura libre del contrapeso*	mm	1 507	1 507	1 507	1 507
G Largo del tambor	mm	4 750	4 750	4 750	4 750
H Largo de la oruga	mm	5 990	5 990	5 990	5 990
I Ancho de vía (extendido)	mm	3 440	3 440	3 440	3 440
Ancho de vía (retraído)	mm	2 750	2 750	2 750	2 750
J Ancho de zapata	mm	650	650	650	650
K Distancia mínima al suelo*	mm	858	858	858	858
L Largo total	mm	12 200	13 320	13 220	13 160
M Altura total de la pluma	mm	4 855	4 660	4 600	4 950

\*Con arista de teja

Fuente: Ficha de datos Volvo

## Anexo 04. Datos técnicos de volquete Volvo FMX8X4R

### FMX 8x4R



Dimensiones (mm)*					
A - Entre ejes	4.350	4.600	4.900	5.100	5.600
B - Voladizo trasero	1.175	1.175	1.175	1.175	2.375
C - Distancia eje delantero - Equipo (mín.)	573/971**				
Radio de giro	9.100	9.500	10.000	10.300	11.100

\*Cálculo teórico entre cunetas

Pesos (kgf)**					
Tara del eje delantero	7.302	7.271	7.250	7.244	7.227
Tara del eje trasero	3.826	3.950	4.004	4.049	4.126
Tara total del chasis	11.129	11.221	11.254	11.293	11.353

\*\* Estimativa teórica con vehículo estándar, opción motor D13A400, suspensión neumática y caja AT2612F (I-Shift), CAB-DAY. Tolerancia 3%.

Motor	D13A370	D13A400	D13A440	D13A480	D13A520
Tipo de inyección	Injeção direta com unidades injetoras e gerenciamento eletrônico				
Potencia	370cv - 275kW (1600 a 1900rpm)	400cv - 294kW (1400-1800rpm)	440cv - 324kW (1400-1800rpm)	480cv - 353kW (1400-1800rpm)	520cv - 382kW (1500-1800rpm)
Torque	1770N-m - 204kgf-m (1000-1400rpm)	2000N-m - 204kgf-m (1050-1400rpm)	2200N-m - 224kgf-m (1050-1400rpm)	2400N-m - 245kgf-m (1050-1400rpm)	2500N-m - 255kgf-m (1050-1450rpm)
Número de Cilindros	6	6	6	6	6
Cilindrada	10,85dm <sup>3</sup> (litros)	12,8dm <sup>3</sup> (litros)	12,8dm <sup>3</sup> (litros)	12,8dm <sup>3</sup> (litros)	12,8dm <sup>3</sup> (litros)
Freno de Motor	VEB390	VEB410 o VEB510	VEB410 o VEB510	VEB410 o VEB510	VEB410 o VEB510
Emisiones	Euro III	Euro III	Euro III	Euro III	Euro III
Sistema de Lubricación	36,5 litros	33 litros	33 litros	33 litros	33 litros
Sistema de Refrigeración	38 litros	38 litros	38 litros	38 litros	38 litros

Fuente: Ficha de datos Volvo