

# **UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA Y METALÚRGICA



## **TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL**

“EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE TRANSPORTE VERTICAL DE  
MINERAL PARA INCREMENTAR LA PRODUCTIVIDAD DEL WINCHE  
ELÉCTRICO EN MINAS SUBTERRÁNEAS”

**PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

INGENIERO DE MINAS

**ELABORADO POR:**

RODRIGO RAUL GARCIA VERA

**ASESOR:**

MBA. ING. CARMELO CONDORI CUPI

LIMA-PERÚ

2022

## **DEDICATORIA**

A mis padres, quienes supieron guiarme en mi formación personal y gracias a su apoyo culminé mi carrera profesional.

## ÍNDICE

**DEDICATORIA**

**RESUMEN**

**ABSTRACT**

**PRÓLOGO**

**ÍNDICE DE TABLAS**

**ÍNDICE DE FIGURAS**

**CAPÍTULO I**

**INTRODUCCIÓN .....17**

1.1. Generalidades .....17

1.2. Descripción de problema de investigación.....18

1.3. Objetivo .....23

1.4. Antecedentes referenciales .....23

1.4.1. Investigaciones internacionales.....23

1.4.2. Investigaciones nacionales .....27

1.4.3. Investigación local .....29

**CAPÍTULO II**

**MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL .....30**

2.1. Marco teórico .....30

2.1.1. Sistemas de izaje .....30

2.1.2. Estructuras y formas de piques .....32

2.2. Marco conceptual .....33

2.2.1. Pique.....33

2.2.2. Tambora .....33

2.2.3. Guía.....33

2.2.4. Labio .....33

2.2.5. Faja.....33

2.2.6. Bolsillo .....34

2.2.7. Rampa .....34

2.2.8. Modelo .....	34
<b>CAPÍTULO III</b>	
<b>HIPÓTESIS Y OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....</b>	<b>35</b>
3.1. Hipótesis .....	35
3.2. Definición de variables.....	35
3.2.1. Variable Independiente .....	35
3.2.2. Variable Dependiente.....	35
3.3. Operacionalización de las Variables .....	36
<b>CAPÍTULO IV</b>	
<b>METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>37</b>
4.1. Tipo y diseño de la investigación .....	37
4.2. Unidad de análisis .....	38
4.2.1. Ubicación .....	38
4.2.2. Pique Picasso.....	39
4.2.3. Sistema de izaje.....	39
4.2.4. Sistema de fajas y tolvas de acumulación de mineral .....	40
4.3. Matriz de consistencia .....	43
<b>CAPÍTULO V</b>	
<b>DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>44</b>
5.1. Recolección de datos .....	44
5.2. Procesamiento de la información .....	47
5.2.1. Procesamiento de información previa a la investigación.....	47
5.2.2. Matriz SIPOC.....	50
5.2.3. Actividades programadas para el izaje de mineral.....	53
5.2.4. Procesamiento de información de la investigación.....	54
5.3. Análisis de la información.....	57
5.3.1. Determinación de las causas raíz .....	69
5.4. Análisis del incremento de la velocidad de izaje.....	73
5.4.1. Criterios de estudio .....	75
5.4.2. Resultados de las pruebas de alineación de guías .....	77
5.4.2.1. Compartimiento Skip N°1:.....	77

5.4.2.2. Compartimiento Skip N°2:.....	87
<b>CAPÍTULO VI</b>	
<b>ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....</b>	<b>96</b>
6.1. Sistema de transporte vertical.....	96
6.1.1. Matriz Esfuerzo-Impacto .....	96
6.1.2. Análisis adicionales.....	100
6.2. Análisis de costos .....	103
6.3. Análisis y discusión de resultados .....	107
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>112</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>114</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>116</b>
<b>ANEXOS</b>	

## **RESUMEN**

En minería subterránea, el transporte de mineral es una actividad fundamental para garantizar el abastecimiento de material desde los tajeos hacia la planta concentradora. El transporte de mineral se realiza en sentido horizontal (locomotora, scoop), en sentido vertical (sistema de izaje y fajas transportadoras) o por rampas e inclinados (volquete, dumper).

El sistema de transporte de mineral de una mina comprende la combinación de estos tipos de transporte, teniendo cada uno de ellos determinadas características que se toman en cuenta para su elección. Dentro de los factores influyentes para la elección del tipo de transporte se encuentran el costo, tiempo de traslado, rendimiento y versatilidad para cubrir las distintas rutas de acarreo.

El sistema de transporte vertical es una de las mejores alternativas para minas cuyos tajeos se encuentran a una mayor profundidad debido a su menor costo y tiempo de traslado; y una mayor productividad.

El presente trabajo de investigación se realizó considerando como unidad de análisis a la unidad minera El Porvenir de Nexa Resources. Esta se encuentra ubicada en el Distrito de San Francisco de Yarusyacán, Provincia de Cerro de Pasco, en el departamento de Pasco. La UM El Porvenir cuenta con un pique de 1280 m de profundidad dividido en 4 compartimientos: dos para izaje de mineral, uno para izaje de personal y otro para instalación de servicios con escalera camino para emergencias e inspecciones.

El objetivo del presente trabajo de suficiencia profesional es analizar el sistema de transporte vertical para incrementar la productividad del winche eléctrico en minas subterráneas, para lo cual se recolectó información de la operación del winche eléctrico registrando los acontecimientos suscitados guardia a guardia.

Con la información recopilada se realizó el análisis de Pareto para determinar los problemas con mayor frecuencia (metodología 80-20). Una vez identificados los problemas se determinaron las causas raíz aplicando la metodología de los 5 porqués.

Posteriormente, las causas raíz se colocaron en una matriz de esfuerzo-impacto para agruparlas y determinar el grado de prioridad para una posterior ejecución de las soluciones planteadas.

Finalmente, usando el software Power BI se hizo un análisis estadístico de la influencia de los turnos de trabajo, cuadrillas, días de semana y horas por día para determinar si existe algún tipo de relación con la producción diaria.

**Palabras claves:** Sistema de izaje, pique, sistema de transporte vertical, sistema de fajas

## **ABSTRACT**

In underground mining, mineral transport is a fundamental activity to guarantee the supply of material from the pits to the concentrator plant. Mineral transport is carried out horizontally (conveyor, scoop), vertically (hoisting system and conveyor belts) or by ramps and inclines (truck, dumper).

Mineral transport system of a mine comprises the combination of these types of transport, each one of them having certain characteristics that are taken into account for their choice. Among the influencing factors for choosing the type of transport are the cost, transfer time, performance and versatility to cover the different haulage routes.

Vertical transport system is one of the best alternatives for mines whose ore bodies are deeper due to its lower cost and transfer time, and increased productivity.

The present research was carried out considering El Porvenir mine property of Nexa Resources as the unit of analysis. This is located in the district of San Francisco de Yarusyacán, province of Cerro de Pasco, in the department of Pasco. El Porvenir mine has a shaft whose depth is 1,280 m and is divided into 4 compartments: two for mineral hosting, one for transportation of people and one for installing services with a ladder for emergencies and inspections.

The purpose of this professional sufficiency work is to analyze the vertical transport mineral to increase the productivity of the electric hoist in underground mines, for which



information was collected on the operation of the electric hoist, recording the events raised shift by shift.

With the information collected, the Pareto analysis was performed to determine the problems with greater frequency (80-20 methodology). Once the problems were identified, the root causes were determined by applying the 5 whys methodology.

Subsequently, the root causes were placed in an effort-impact matrix to group them and determine the degree of priority for subsequent execution of the proposed solutions.

Finally, using the Power BI software, a statistical analysis of the influence of work shifts, weekdays and hours per day was made to determine if there was any type of relationship with daily production.

**Keywords:** hoisting system, shaft, mineral vertical transport, conveyor belt

## **PRÓLOGO**

El presente trabajo de suficiencia tiene como objetivo evaluar el sistema de transporte vertical para incrementar la productividad del winche eléctrico en minas subterráneas.

La estructura del contenido se ha dividido en seis capítulos:

En el capítulo I, se desarrolla las generalidades y la descripción del problema incluyendo la formulación del problema; a partir del cual se establece el objetivo del estudio. Asimismo, se describen los antecedentes investigativos.

En el capítulo II, se describen los marcos teórico y conceptual precisando los conceptos a emplear en el presente trabajo de suficiencia, como por ejemplo winche, izaje, skip, guía, rampa, acumulador.

En el capítulo III, se establece la hipótesis del presente trabajo de suficiencia y se realiza la operacionalización de las variables; estableciendo indicadores medibles y formulando preguntas que cuestionen modificaciones en las variables.

En el capítulo IV, se describe la metodología de investigación utilizada en el presente trabajo de suficiencia, detallando lo siguiente: tipo y diseño de la investigación, unidad de análisis y matriz de consistencia.

En el capítulo V, se desarrolla el trabajo de investigación tomando como punto de partida el procesamiento de la información recolectada. Se realiza el análisis de Pareto de las paradas y se aplica la metodología 80-20 para determinar las causas raíz a través de la metodología de los 5 porqués.

En el capítulo VI, se muestran las causas raíz y se presentan soluciones priorizándolas en una matriz esfuerzo impacto. Asimismo, se realiza un análisis estadístico para

identificar si otras consideraciones adicionales en el sistema transporte vertical de mineral influyen en la productividad del winche eléctrico y se realiza un análisis de costos considerando la producción adicional proyectada y el aumento del costo variable para mostrar el impacto en el cash cost (US\$/tms).

Finalmente, se muestran las conclusiones y recomendaciones como resultado de la evaluación del sistema de transporte vertical.

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1. Operacionalización de las variables .....	36
Tabla 4.1. Matriz de consistencia.....	43
Tabla 5.1. Registro de paradas sistema de izaje en horas .....	45
Tabla 5.2. Registro de skips por hora y tonelaje asignado.....	46
Tabla 5.3. Cuadro de paradas diarias programadas en el sistema de izaje.....	53
Tabla 5.4. Análisis de causa raíz para paradas del sistema general del transporte vertical .....	71
Tabla 5.5. Análisis de causa raíz para paradas del sistema de fajas del transporte vertical .....	73
Tabla 5.6. Altas aceleraciones del compartimiento skip N°1 @ 2,000 ppm .....	78
Tabla 5.7. Altas aceleraciones del compartimiento skip N°1 @ 2,600 ppm .....	82
Tabla 5.8. Altas aceleraciones del compartimiento skip N°1 @ 3,000 ppm .....	85
Tabla 5.9. Altas aceleraciones del compartimiento skip N°2 @ 2,000 ppm .....	88
Tabla 5.10. Altas aceleraciones del compartimiento skip N°2 @ 2,600 ppm .....	90
Tabla 5.11. Altas aceleraciones del compartimiento skip N°2 @ 3,000 ppm .....	93
Tabla 6.1. Criterio de evaluación de impacto .....	97
Tabla 6.2. Tabla de resultados finales de evaluación de impacto .....	98
Tabla 6.3. Tabla de resultados finales ordenados descendientemente .....	98
Tabla 6.4. Tabla de evaluación esfuerzo e impacto .....	99
Tabla 6.5. Datos operacionales enero – mayo 2021.....	103
Tabla 6.6. Análisis variación cash cost enero – mayo 2021 .....	104

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Porcentaje de accidente mortales por tipo en el periodo 2000-2018.....	19
Figura 1.2. Caudal requerido por consumo de explosivos ( $Q_{EX}$ ).....	20
Figura 1.3. Modelo digital de pique y sistema de izaje aplicando DES .....	24
Figura 1.4. Modelo del sistema de izaje de una mina de carbón .....	25
Figura 2.1. Diagrama Tiempo vs. Velocidad .....	31
Figura 2.2. Forma rectangular de la sección transversal de un pique .....	32
Figura 2.3. Forma circular de la sección transversal de un pique .....	32
Figura 4.1. Plano de ubicación UM El Porvenir .....	38
Figura 4.2. Vista en planta de los motores y winche de doble tambora del sistema de izaje .....	40
Figura 4.3. Modelo de sección longitudinal nivel 1205 – Sistema SCADA .....	42
Figura 5.1. Pantalla de control sistema de izaje skip derecho y skip izquierdo.....	45
Figura 5.2. Número de skips izados por día de septiembre a diciembre 2020.....	47
Figura 5.3. Histograma del número de skips izados por día Septiembre a diciembre 2020.....	48
Figura 5.4. Prueba de normalidad del número de skips izados por día Septiembre a diciembre 2020.....	48
Figura 5.5. Datos Individuales y Rango Móvil de skips izados por día Septiembre a diciembre 2020.....	49
Figura 5.6. Gráfica de dispersión de $N^{\circ}$ skips y horas de paradas diarias Septiembre a diciembre 2020.....	49
Figura 5.7. Análisis de regresión lineal $N^{\circ}$ skips y horas de paradas diarias Septiembre a diciembre 2020.....	50
Figura 5.8. Etapa 01: Listado de las principales variables de salida para el cliente .....	50
Figura 5.9. Etapa 02: Identificación de las etapas del proceso .....	51

Figura 5.10. Etapa 03: Relación de los parámetros de calidad críticos que impactan cada etapa .....	52
Figura 5.11. Etapa 04: Identificar las principales variables de entrada .....	52
Figura 5.12. Número de skips izados por día de enero a mayo 2021 .....	54
Figura 5.13. Gráfica de dispersión de N° skips y horas de paradas diarias Enero a mayo 2021.....	55
Figura 5.14. Número de skips izados corregidos por día de enero a mayo 2021.....	55
Figura 5.15. Número de skips izados corregidos vs horas de parada diarias Enero a mayo 2021.....	56
Figura 5.16. Número de skips izados por día de enero a mayo 2021 .....	57
Figura 5.17. Histograma del número de skips izados por día Enero a mayo 2021.....	58
Figura 5.18. Prueba de normalidad de skips izados por día Enero a mayo 2021.....	58
Figura 5.19. Gráfica I-MR de skips izados por día Enero a mayo 2021.....	60
Figura 5.20. Gráfica de probabilidad de skips izados por día Enero a mayo 2021.....	60
Figura 5.21. Número de skips izados por día con datos depurados Enero a mayo 2021.....	61
Figura 5.22. Histograma del número de skips izados por día Enero 2021 (depurado).....	61
Figura 5.23. Gráfica I-MR de skips izados por día Enero a mayo 2021 (depurado) .....	62
Figura 5.24. Gráfica de dispersión de N° skips y horas de paradas diarias Enero a mayo 2021 (depurado) .....	62
Figura 5.25. Gráfica de análisis de regresión lineal de N° skips y horas de paradas diarias Enero a mayo 2021.....	63

Figura 5.26. Diagramas de Pareto interrelacionados por Sistema-Grupo-Subgrupo para tiempos de paradas y frecuencias en el sistema de transporte vertical Enero a mayo 2021.....	64
Figura 5.27. Diagramas de Pareto interrelacionados para tiempos de paradas y frecuencias que inciden directamente en el sistema de transporte vertical en general Enero a mayo 2021.....	65
Figura 5.28. Diagramas de Pareto interrelacionados para tiempos de paradas y frecuencias que inciden directamente en el grupo de paradas externas del sistema de transporte vertical en general Enero a mayo 2021.....	66
Figura 5.29. Promedio de número de skips izados por hora diariamente Enero a mayo 2021.....	67
Figura 5.30. Diagramas de Pareto interrelacionados para tiempos de paradas y frecuencias que inciden directamente en el sistema de izaje Enero a mayo 2021.....	68
Figura 5.31. Diagramas de Pareto interrelacionados para tiempos de paradas y frecuencias que inciden directamente en el sistema de fajas Enero a mayo 2021.....	69
Figura 5.32. Vista en planta de los compartimientos del skip y orientación de los ejes de vibraciones para analizar.....	75
Figura 5.33. Perfiles de velocidad y profundidad del skip N°1 @ 2,000 ppm .....	79
Figura 5.34. Aceleración Cara a Cara del skip N°1 @ 2,000 ppm .....	79
Figura 5.35. Aceleración Lado a Lado del skip N°1 @ 2,000 ppm.....	80
Figura 5.36. Perfiles de velocidad y profundidad del skip N°1 @ 2,600 ppm .....	81
Figura 5.37. Aceleración Cara a Cara del skip N°1 @ 2,600 ppm .....	83
Figura 5.38. Aceleración Lado a Lado del skip N°1 @ 2,600 ppm.....	83
Figura 5.39. Perfiles de velocidad y profundidad del skip N°1 @ 3,000 ppm .....	84
Figura 5.40. Aceleración Cara a Cara del skip N°1 @ 3,000 ppm .....	86
Figura 5.41. Aceleración Lado a Lado del skip N°1 @ 3,000 ppm.....	86

Figura 5.42. Perfiles de velocidad y profundidad del skip N°2 @ 2,000 ppm .....	87
Figura 5.43. Aceleración Cara a Cara del skip N°2 @ 2,000 ppm .....	88
Figura 5.44. Aceleración Lado a Lado del skip N°2 @ 2,000 ppm.....	89
Figura 5.45. Perfiles de velocidad y profundidad del skip N°2 @ 2,600 ppm .....	91
Figura 5.46. Aceleración Cara a Cara del skip N°2 @ 2,600 ppm .....	91
Figura 5.47. Aceleración Lado a Lado del skip N°2 @ 2,600 ppm.....	92
Figura 5.48. Perfiles de velocidad y profundidad del skip N°2 @ 3,000 ppm .....	94
Figura 5.49. Aceleración Cara a Cara del skip N°2 @ 3,000 ppm .....	94
Figura 5.50. Aceleración Lado a Lado del skip N°2 @ 3,000 ppm.....	95
Figura 6.1. Matriz Esfuerzo vs Impacto dividido en cuadrantes.....	99
Figura 6.2. Diagrama de violín por turno.....	100
Figura 6.3. Diagrama de violín por guardia .....	100
Figura 6.4. Diagrama de cajas de skips por turno y guardia .....	101
Figura 6.5. Diagrama de radar de skips por turno y día de semana .....	101
Figura 6.6. Diagrama de radar de skips por turno, guardia y día de semana .....	102
Figura 6.7. Diagrama de radar de skips por turno, guardia y hora de izaje .....	102
Figura 6.8. Gráfica del tratamiento real y proyectado (tms) .....	105
Figura 6.9. Gráfica del costo variable real y proyectado (k US\$).....	105
Figura 6.10. Gráfica de la variación del cash cost (US\$/tms).....	106
Figura 6.11. Gráfica del aumento mensual de la utilidad bruta y la proyección anualizada (US\$).....	106



# **CAPÍTULO I**

## **INTRODUCCIÓN**

### **1.1. Generalidades**

En minas subterráneas, cuyos cuerpos mineralizados se encuentran a mayor profundidad, el sistema de transporte vertical es imprescindible para garantizar la extracción de mineral desde los tajeos hasta superficie. Por dicho motivo el sistema de transporte vertical representa un cuello de botella en el ciclo de transporte de material hasta la planta concentradora y por lo tanto se debe garantizar su funcionamiento continuo.

El alcance de la presente investigación abarca minas subterráneas que realizan la extracción de mineral a través del sistema de transporte vertical.

Para el presente estudio, el sistema de transporte vertical comprende los sistemas de fajas e izaje con winche eléctrico; empezando desde las tolvas de acumulación y abastecimiento de mineral, el sistema de fajas, el acumulador de carga, la rampa metálica de descarga, winche de izaje, infraestructura del pique, guías del skip, skip y cable.

El objetivo es analizar el sistema de transporte vertical de mineral para incrementar la productividad del winche eléctrico de una operación minera subterránea.

En el capítulo 1.2 se especifican los diversos problemas identificados en todo el sistema de transporte vertical desde el abastecimiento de las tolvas hacia las fajas transportadoras hasta la descarga del skip en el nivel superior del pique. Dichos problemas tienen un impacto negativo significativo en la producción diaria de la mina y con el presente estudio se disminuyen estos impactos para aumentar la productividad del winche eléctrico; lo que genera una mayor rentabilidad para las empresas mineras.

## **1.2. Descripción de problema de investigación**

Debido a la naturaleza discontinua del macizo rocoso y a la presencia de agentes geológicos tales como el agua, existen corrientes fluviales al interior de las labores mineras subterráneas. Asimismo, los flujos de agua provenientes de las precipitaciones en superficie en determinadas estaciones del año afectan a la calidad de roca en minas subterráneas debido al incremento de caudal interno.

Al ejecutarse la voladura de la roca intacta en los tajeos de producción subterráneo, los flujos de agua generan un alto contenido de humedad en el material rocoso después del disparo, lo cual incrementa el ángulo de reposo en la rampa metálica de descarga de mineral en el sistema de izaje de mineral.

Adicionalmente, los flujos de agua que discurren a través del macizo rocoso ocasionalmente se direccionan hacia las chimeneas de paso de mineral

aumentando la presencia de humedad en el traslado del mineral desde los frentes de voladura hasta las zonas de acumulación, donde posteriormente se izará el mineral con winche eléctrico.

Respecto a trabajos de alto riesgo, para retirar la carga húmeda compactada en la rampa metálica y reestablecer el normal desarrollo del izaje de mineral, los operadores asignados a dicha actividad realizan trabajos de manera manual tales como soplado de carga húmeda con aire comprimido y manipulación de explosivos para voladura secundaria. Estas actividades son consideradas como trabajos de alto riesgo por comprometer y/o exponer la integridad de las personas al realizarse en espacios confinados, con riesgo de caídas a diferente nivel, explosión, atrapamiento y proyección de partículas.

En la figura 1.1. se muestra el porcentaje del total de accidentes según la naturaleza de los eventos mortales acaecidos en el periodo 2000 - 2018.



**Figura 1.1.** Porcentaje de accidente mortales por tipo en el periodo 2000-2018

**Fuente:** Ministerio de Energía y Minas, 2018, Estadística de accidentes mortales en el sector minero

Asimismo, el uso de explosivos para realizar las voladuras secundarias genera mayor emisión de gases tóxicos al ambiente y por lo tanto un mayor requerimiento de caudal de aire para la eliminación de estos gases en el ambiente de trabajo de los operadores tal como se muestra en la figura 1.2. Dicho requerimiento se traslada al costo operativo en el incremento de consumo de energía, para el funcionamiento de ventiladores auxiliares, y en el incremento de consumo de explosivos.

$Q_{EX} = A \times V \times N$
<p><u>Donde:</u></p> <p><math>Q_{EX}</math> = Caudal de aire requerido por consumo de explosivo detonado (m<sup>3</sup>/min)</p> <p>A = Área promedio de labores (m<sup>2</sup>)</p> <p>V = Velocidad mínima requerida según norma (m/min)</p> <p>N = Número de niveles de voladura</p>

**Figura 1.2.** Caudal requerido por consumo de explosivos ( $Q_{EX}$ )

**Fuente:** Ministerio de Energía y Minas del Gobierno del Perú, 2017, Anexo 38 del DS N° 024-2016-EM modificado por D.S. N° 023-2017-EM “Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional”

Por otro lado, Kalinowski, Dlugosz y Kaminski (2021) refieren que el sistema de izaje es el cuello de botella de una mina y su eficiencia tiene impacto directo en su desempeño económico. Por lo tanto, una gestión inadecuada de las horas de mantenimiento mecánico, eléctrico e infraestructura ocasionarían una

disminución en la productividad del winche eléctrico. Dichas intervenciones son requisito indispensable para garantizar la disponibilidad del sistema de izaje de mineral y su no ejecución compromete la producción diaria de la mina.

Respecto a la pericia de los operadores que realizan la descarga de mineral de las tolvas de acumulación hacia las fajas transportadoras, la mala ejecución de esta actividad genera dos escenarios que disminuyen la productividad del winche eléctrico:

1. Sobrecarga de faja: Para lo cual los operadores responsables del abastecimiento de mineral hacia la faja y al skip deben dirigirse al lugar de sobrecarga y retirar manualmente el exceso de carga para reiniciar el sistema de fajas.
2. Retraso de abastecimiento de fajas: Lo cual genera un mayor tiempo de llenado del acumulador de carga y por lo tanto un mayor tiempo en el ciclo de izaje del skip.

Respecto al sistema de fajas, el mal alineamiento de ellas y la falta de un control que evite la caída de fragmentos hacia la faja de retorno generan atascamiento en el polín principal de rotación de la faja lo que conlleva a parar el izaje de mineral de manera inmediata hasta liberar el polín en mención. Incluso, dichos fragmentos de roca generan cortes en las fajas lo cual implica un gasto adicional para la reposición de nuevas fajas y un mayor tiempo para dejar nuevamente operativo el sistema.

De otro lado, al realizar el carguío de fajas y detener en simultáneo la faja y las cadenas de abastecimiento, existe acumulación de mineral detrás del labio de la

tolva de abastecimiento y la faja. Dicha acumulación de mineral conlleva a la reducción del espacio de acción del labio de la tolva al realizar el carguío de la faja y por lo tanto se incrementa el tiempo de llenado e incluso se detiene el abastecimiento hasta realizar manualmente la limpieza de dicha zona y dejar libre el espacio de acción del labio de la tolva.

Respecto al llenado en modo automático del skip, existe un problema de sobrecarga o doble carguío al mismo skip cuando aún no se ha realizado el izaje del mismo. Esto debido a la falta de visualización de parámetros de control de izaje para el operador encargado del carguío del skip.

La realidad problemática para el presente proyecto de investigación es la falta de evaluación en el funcionamiento del sistema de transporte vertical para identificar eventos frecuentes que disminuyen la productividad del winche eléctrico al consumir más tiempo de lo planificado para realizar un ciclo completo de izaje.

Como consecuencia de este problema no se cumple la meta de producción diaria establecida por las empresas mineras disminuyendo sus ingresos e incrementando el costo operativo (US\$/tms).

Por tal motivo se formula lo siguiente:

¿Cuáles son las causas de la baja productividad del winche eléctrico en el sistema de transporte vertical?

### **1.3. Objetivo**

Analizar el sistema de transporte vertical de mineral para incrementar la productividad del winche eléctrico de una operación minera subterránea.

### **1.4. Antecedentes referenciales**

#### **1.4.1. Investigaciones internacionales**

Kalinowski; Dlugosz y Kamipnski (2021), en el artículo de investigación “Digital Twin of the Mining Shaft and Hoisting System as an Opportunity to Improve the Management Processes of Shaft Infrastructure Diagnostics and Monitoring”, presentan un concepto de modelo virtual de un pique equipado con un sistema de izaje con el fin de mejorar los procesos de gestión de diagnóstico de la infraestructura del pique y su monitoreo. Los investigadores indican que debido al grado de criticidad que representa el sistema de izaje en una mina se deben tomar todas las acciones para evitar la interferencia en cualquiera de los elementos durante la operación del sistema de izaje, así como suspensiones temporales causadas por posibles fallas o trabajos de mantenimiento no programados. El objetivo se logra mediante el seguimiento constante de los elementos del pique con análisis de los datos recopilados.

En el artículo, se presenta una propuesta de mejora de procesos con tecnologías modernas conocidos como: diagnóstico y monitoreo de infraestructura de pique utilizando modelos digitales de estructuras 3D (figura 1.3.), modelado de información de construcción (Building Information Modelling - BIM) y gemelo digital (Digital Twin - DT).

La influencia mutua de los diferentes elementos del sistema de izaje y su impacto en la confiabilidad de su funcionamiento se ejecuta basándose en los datos recopilados durante el proceso de control.

En un período de tiempo prolongado, se reducen los costos de mantenimiento del pique, se mejoran los estándares de seguridad del personal y el cuidado de los equipos.



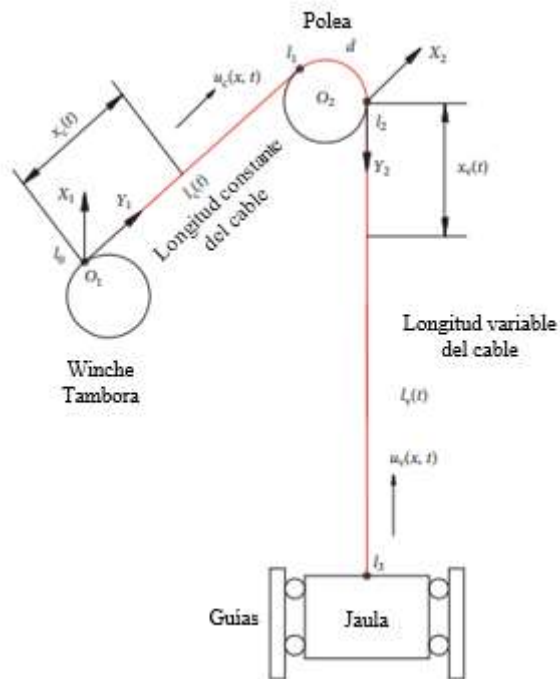
**Figura 1.3.** Modelo digital de pique y sistema de izaje aplicando DES

**Fuente:** Kalinowski, Dlugosz y Kamipnski, 2018, Digital Twin of the Mining Shaft and Hoisting System as an Opportunity to Improve the Management Processes of Shaft Infrastructure Diagnostics and Monitoring

Wang, Xiao, y Liu (2019), en el artículo de investigación “Dynamic Modeling and Analysis of a Mine Hoisting System with Constant Length and Variable Length”, realizan la simulación del sistema de izaje con winche considerando las variables mostradas en la figura 1.4.

El sistema de izaje en su estructura incluye la tambora, longitud constante del cable de acero, la polea, longitud variable del cable de acero, el skip y las guías por donde se desliza el skip.





**Figura 1.4.** Modelo del sistema de izaje de una mina de carbón

**Fuente:** Wang, Xiao, Liu, 2019, Modelamiento y análisis dinámico del sistema de izaje con longitud constante y longitud variable

El modelo matemático considera las siguientes premisas:

- El cable de acero de izaje es uniforme y continuo.
- El módulo de Young, la masa por unidad de longitud, y el área de la sección transversal del cable de acero son constantes.
- La línea de deslizamiento durante el funcionamiento es ignorada.
- El desplazamiento elástico debido a la vibración axial es mucho menor que la longitud del cable de izaje

Las ecuaciones matemáticas en el sistema de izaje están establecidos por el principio de Hamilton; y la influencia de los parámetros estructurales del sistema de izaje se analizó cuando el winche asciende y desciende.

Los autores concluyen que, desde las fases de aceleración a las fases de velocidad constante y desde las fases de velocidad constante a las fases de desaceleración, los desplazamientos de vibración axial del cable de izaje cambian significativamente. Asimismo, el desplazamiento de vibración axial máximo del cable de longitud constante es de un orden de magnitud menor que el del cable de longitud variable y el desplazamiento de vibración axial máximo del cable de izaje en el proceso de izaje es similar al proceso de descenso.

Adicionalmente, en las fases de aceleración los desplazamientos de vibración axial tienen una relación lineal con los parámetros estructurales. Por el contrario, en las fases de desaceleración los desplazamientos de vibración axial tienen una relación no lineal con los parámetros estructurales. En las fases de velocidad constante, los diferentes parámetros y el sistema de izaje deben ser analizados.

También concluyen que el cambio de carga tiene el mayor efecto sobre los desplazamientos de vibración axial máximos del cable de izaje. El cambio de velocidad tiene la menor influencia en los desplazamientos máximos de vibración axial del cable de izaje. La influencia del cambio de profundidad y aceleración en los desplazamientos de vibración axial máxima del cable de izaje es menor que el cambio de carga y mayor que el cambio de velocidad. Por lo tanto, durante el funcionamiento del sistema de izaje, la sobrecarga en la operación debe estar prohibida.

#### **1.4.2. Investigaciones nacionales**

Ricse Torres, Dennis (2019) en su tesis “Rediseño del sistema de izaje para mejorar el rendimiento de extracción – Unidad minera San Juan de Chorunga”, concluye que se reduce en 5% las horas improductivas al modificar la potencia del winche eléctrico de 60 HP a 80 HP, cambiar las guías de desplazamiento del skip e implementar una distribución horaria rígida para la extracción de mineral.

Asimismo, el costo unitario de extracción - suma de los costos unitarios de acarreo e izaje de mineral - disminuye a 9.72 US\$/tms como consecuencia del aumento de la productividad del sistema de izaje.

Adicional a ello, el autor señala la importancia del cumplimiento al programa de mantenimiento de los guidores y cables de acero, así como la capacitación continua a los operadores que intervienen en el sistema de izaje.

Túllume, Jhonny y Llontop, Robert (2016), en su tesis “Automatización e implementación de un sistema SCADA para mejorar el desempeño del sistema de izaje por winches en minería subterránea de la Compañía Minera Casapalca S.A.” concluyen que con la implementación de sistemas automáticos y de Supervisión, Control y Adquisición de Datos (Supervisory Control and Data Acquisition – SCADA) se mejora el desempeño de izaje del winche, incrementando su producción en un 30%.

Los investigadores realizan el estudio teniendo como punto de partida la recopilación de datos previos a la implementación de la automatización y el uso

del sistema SCADA. Dichos datos son comparados con los resultados post-implementación del sistema SCADA determinando lo siguiente:

El número de paradas no programadas se disminuye, debido a los nuevos sistemas de protecciones de seguridad, mejor lazo de control y monitoreo en tiempo real de los parámetros eléctricos e instrumentación implementados.

Se logra un arranque más controlado y estabilizado de 1900 Amp. a 750 Amp., disminuyendo en 50 % el consumo de energía eléctrica.

Al seleccionar variadores regenerativos (banco de condensadores en su bus DC), se reduce las paralizaciones del sistema frente a fluctuaciones de energía.

Se logra aumentar la producción en un 50% y la recuperación de la inversión para la implementación es en un tiempo de 5 años.

Con el nuevo sistema se logra obtener una base de datos los cuales son almacenados y reportados a las jefaturas mensualmente.

Yauri Riveros, Willy (2011), en su investigación “Frenado dinámico para winche de izaje de mineral” señala que según el Reglamento General de Higiene y Seguridad Minera los winches eléctricos deben cumplir determinados parámetros de velocidad y tiempos de aceleración y desaceleración.

En su investigación, el autor realiza cálculos para el frenado dinámico nivel por nivel con el objetivo de dar cumplimiento a las máximas velocidades establecidas en la norma vigente.

Dichos cálculos son realizados con el fin de garantizar la seguridad de las personas y equipos al descender el skip.

Asimismo, señala que los límites de velocidad están determinados por la profundidad del pique y del rango de los niveles superior e inferior del sistema de izaje.

### **1.4.3. Investigación local**

Mendoza Anaya, Ivan (2012), en su tesis “Modelo Probabilístico del Ciclo de Minado y Transporte de Mineral en la Unidad Minera El Porvenir – Milpo” desarrolló un modelo matemático que simula las actividades que forman parte del ciclo de minado y extracción de mineral con el objetivo de conocer la eficiencia del sistema de producción de mineral e identificar elementos que modifican el proceso de producción, tales como el sistema de izaje de mineral.

El nivel de aceptación del modelo matemático probabilístico propuesto por el autor es del 90% ( $\alpha=0.10$ ) para un rango de producción diaria de 3,700 a 4,350 toneladas métricas húmedas (TMH).

Al realizar el análisis de sensibilidad al sistema de ciclo de minado y al sistema de transporte de mineral concluyó que el ciclo de minado es el limitante para incrementar la producción ya que la unidad minera tiene una capacidad máxima de producción mensual de 127,000 TMH en comparación con el sistema de izaje de mineral con winche eléctrico. La capacidad del sistema de izaje de mineral a una velocidad de 1,200 ppm tiene una capacidad máxima mensual de 133,000 TMH y si se incrementa la velocidad a 2,400 ppm la capacidad máxima mensual de mineral transportado es de 150,000 TMH.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL**

#### **2.1. Marco teórico**

##### **2.1.1. Sistemas de izaje**

Edwards A., Fred (1992) en el libro “SME Mining Engineering Handbook”, describe los tipos de sistemas de izaje, consideraciones para sus componentes, criterios de selección y número de compartimientos requeridos.

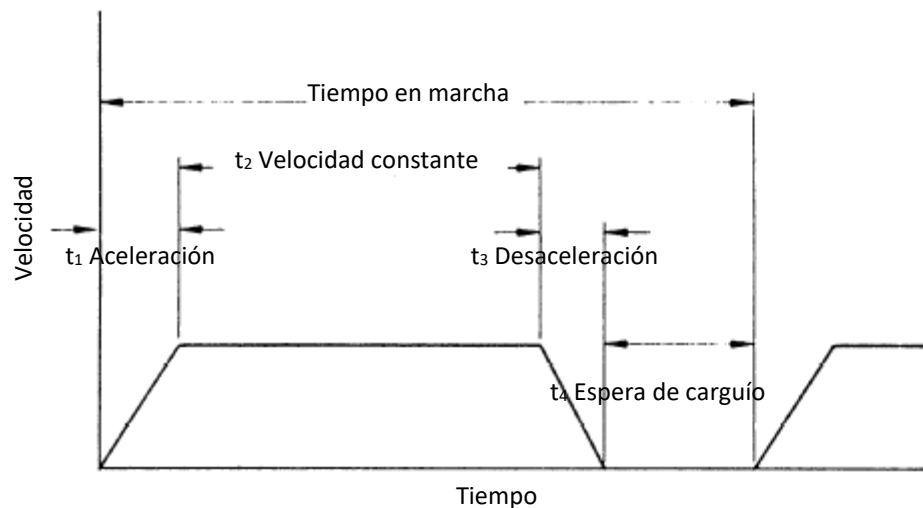
Los tipos de sistema de izaje son:

- De una sola tambora
- De una sola tambora dividida
- De tambora diferencial separada
- De doble tambora
- Variación de doble tambora
- De fricción

Asimismo, el autor realiza la comparación de los winches de fricción y de tamboras, indicando que las diferencias entre ambos equipos dependen del rendimiento requerido, así como la de sus componentes.

Para la selección del winche se deben tener en cuenta los siguientes criterios:

- Velocidad del winche, incluyendo aceleración, desaceleración y velocidad máxima, como se muestra en la figura 2.1.
- Producción requerida, en toneladas por hora.
- Carga máxima izada. Altura de izaje.
- Peso de la carga útil y del skip.
- Diámetro del cable de acero.



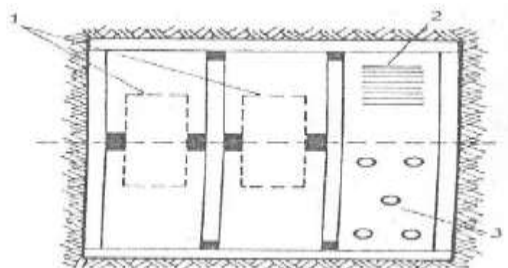
**Figura 2.1.** Diagrama Tiempo vs. Velocidad

**Fuente:** Edwards, Fred, 1992, SME Manual de Ingeniería de Minas

### 2.1.2. Estructuras y formas de piques

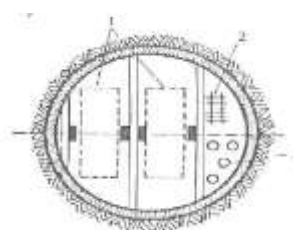
Rico, Rey (2006) en su publicación “Sistemas de izaje en minería subterránea-Piques y Winches” indica que las estructuras de un pique son de madera o de acero. Asimismo, las formas de sección transversal de un pique son generalmente de forma circular o rectangular. Para elegir la forma se debe tener en cuenta los siguientes criterios:

- La calidad del macizo rocoso
- El tiempo de servicio y el destino final del pique
- El material de sostenimiento a ser utilizado



**Figura 2.2.** Forma rectangular de la sección transversal de un pique

**Fuente:** Rico Rey, 2006, Sistemas de izaje en minería subterránea – Piques y Winches



**Figura 2.3.** Forma circular de la sección transversal de un pique

**Fuente:** Rico Rey, 2006, Sistemas de izaje en minería subterránea – Piques y Winches



## **2.2. Marco conceptual**

### **2.2.1. Pique**

Se define como una excavación vertical circular, elipsoide o cuadrada para acceder a los diferentes niveles de la mina; con el fin de realizar el transporte de mineral.

### **2.2.2. Tambora**

Cilindro metálico que sirve para el enrollamiento y acumulación del cable de acero que acciona el skip.

### **2.2.3. Guía**

Estructura rectangular metálica o de madera que sirve como guiador para el desplazamiento de las ruedas del skip. Esta estructura se encuentra anclada a la estructura principal del pique, su mantenimiento es de vital importancia y tiene el mayor desgaste debido a la interacción guardia a guardia con el skip.

### **2.2.4. Labio**

Es la plataforma rebatible de la tolva de acumulación de carga, el cual será accionado mediante un pulsador, ubicado en un tablero eléctrico, para dosificar la cantidad de mineral y abastecer la carga desde la tolva hacia las fajas transportadoras.

### **2.2.5. Faja**

Parte del sistema de transporte continuo en forma de banda que se mueve entre dos tambores y es soportado por polines; a través del cual se transporta el

mineral desde las tolvas hasta el acumulador de carga. Los tambores son accionados por uno o más motores.

#### **2.2.6. Bolsillo**

Estructura metálica de forma rectangular donde se acumula y dosifica la cantidad de mineral abastecido por la faja transportadora antes de ser descargado al skip.

#### **2.2.7. Rampa**

Estructura metálica inclinada ubicada entre el acumulador de carga y la zona de posicionamiento inferior del skip que sirve para guiar el desplazamiento del mineral al momento de realizar la descarga.

#### **2.2.8. Modelo**

Representación matemática o gráfica del sistema de transporte vertical o sus componentes, que permite determinar un resultado final a partir de datos de entrada.

## **CAPÍTULO III**

### **HIPÓTESIS Y OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES**

#### **3.1. Hipótesis**

El análisis del sistema de transporte vertical de mineral permitirá incrementar la productividad del winche eléctrico en un 5% en minas subterráneas.

#### **3.2. Definición de variables**

##### **3.2.1. Variable Independiente**

Análisis del sistema de transporte vertical de mineral.

##### **3.2.2. Variable Dependiente**

Productividad del winche eléctrico en minas subterráneas.

### 3.3. Operacionalización de las Variables

**Tabla 3.1.** Operacionalización de las variables

VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	PREGUNTAS
<b><u>Independiente:</u></b>  Análisis del sistema de transporte vertical de mineral	Mejora continua	Ciclo del skip (s/vj.)	¿Qué pasa si se rompe el cable del winche?
	Reingeniería	Velocidad media del skip (pies/min)	¿A cuánto se puede aumentar la velocidad del skip en las presentes condiciones?
		Tiempo promedio por parada (min/N° paradas)	¿Se debe cambiar el motor del winche eléctrico?
		Número de paradas por guardia (N° paradas/gdia)	¿Cómo reducir la humedad en la carga mineralizada?
¿Se puede automatizar el sistema de lanzado de aire?			
<b><u>Dependiente:</u></b>  Productividad del winche eléctrico	Equipo	N° Skips izados por hora (N°/hr)	¿Se puede incrementar el número de skips izados por hora?
	Laboral		¿Cómo impactan en las condiciones de trabajo las modificaciones en el sistema de transporte vertical de mineral?

**Fuente:** Elaboración propia

## **CAPÍTULO IV**

### **METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **4.1. Tipo y diseño de la investigación**

El tipo de investigación, desde el punto de vista del enfoque, es cuantitativa porque de las siete características epistemológicas seis corresponden a una investigación cuantitativa. La percepción de la realidad es objetiva porque está basada en teorías previas, el razonamiento es deductivo ya que contrasta la hipótesis, la finalidad es la comprobación de la hipótesis, está orientada a la productividad del winche eléctrico como resultado, el principio de verdad está centrada en similitudes con otros sistemas de izaje de mineral y la causalidad depende de antecedentes específicos.

El tipo de investigación desde el punto de vista del alcance es correlacional porque relaciona la productividad del winche eléctrico con el ciclo del skip.

El diseño de la investigación es experimental porque se realizará un análisis del sistema de transporte vertical modificando parámetros operativos con el objetivo de reducir el ciclo del skip.

## 4.2. Unidad de análisis

El sujeto de estudio de la investigación es la empresa minera Nexa Resources El Porvenir, mina polimetálica ubicada en la provincia de Cerro de Pasco a una altura promedio de 4200 msnm y con una profundidad de pique para izaje de mineral de 1280 m.

### 4.2.1. Ubicación

La Unidad Minera El Porvenir pertenece al Distrito de San Francisco de Yarusyacán, Provincia de Cerro de Pasco, Región Andrés Bello Cáceres y está situada a 16 km al NE de la localidad de Cerro de Pasco.



**Figura 4.1.** Plano de ubicación UM El Porvenir

**Fuente:** Neyra, César, 2015, Informe técnico UM El Porvenir

Su ubicación exacta es en la intersección de las coordenadas geográficas 10°35' de latitud Sur y 76°12' de longitud Oeste.

La mineralización ocurre en brechas calcáreas y en los intrusivos que contienen mineralización en vetillas. Los sulfuros se encuentran emplazados en el skarn.

#### **4.2.2. Pique Picasso**

El pique principal para transporte vertical de mineral se llama Pique Picasso. Está diseñado con cuatro compartimientos: dos para el desplazamiento de los skips con mineral, uno para el traslado de personal y uno para servicios y escalera de emergencia e inspección.

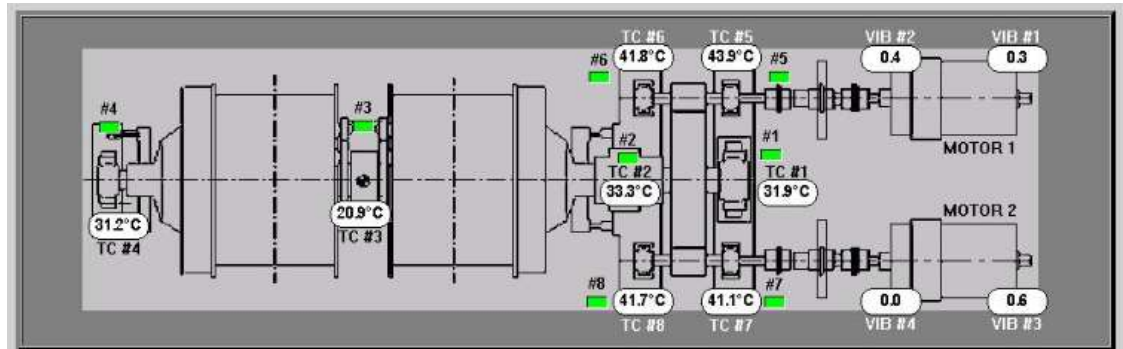
La estructura principal del pique se realizó en dos fases: Fase 1 – estructura de madera desde el nivel 4110 hasta el nivel 3250; y Fase 2 – estructura de metal desde el nivel 3250 hasta el nivel 2830.

En el nivel 2830 se ubican las sillas del skip que son los puntos máximos de deslizamiento y donde se posiciona el skip para su posterior carguío. Desde dicho nivel hasta el nivel 2790 la excavación se encuentra libre y como contingencia ante inundaciones.

#### **4.2.3. Sistema de izaje**

El sistema de izaje analizado consta del winche eléctrico de producción marca TILEY, modelo 3645 y de doble tambora con 2 motores de 2931 HP, tal y como se muestra en la figura 4.2. Asimismo, está conformada por cable de acero

de 2 ¼”, se opera a una velocidad máxima de 3,000 pies por minuto y una distancia máxima de izaje de 5,420 pies.



**Figura 4.2.** Vista en planta de los motores y winche de doble tambora del sistema de izaje

**Fuente:** Tovalino, Ervin, 2018, Informe de sistema eléctrico winche de mineral. Asimismo, en el nivel 4070 se ubican la sala de monitoreo y operación de winche de mineral, la sala de drivers, motores eléctricos, tamboras y sub-estaciones que distribuyen energía hacia el winche.

En el nivel 4088 se encuentra la zona de descarga del skip y en el nivel 4110 se ubica la polea principal sobre el eje del pique.

#### 4.2.4. Sistema de fajas y tolvas de acumulación de mineral

El sistema de fajas transportadoras y las tolvas de acumulación de mineral se encuentran en el nivel 2865.

La distribución de fajas se encuentra de la siguiente manera:

- Faja 1: Direccionado hacia la tolva de depósito de mineral u Ore Bin.

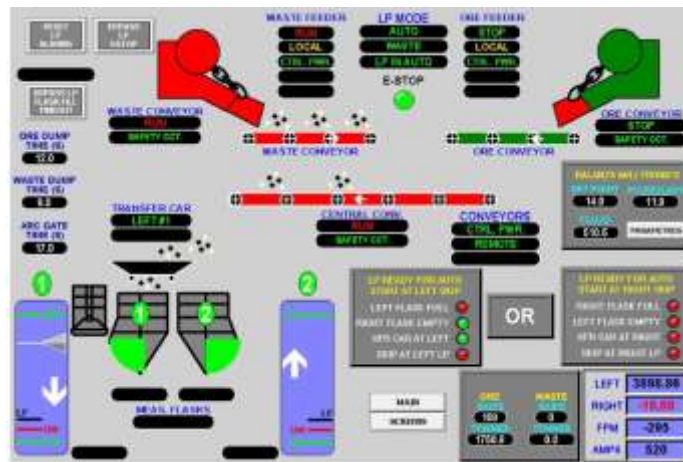


- Faja 2: Direccionado hacia la tolva de depósito de desmonte o Waste Bin. Ambas fajas transportan el mineral desde la tolva asignada hacia la faja 3.
- Faja 3: Llamada faja central y ubicada perpendicularmente a las fajas 1 y 2. Sirve como punto de encuentro de ambas fajas para direccionar el mineral hacia el acumulador de carga.

A través de un pulsador, ubicado en el tablero eléctrico sobre las plataformas externas de las tolvas de carguío, el operador acciona el labio de la tolva para dosificar la cantidad de mineral que se abastece a la faja. Asimismo, dependiendo del tipo de mineral el operador a través de un selector ubicado en el mismo tablero eléctrico selecciona la velocidad de las cadenas para mantener fluido el abastecimiento de carga hacia las fajas.

Por otro lado, se dispone de una balanza electrónica en la faja central para dosificar la cantidad de carga abastecida al acumulador. La cantidad de tonelaje abastecido dependerá de la densidad del mineral ya que la capacidad volumétrica del acumulador es constante.

La figura 4.3. muestra el modelo gráfico de la sección longitudinal del nivel 1205, incluyendo las tolvas de depósito de mineral, fajas transportadoras y bolsillos acumuladores de carga a través de un sistema SCADA.



**Figura 4.3.** Modelo de sección longitudinal nivel 1205 – Sistema SCADA

**Fuente:** Tovalino, Ervin, 2018, Informe de sistema eléctrico winche de mineral

### 4.3. Matriz de consistencia

Título: Evaluación del sistema de transporte vertical de mineral para incrementar la productividad del winche eléctrico en minas subterráneas.

**Tabla 4.1.** Matriz de consistencia

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLES		INDICADOR	TECNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCION DE DATOS
			DEPENDIENTE	INDEPENDIENTE		
¿Cuáles son las causas de la baja productividad del winche eléctrico en el sistema de transporte vertical de mineral?	Analizar el sistema de transporte vertical de mineral para incrementar la productividad del winche eléctrico de una operación minera subterránea.	El análisis del sistema de transporte vertical de mineral permitirá incrementar la productividad del winche eléctrico en un 5% en minas subterráneas.	V.D.1: Productividad del winche eléctrico en minas subterráneas.	V.I.1: Análisis del sistema de transporte vertical de mineral.	Ciclo de izaje del skip (segundos).  Costo de izaje de mineral por la reducción del costo fijo (US\$/tms).	1. Reporte diario de izaje de mineral.  2. Registro de operación de winche de mineral.

**Fuente:** Elaboración propia

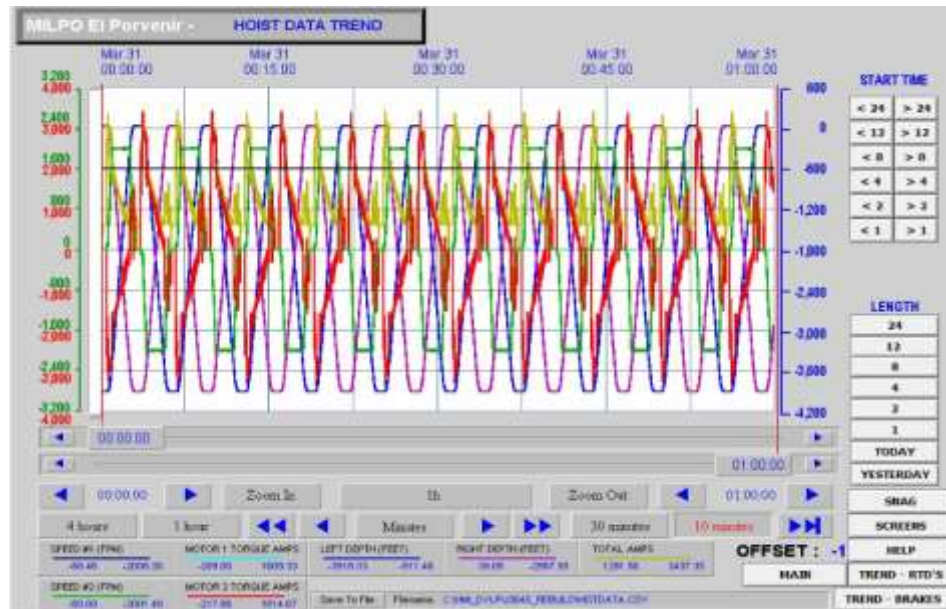
## **CAPÍTULO V**

### **DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **5.1. Recolección de datos**

Se recolectó información histórica, correspondiente a 4 meses previos al análisis, de la cantidad de skips izados por día y el tiempo de paradas indicando los motivos por las cuales el sistema de transporte vertical se encontraba paralizado. Adicional a ello, se recolectó información de enero a mayo 2021, usando los anexos N° 1 y N° 2.

Las horas exactas de inicio y fin de parada se obtuvieron del software INTOUCH-Scada, elaborado por la empresa Schneider Electric, mostrado en la figura 5.1., donde la curva azul muestra el ciclo del skip N° 1 y la curva morada el ciclo del skip N°2.



**Figura 5.1.** Pantalla de control sistema de izaje skip derecho y skip izquierdo

**Fuente:** Tovalino, Informe de sistema eléctrico winche de mineral, 2021

Los tiempos de paradas se registraron en horas y la cantidad de skips izados se registraron hora a hora, según se muestran en la tabla 5.1. y 5.2. respectivamente.

**Tabla 5.1.** Registro de paradas sistema de izaje en horas

FECHA	TURNO	GUARDIA	H. INICIO	H. FINAL	TIEMPO	DESVÍO
1/01/2021	DIA	C	7.00	8.00	1.00	Falta de Mineral Nv. 2865
1/01/2021	DIA	C	8.00	8.06	0.10	Prueba de frenos
1/01/2021	DIA	C	8.06	11.24	3.30	Mto mecánico programado
1/01/2021	DIA	C	13.10	14.12	1.03	Falta de Mineral Nv. 2865
1/01/2021	DIA	C	18.45	19.00	0.25	Falta de Mineral Nv. 2865
1/01/2021	NOCHE	B	19.00	19.06	0.10	Prueba de frenos
1/01/2021	NOCHE	B	19.06	20.23	1.28	Falta de Mineral Nv. 2865
1/01/2021	NOCHE	B	5.46	5.55	0.15	Campaneo cadena OB

**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 5.2.** Registro de skips por hora y tonelaje asignado

FECHA	TURNO	GUARDIA	HORA	N° SKIPS	TONELAJE
1/01/2021	DIA	C	07:00 a 08:00	0	13.5
1/01/2021	DIA	C	08:00 a 09:00	0	13.5
1/01/2021	DIA	C	09:00 a 10:00	0	13.5
1/01/2021	DIA	C	10:00 a 11:00	0	13.5
1/01/2021	DIA	C	11:00 a 12:00	12	13.5
1/01/2021	DIA	C	12:00 a 13:00	19	13.5
1/01/2021	DIA	C	13:00 a 14:00	3	13.5
1/01/2021	DIA	C	14:00 a 15:00	15	13.5
1/01/2021	DIA	C	15:00 a 16:00	19	13.5
1/01/2021	DIA	C	16:00 a 17:00	18	13.5
1/01/2021	DIA	C	17:00 a 18:00	19	13.5
1/01/2021	DIA	C	18:00 a 19:00	15	13.5
1/01/2021	NOCHE	B	19:00 a 20:00	0	14
1/01/2021	NOCHE	B	20:00 a 21:00	11	14
1/01/2021	NOCHE	B	21:00 a 22:00	18	14
1/01/2021	NOCHE	B	22:00 a 23:00	19	14
1/01/2021	NOCHE	B	23:00 a 00:00	18	14
1/01/2021	NOCHE	B	00:00 a 01:00	19	14
1/01/2021	NOCHE	B	01:00 a 02:00	19	13.5
1/01/2021	NOCHE	B	02:00 a 03:00	19	13.5
1/01/2021	NOCHE	B	03:00 a 04:00	19	13.5
1/01/2021	NOCHE	B	04:00 a 05:00	19	13.5
1/01/2021	NOCHE	B	05:00 a 06:00	16	13.5
1/01/2021	NOCHE	B	06:00 a 07:00	19	13.5

**Fuente:** Elaboración propia

El registro de operación de winche de mineral se estructuró de la siguiente manera:

PARTE 1: Datos del operador, fecha, guardia.

PARTE 2: Pruebas de frenos en vacío de los skips y piñón.

PARTE 3: Parámetros operativos de los componentes del sistema de izaje.

PARTE 4: Relatorio de observaciones durante la guardia.

Los datos recolectados se compilaron en el libro de registro por parte del operador de winche de mineral.

## 5.2. Procesamiento de la información

### 5.2.1. Procesamiento de información previa a la investigación

Para el desarrollo de la investigación se revisó información histórica de la cantidad de skips izados por día correspondiente a 4 meses previos al análisis, tal como se muestra en la figura 5.2.

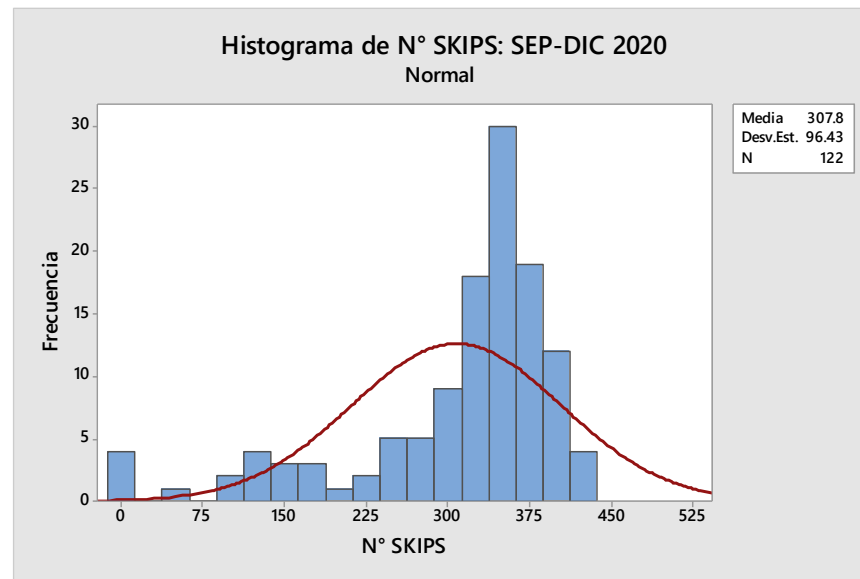


**Figura 5.2.** Número de skips izados por día de septiembre a diciembre 2020

**Fuente:** Elaboración Propia

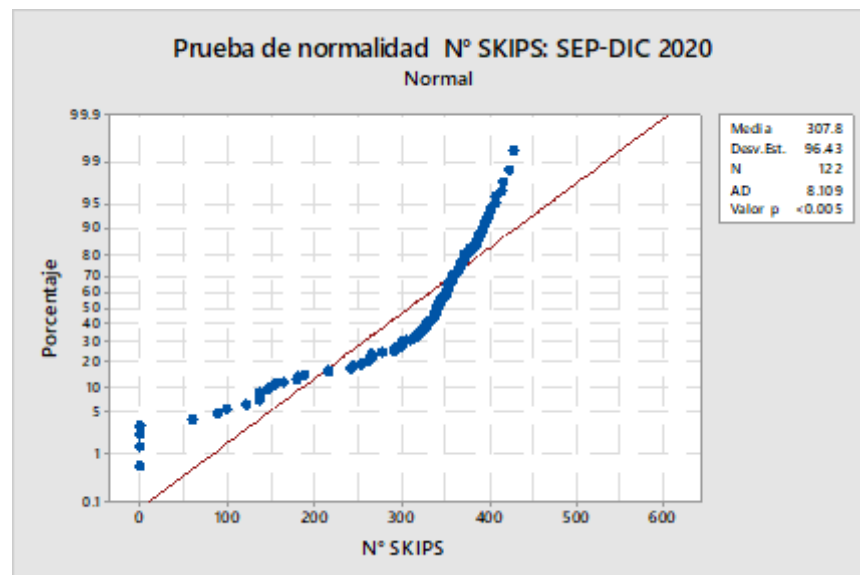
Los datos recolectados, que fueron ingresados a una base de datos digital en hojas de cálculo de Excel, se procesaron en los softwares Minitab y Power BI.

Las gráficas obtenidas antes del periodo de análisis (septiembre-diciembre 2020) fueron las siguientes:



**Figura 5.3.** Histograma del número de skips izados por día  
Septiembre a diciembre 2020

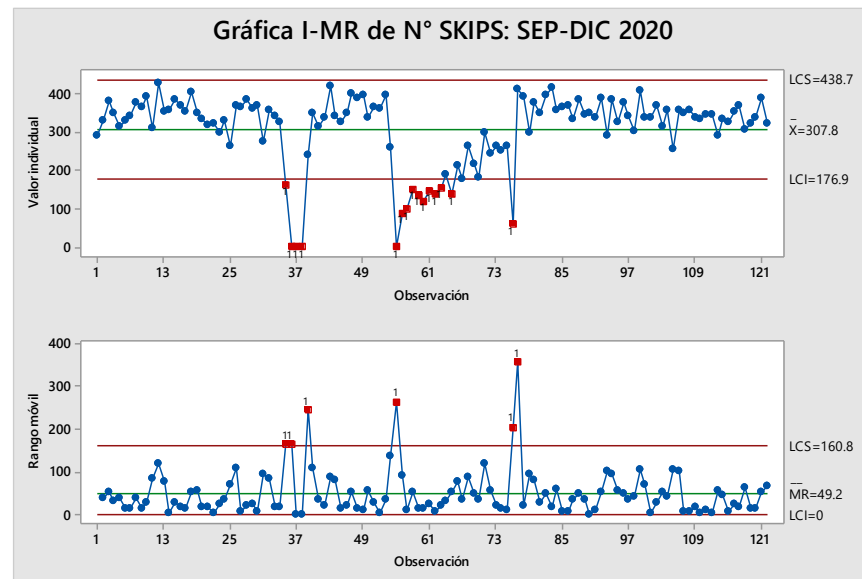
**Fuente:** Elaboración Propia



**Figura 5.4.** Prueba de normalidad del número de skips izados por día  
Septiembre a diciembre 2020

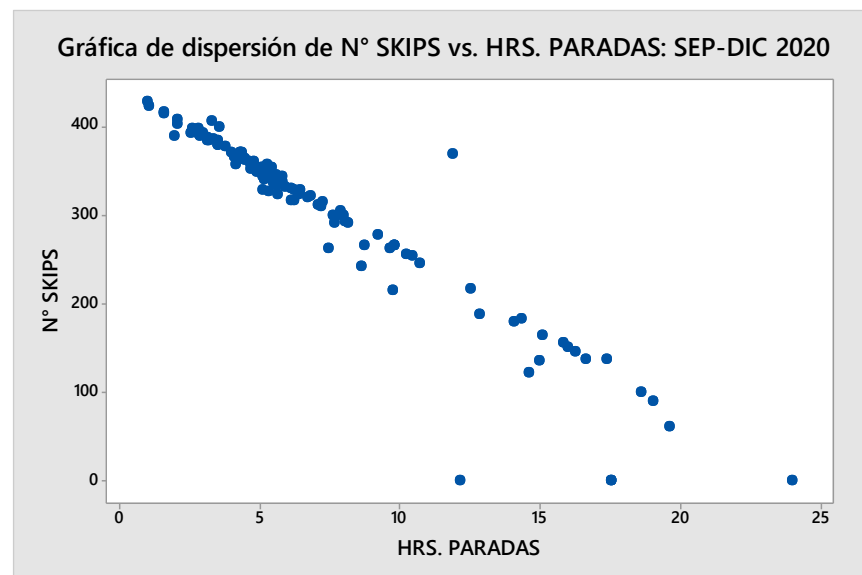
**Fuente:** Elaboración Propia





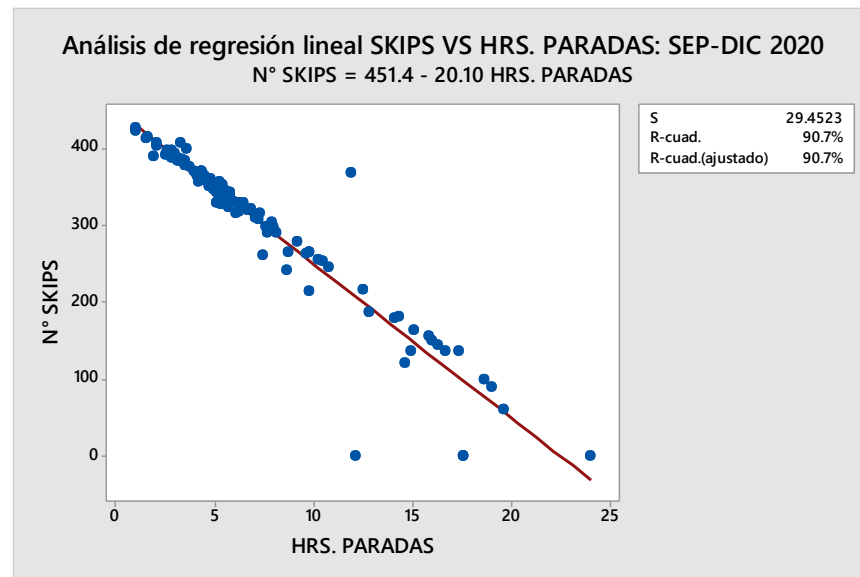
**Figura 5.5.** Datos Individuales y Rango Móvil de skips izados por día  
Septiembre a diciembre 2020

**Fuente:** Elaboración Propia



**Figura 5.6.** Gráfica de dispersión de N° skips y horas de paradas diarias  
Septiembre a diciembre 2020

**Fuente:** Elaboración Propia



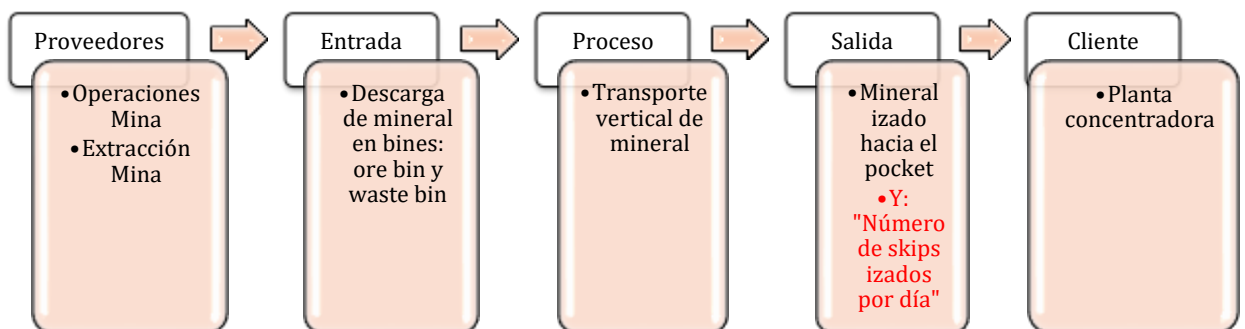
**Figura 5.7.** Análisis de regresión lineal  $N^{\circ}$  skips y horas de paradas diarias

Septiembre a diciembre 2020

**Fuente:** Elaboración Propia

### 5.2.2. Matriz SIPOC

Asimismo, se realizó un mapeo del proceso (Matriz SIPOC) de transporte vertical de mineral (ver figura 5.8.) para listar las principales variables de salida para el cliente (foco de la primera etapa del mapeo del proceso):



**Figura 5.8.** Etapa 01: Listado de las principales variables de salida para el cliente

**Fuente:** Elaboración propia

Posteriormente se identificaron las etapas del proceso en el transporte vertical de mineral (foco de la segunda etapa del mapeo del proceso):



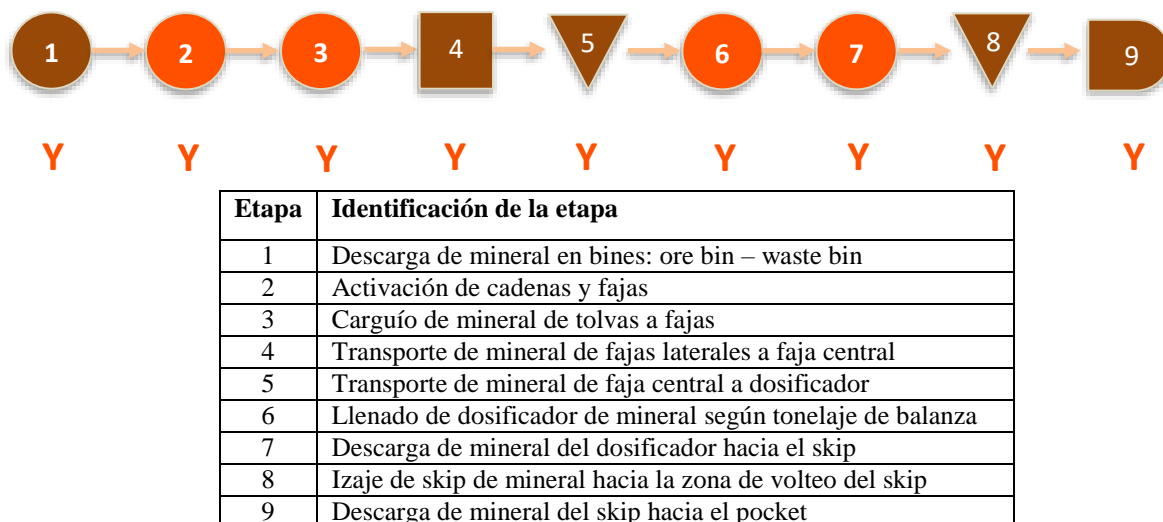
Etapa	Identificación de la etapa
1	Descarga de mineral en bines: ore bin – waste bin
2	Activación de cadenas y fajas
3	Carguío de mineral de tolvas a fajas
4	Transporte de mineral de fajas laterales a faja central
5	Transporte de mineral de faja central a dosificador
6	Llenado de dosificador de mineral según tonelaje de balanza
7	Descarga de mineral del dosificador hacia el skip
8	Izaje de skip de mineral hacia la zona de volteo del skip
9	Descarga de mineral del skip hacia el pocket

**Figura 5.9.** Etapa 02: Identificación de las etapas del proceso

**Fuente:** Elaboración propia

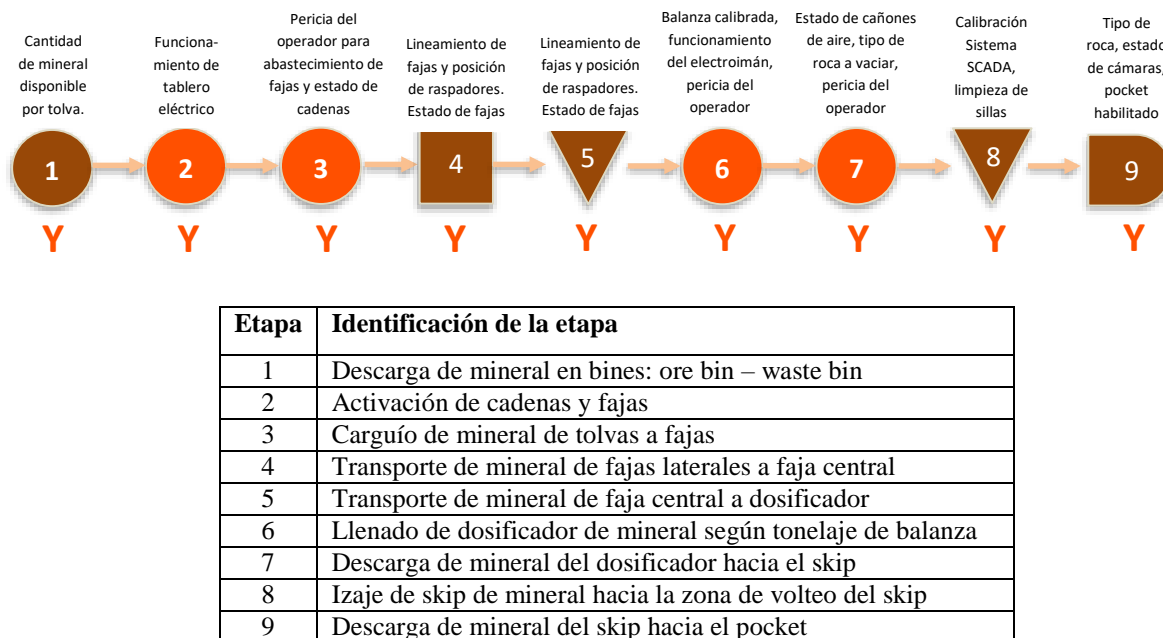
En el mapa que se muestra en la figura 5.10. se identificó cada proceso que afecta a la variable de salida “Y” y en el mapa de la figura 5.11. se identificaron las principales variables de entrada que afectan el resultado final.

Con la identificación de estas variables de entrada se pudo focalizar los puntos más importantes para la evaluación en el análisis de datos y según los resultados obtenidos por problemas de paradas de izaje en la recolección de datos.



**Figura 5.10.** Etapa 03: Relación de los parámetros de calidad críticos que impactan cada etapa

**Fuente:** Elaboración propia



**Figura 5.11.** Etapa 04: Identificar las principales variables de entrada

**Fuente:** Elaboración propia

### 5.2.3. Actividades programadas para el izaje de mineral

Se elaboró la tabla 5.3. que muestra todas las intervenciones de mantenimiento que están programadas en la semana y se hizo un contraste con la meta de skips izados por día que se requiere.

**Tabla 5.3.** Cuadro de paradas diarias programadas en el sistema de izaje

DESCRIPCION	UNIDAD	LUN	MAR	MIE	JUE	VIE	SAB	DOM	
<b>HORAS TOTALES</b>	hr	24.00	24.00	24.00	24.00	24.00	24.00	24.00	
<b>HORAS DE PRUEBA DE FRENOS D/N</b>	hr	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	
<b>HORAS DE MANTENIMIENTO PROGRAMADO</b>	hr	4.00	4.00	2.00	4.00	4.00	0.00	0.67	
<b>HORAS DISPONIBLES</b>	hr	19.80	19.80	21.80	19.80	19.80	23.80	23.13	
<b>CICLO SKIP</b>	seg	188.00	188.00	188.00	188.00	188.00	188.00	188.00	
<b>SKIPS/HORA</b>	Nº/hr	19.15	19.15	19.15	19.15	19.15	19.15	19.15	
<b>SKIPS/HORA SINCERADO</b>	Nº/hr	18	18	18	18	18	18	18	<b>TOTAL SEMANAL</b>
<b>SKIPS/DIA</b>	Nº/día	356	356	392	356	356	428	416	<b>2660</b>
<b>SKIPS PROMEDIO/DIA</b>									<b>380</b>
@13.5 Tn/Skip									<b>5130 TPD</b>

**Fuente:** Elaboración propia

Como se evidencia en la tabla 5.3., el promedio diario de skips a izar es de 380 y el promedio de toneladas por skip es de 13.5 T; por lo cual se ejecuta un total diario de 5130 toneladas.

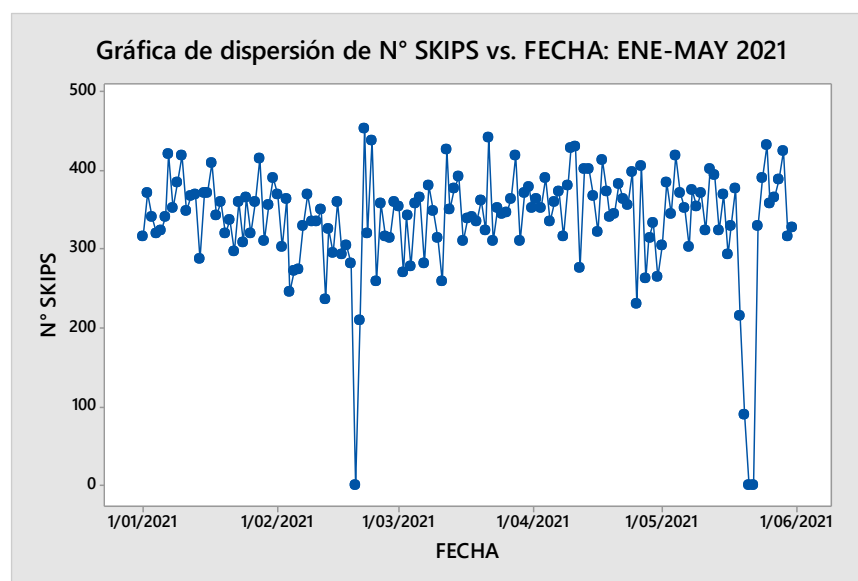
El requerimiento actual de la empresa minera es de 5100 toneladas, lo que implica que el sistema de izaje no debe presentar retrasos adicionales y si el directorio requiriese aumentar la cantidad de toneladas izadas por día se debe realizar un análisis a mayor detalle del sistema total.

Por lo tanto, se establece previamente una relación inversamente proporcional entre el número de skips y las horas paradas diarias.

#### 5.2.4. Procesamiento de información de la investigación

En esta etapa se procesaron los datos recolectados durante la investigación.

Las gráficas obtenidas durante el periodo de análisis (enero-mayo 2021) se muestran a continuación.

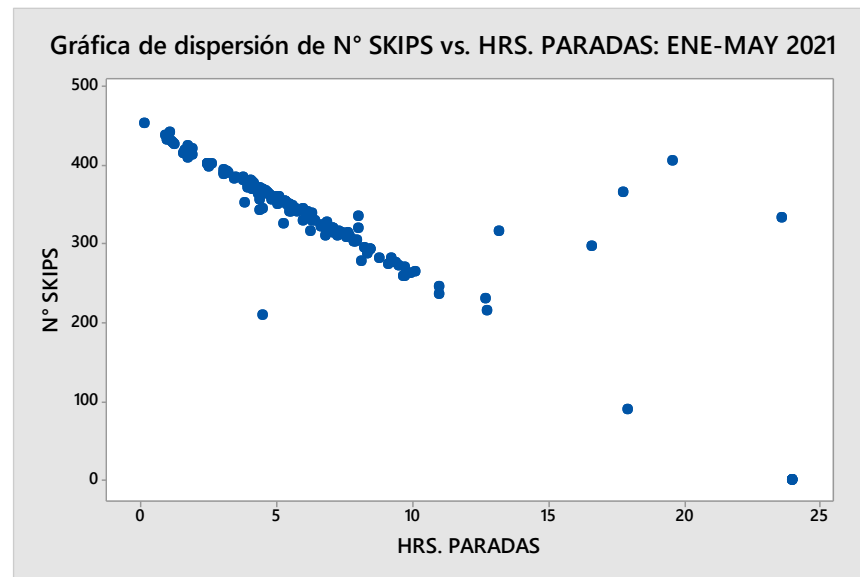


**Figura 5.12.** Número de skips izados por día de enero a mayo 2021

**Fuente:** Elaboración Propia

La figura 5.12. muestra el número de skips izados a lo largo de los meses de enero a mayo 2021 y la figura 5.13. muestra la relación entre el número de skips y las horas paradas.

En el lado superior derecho de la figura 5.13. se observa inconsistencias entre el número de skips y las horas paradas, por lo cual se realizó una revisión de los datos para determinar su veracidad o si hubo algún error en el ingreso de ellos al sistema.

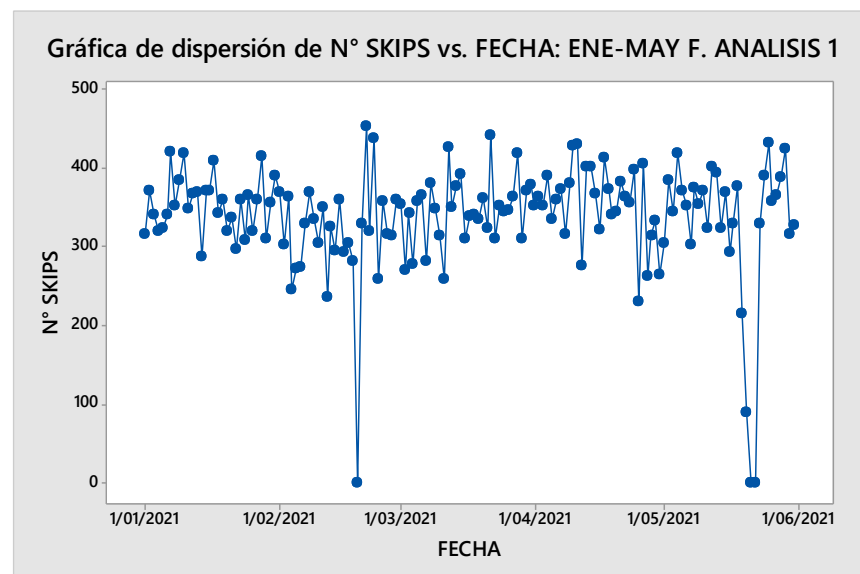


**Figura 5.13.** Gráfica de dispersión de N° skips y horas de paradas diarias

Enero a mayo 2021

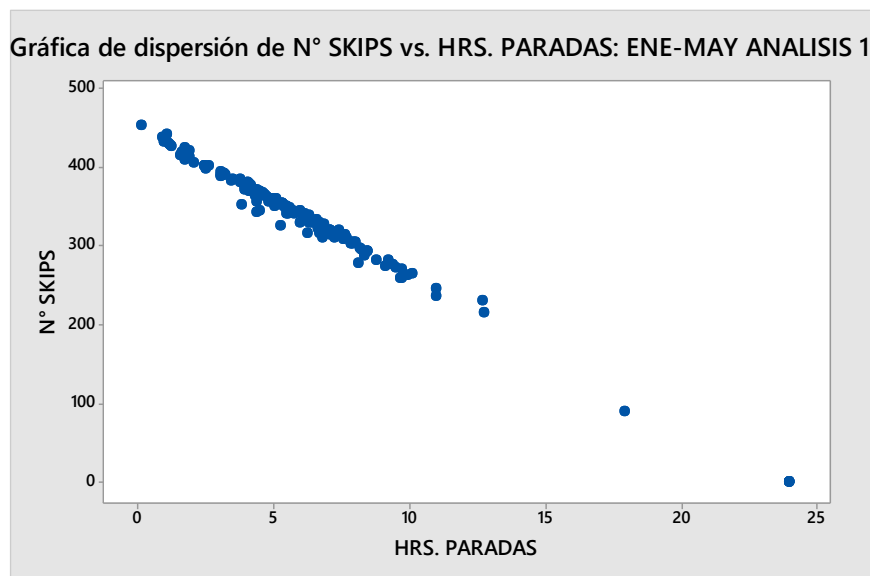
**Fuente:** Elaboración Propia

Una vez realizada la revisión se obtuvieron las siguientes gráficas:



**Figura 5.14.** Número de skips izados corregidos por día de enero a mayo 2021

**Fuente:** Elaboración Propia



**Figura 5.15.** Número de skips izados corregidos vs horas de parada diarias

Enero a mayo 2021

**Fuente:** Elaboración Propia

Durante la revisión de los datos se encontraron que algunos fueron registrados digitalmente de manera errada, por lo que fueron corregidos y se obtuvieron las gráficas mostradas en las figuras 5.14. y 5.15.

Sin embargo, a pesar de mostrarse una relación inversamente proporcional entre el número de skips izados y horas totales de parada, se observan puntos extremos que serán analizados en la siguiente etapa.



### 5.3. Análisis de la información

Para el análisis de la información se usaron los softwares Power BI y Minitab.

Primeramente, se procedió a verificar la gráfica de la figura 5.14. en el software power BI, tal como se muestra en la figura 5.16.

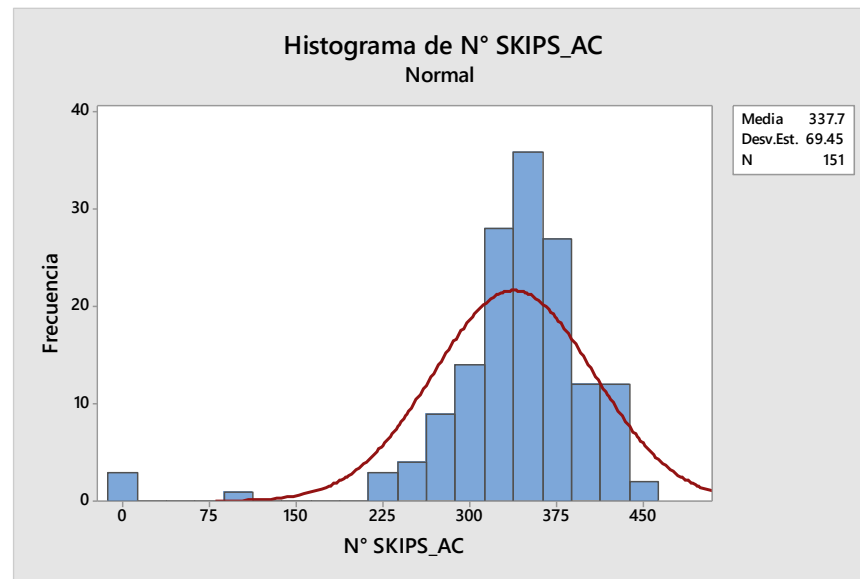


**Figura 5.16.** Número de skips izados por día de enero a mayo 2021

**Fuente:** Elaboración Propia

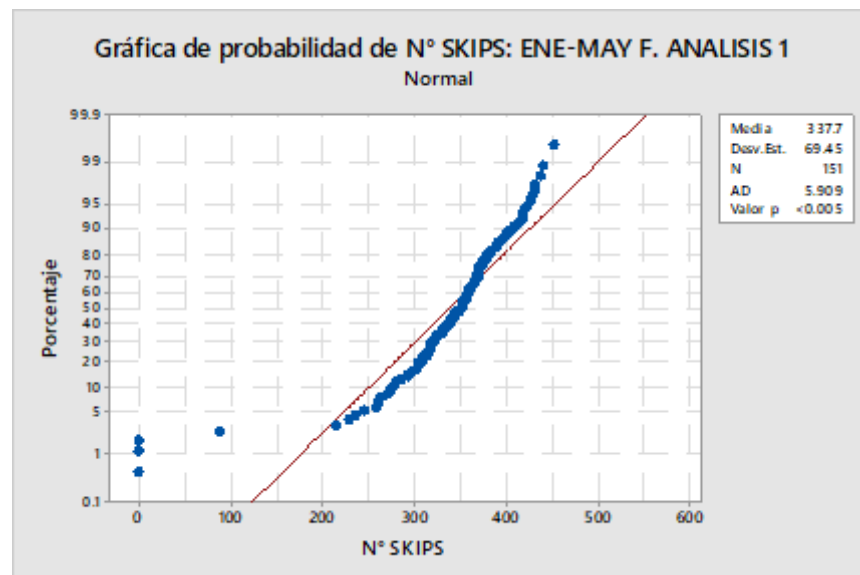
Seguidamente se realizó el histograma de distribución de skips izados por día y la campana de Gauss para verificar la simetría de la campana y saber si los datos tienen un comportamiento en función a una distribución normal.

Tal como se aprecia en la figura 5.17., la campana presenta una tendencia central hacia un lado de la gráfica. Sin embargo, existen datos anómalos fuera de este comportamiento. Por tal motivo, los datos son analizados en el software Minitab a través de una prueba de normalidad y el resultado se muestra en la figura 5.18.



**Figura 5.17.** Histograma del número de skips izados por día  
Enero a mayo 2021

**Fuente:** Elaboración Propia



**Figura 5.18.** Prueba de normalidad de skips izados por día  
Enero a mayo 2021

**Fuente:** Elaboración Propia

Para pruebas de hipótesis al realizar la prueba de normalidad, se establecen los siguientes criterios:

Si  $p < 0,005$ ; la hipótesis con un 95% de confianza es nula, osea los datos no presentan una distribución normal

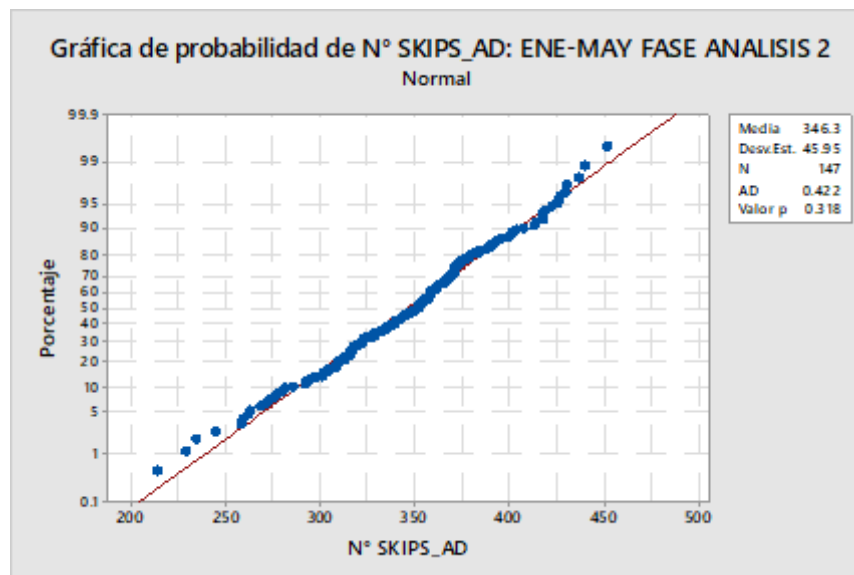
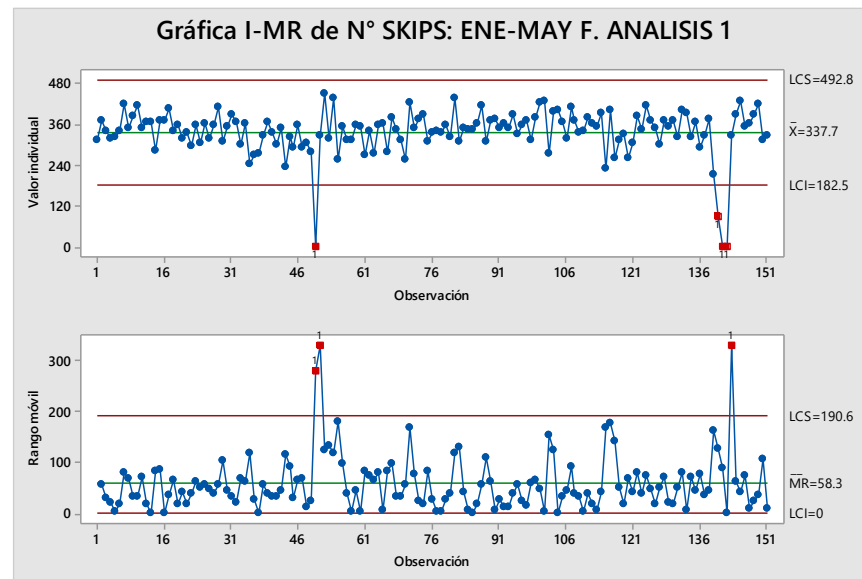
Si  $p > 0,005$ ; la hipótesis con un 95% de confianza es verdadera, osea los datos presentan una distribución normal.

Por tal motivo, según el resultado obtenido en la figura 5.18., se determina que los datos no presentan una distribución normal.

Posterior a este resultado, se realizó un análisis de los datos anómalos bajo el criterio de la gráfica individual con rangos móviles (Gráfica I-MR), tal como se muestra en la figura 5.19., identificando que dichos datos habían sido obtenidos durante los periodos de paradas de planta.

Estos puntos fueron identificados como anómalos al proceso y se retiraron del análisis de la información.

Finalmente, se volvió a realizar la prueba de normalidad, como se muestra en la figura 5.20. Usando el mismo criterio, mencionado líneas arriba para pruebas de normalidad, se obtuvo un  $p = 0.318$ , por lo que se puede afirmar que estamos ante datos con distribución normal y la probabilidad de los datos puede ser predecible. Asimismo, a partir de ello podemos conocer si nuestro proceso se encuentra bajo control o requiere de ajustes para cumplir las metas establecidas.



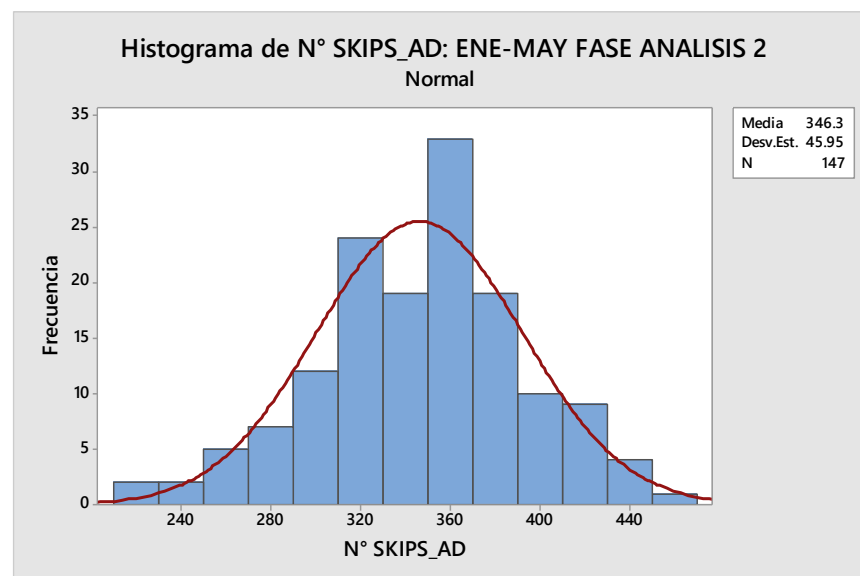
Las gráficas finales con datos depurados son las siguientes:



**Figura 5.21.** Número de skips izados por día con datos depurados

Enero a mayo 2021

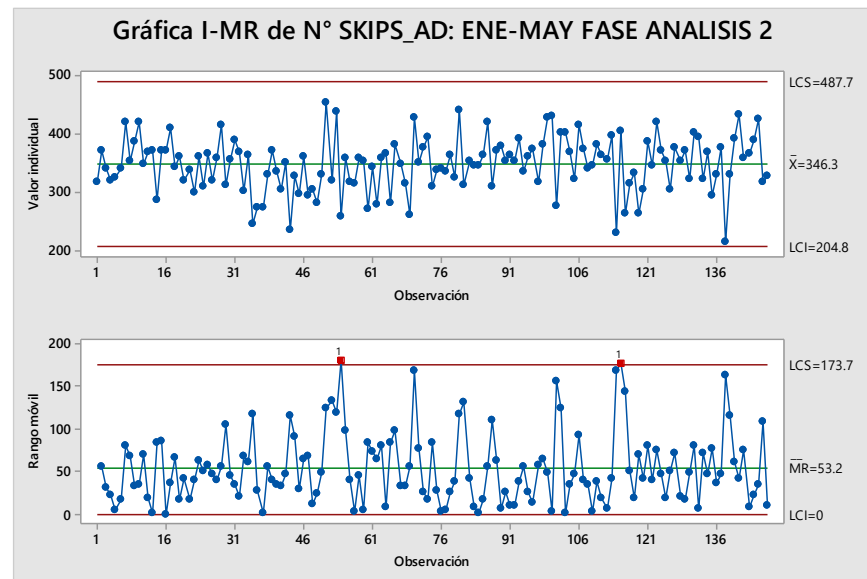
**Fuente:** Elaboración Propia



**Figura 5.22.** Histograma del número de skips izados por día

Enero a mayo 2021 (depurado)

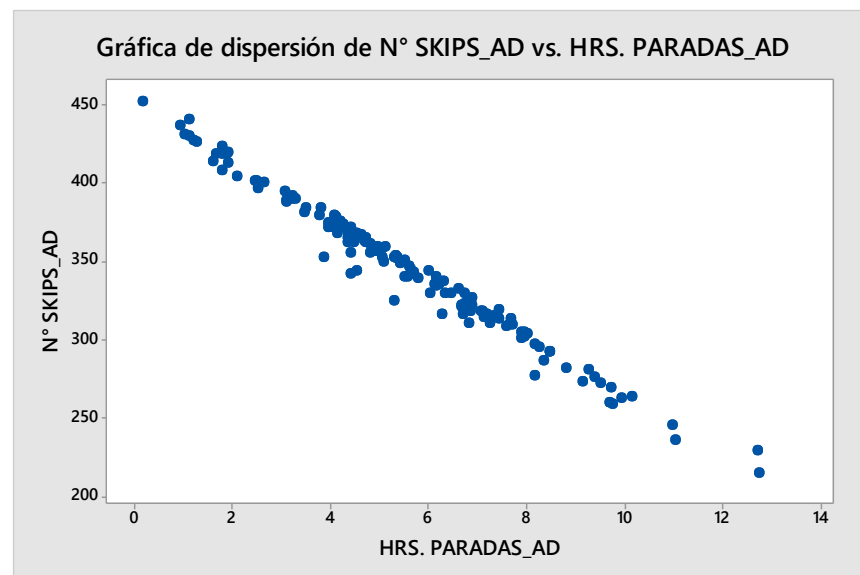
**Fuente:** Elaboración Propia



**Figura 5.23.** Gráfica I-MR de skips izados por día

Enero a mayo 2021 (depurado)

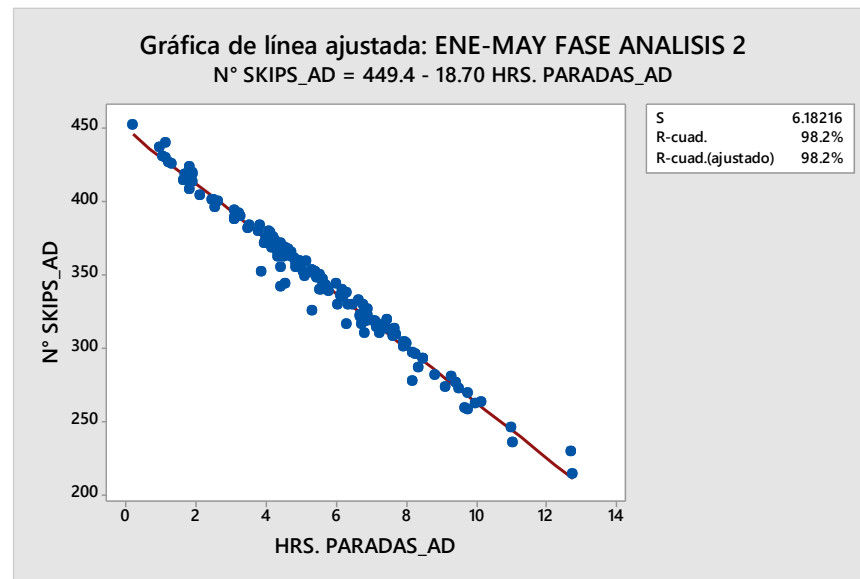
**Fuente:** Elaboración Propia



**Figura 5.24.** Gráfica de dispersión de N° skips y horas de paradas diarias

Enero a mayo 2021 (depurado)

**Fuente:** Elaboración Propia



**Figura 5.25.** Gráfica de análisis de regresión lineal de N° skips y horas de paradas diarias

Enero a mayo 2021

**Fuente:** Elaboración Propia

Como se aprecia en la figura 5.22. los datos tienen una distribución normal por lo que se puede predecir el resultado con un 95% de confianza.

Asimismo, según muestra la gráfica de la figura 5.25., el número de skips izados es inversamente proporcional al número de horas paradas y es representado por la siguiente ecuación:

$$y = 449.4 - 18.7 \times x$$

Donde:

*y*: N° skips izados (und)

*x*: horas paradas (hrs.)

Una vez determinado que tenemos datos de distribución normal, se realizan gráficas de análisis para determinar comportamientos específicos de los datos.

Estas gráficas son:

Tiempo y frecuencia de paradas – Diagrama de Pareto

Skips izados por hora – Gráfica de líneas

N° Skips por guardia - Gráficas de bastones y de violín

N° Skips izados por hora y por día de semana - Gráfica de radar

Se realiza el análisis de Pareto en la figura 5.26. para determinar las causas principales (80-20) por las que paraliza el sistema de transporte vertical:



**Figura 5.26.** Diagramas de Pareto interrelacionados por Sistema-Grupo-Subgrupo para tiempos de paradas y frecuencias en el sistema de transporte vertical

Enero a mayo 2021

**Fuente:** Elaboración Propia



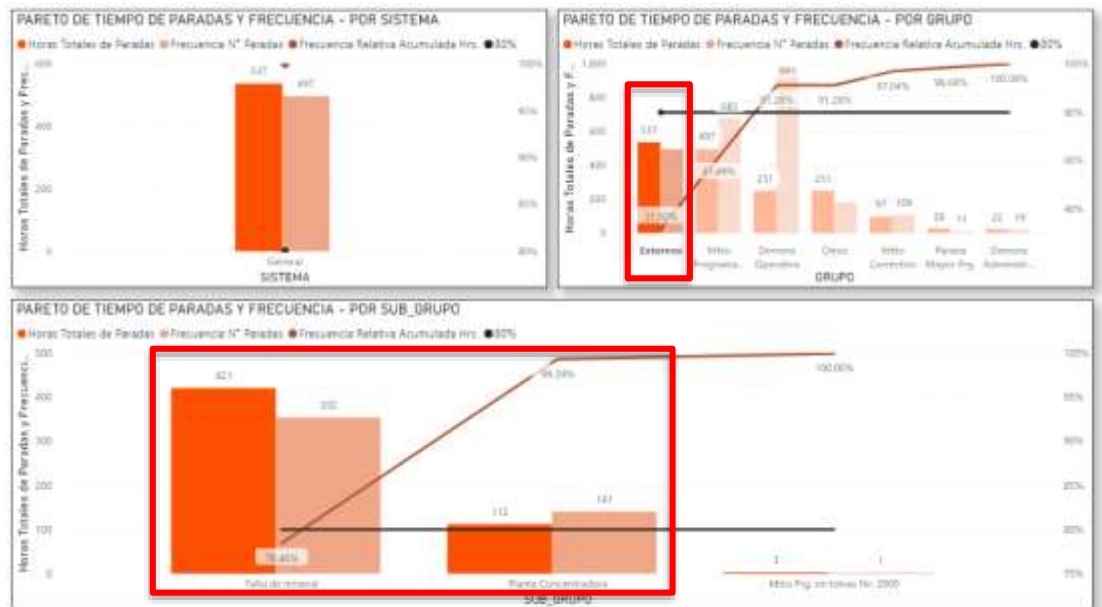
Como se aprecia en la figura 5.26., la principal parada es la que afecta al sistema en general (59% de las paradas) por lo que se selecciona este sistema, tal como se muestra en la figura 5.27. En esta gráfica se puede interpretar que las paradas para el sistema en general se deben a parámetros externos al sistema de izaje, y en la figura 5.28. se observa que estas paradas externas son la falta de mineral y paradas de la planta concentradora.



**Figura 5.27.** Diagramas de Pareto interrelacionados para tiempos de paradas y frecuencias que inciden directamente en el sistema de transporte vertical en general

Enero a mayo 2021

**Fuente:** Elaboración Propia



**Figura 5.28.** Diagramas de Pareto interrelacionados para tiempos de paradas y frecuencias que inciden directamente en el grupo de paradas externas del sistema de transporte vertical en general

Enero a mayo 2021

**Fuente:** Elaboración Propia

Debido a la falta de mineral como principal causa de la parada del sistema de transporte vertical general mostrado en la figura 5.28, se realizó un análisis hora a hora de la cantidad promedio de skips izados obteniéndose los resultados que se muestran en la figura 5.29:



**Figura 5.29.** Promedio de número de skips izados por hora diariamente

Enero a mayo 2021

**Fuente:** Elaboración Propia

Como se observa en la figura 5.29., se forman 2 ciclos con tendencia a la reducción del número de skips izados. El ciclo 1 está determinado por las paradas de mantenimiento programado. Sin embargo, el ciclo 2 está determinado por la falta de abastecimiento de mineral al sistema de transporte vertical. Por tal motivo se debería trabajar en la mejora de abastecimiento de mineral o prolongar una hora más el mantenimiento del turno día de manera que el tonelaje dejado de izar por la mañana reemplace al tonelaje izado en el cambio de guardia. De esta manera se aprovecharía de manera más eficiente las horas de parada del sistema de transporte vertical garantizando el mantenimiento de este.



**Figura 5.30.** Diagramas de Pareto interrelacionados para tiempos de paradas y frecuencias que inciden directamente en el sistema de izaje

Enero a mayo 2021

**Fuente:** Elaboración Propia

Respecto al sistema de izaje, como se aprecia en la figura 5.30., las paradas (85.3% acumulado en la gráfica de Pareto) se deben principalmente a diversos factores imprevistos dentro del sistema pero que no son objetos analizables debido a su variedad de apariciones. La segunda y tercera causa principal de paradas son los mantenimientos tanto mecánico como de infraestructura del pique los cuales garantizan el funcionamiento del sistema y están monitoreados por las áreas de mantenimiento y mina respectivamente. Por lo tanto, no se realiza un mayor análisis de estos ítems, sólo se resalta que es necesario cumplir con las horas programadas y que estas intervenciones aseguren la disponibilidad del sistema de izaje.



**Figura 5.31.** Diagramas de Pareto interrelacionados para tiempos de paradas y frecuencias que inciden directamente en el sistema de fajas

Enero a mayo 2021

**Fuente:** Elaboración Propia

El tercer sistema afectado por las paradas es el sistema de fajas tal como se muestra en la figura 5.31. (91.5% acumulado en la gráfica de Pareto), cuyas principales causas de paralización son la sobrecarga en fajas, la falta de pericia del operador y el corte de fajas.

Estas paradas son causadas posiblemente al 100% por la parte operativa, por lo que serán objetos de análisis para la presente investigación.

### 5.3.1. Determinación de las causas raíz

Del análisis de la información se determinaron las principales paradas que afectan al sistema de transporte vertical, las cuales son:

1. Para el sistema GENERAL:
  - 1.1. Falta de mineral
  - 1.2. Paradas Planta Concentradora
2. Para el sistema de IZAJE:
  - 2.1. Mantenimiento maderamen
  - 2.2. Mantenimiento mecánico
3. Para el sistema de FAJAS:
  - 3.1. Sobrecarga en fajas
  - 3.2. Falta de pericia del operador
  - 3.3. Corte de fajas

Con esta información se aplicó la metodología de los 5 porqués para determinar las causas raíz de las paradas, tal como se muestran en las tablas 5.4. y 5.5.

Cabe precisar que no se analizaron las causas raíz para el sistema de izaje por ser paradas programadas para mantenimiento mecánico y de maderamen (o infraestructura).

Para el sistema en general, tabla 5.4., se determinaron las siguientes causas:

1. Falta de mineral
  - 1.1. Falta de información geológica
  - 1.2. Falta de seguimiento a la planificación y ejecución
  - 1.3. Ineficiente gestión de terceros de mantenimiento mina

## 2. Paradas Planta Concentradora

2.1. Mala perforación y/o carguío de taladros

2.2. Zonas intempestivas con filtración natural de agua

2.3. Ineficiente gestión de terceros de mantenimiento planta

**Tabla 5.4.** Análisis de causa raíz para paradas del sistema general del transporte vertical

TRANSPORTE VERTICAL								
N°	SISTEMA	GENERAL						
	SUB-GRUPO	1.1. Falta de mineral			1.2. Paradas Planta Concentradora (Pocket Lleno)			
1	¿Por qué?	Falta de mineral en nivel de extracción 2900			Mineral con presencia de bancos grandes	Mineral húmedo	Inoperatividad de equipos de planta	Falta de comunicación de retiro de material inchancable en la zona de la chancadora primaria
2	¿Por qué?	Falta de rotura de mineral en los tajeos de producción			Falta de control en el proceso de voladura	Falta de control de humedad	Deficiente mantenimiento de equipos de planta	<b>Desconocimiento del operador de fase 1 sobre la importancia de una buena comunicación con el secretario mina</b>
3	¿Por qué?	Falta de flexibilidad en tajeos	Desciclado de tajeos	Baja confiabilidad de equipos de producción	<b>Mala perforación y/o carguío de taladros</b>	<b>Zonas con filtración natural de agua intempestiva</b>	<b>Ineficiente gestión de terceros mantenimiento planta</b>	
4	¿Por qué?	Falta de áreas mineralizadas de reemplazo	Mala planificación y/o ejecución	Deficiente mantenimiento de equipos				
5	¿Por qué?	<b>Falta de información geológica</b>	<b>Falta de seguimiento a la planificación y ejecución</b>	<b>Ineficiente gestión de terceros de mantenimiento mina</b>				

**Fuente:** Elaboración propia

Para el sistema de fajas, tabla 5.5., se determinaron las siguientes causas:

1. Sobrecarga en fajas
  - 1.1. Falta de capacitación a los operadores del Nv. 2865
  - 1.2. Sistema de detención de ambos componentes mal programado
  - 1.3. Falta de reemplazo oportuno de cadenas de control de carga
  - 1.4. Falta de un sistema automático para abastecimiento de mineral
2. Falta de pericia del operador
  - 2.1. Falta de capacitación y comprobación de pericia en campo.
3. Corte de fajas
  - 3.1. Falta de punto de retiro de inchancables antes de vaciado en tolvas y carguío de faja transportadora
  - 3.2. Mal posicionamiento de raspadores de fajas



**Tabla 5.5.** Análisis de causa raíz para paradas del sistema de fajas del transporte vertical

TRANSPORTE VERTICAL								
FAJAS								
N°	3.1. Sobrecarga en fajas				3.2. Falta de pericia del operador		3.3. Corte de fajas	
	1	Falta de coordinación entre operadores de cadenas y rompebancos sobre el cambio intempestivo de tipo de carga	Acumulación de mineral en la parte posterior del labio de la tolva	Carga sobrepasa el sistema de cadenas	<b>Falta de un sistema automático para abastecimiento de mineral</b>	<b>Falta de capacitación y comprobación de pericia en campo</b>	Presencia de split set o elementos punzo cortantes en la faja	Caída de bancos en las fajas de retorno
2	Operadores desconocen la importancia de esta comunicación	Detención en simultáneo de cadenas y fajas transportadoras	Cadenas de retención de carga en mal estado			<b>Falta de punto de retiro de inchancables antes de vaciado en tolvas y carguío de faja transportadora</b>	<b>Mal posicionamiento de raspadores de fajas</b>	<b>Falta de guardas laterales sobre fajas transportadoras</b>
3	<b>Falta de capacitación a los operadores del Nv. 2865</b>	<b>Sistema de detención de ambos componentes mal programado</b>	<b>Falta de reemplazo oportuno de cadenas de control de carga</b>					

**Fuente:** Elaboración propia

#### 5.4. Análisis del incremento de la velocidad de izaje

Una de las primeras ideas que se tienen cuando se habla de aumento de producción en un sistema móvil, es el incremento de la velocidad del equipo en desplazamiento.

Por tal motivo, se analizó el incremento de la velocidad de los skips 1 y 2; considerando el alineamiento de guías de cada compartimiento como punto

crítico y determinante para asegurar un correcto desplazamiento del skip sin riesgos de descarrilamiento.

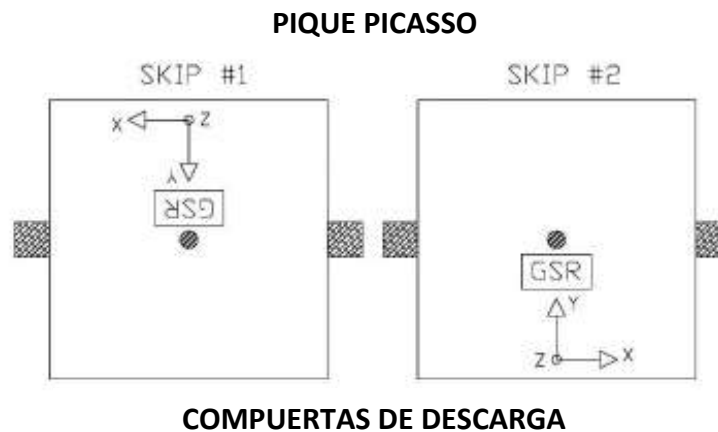
Asimismo, el winche eléctrico está diseñado para trabajar a una velocidad mínima de 2,000 pies por minuto (ppm) y una velocidad máxima de 3,000 ppm.

La gravedad de las vibraciones laterales del skip durante su desplazamiento a lo largo del pique es una medida directa de la alineación de las guías.

Por tal motivo, se realizaron las pruebas a velocidades de 2,000 ppm, 2,600 ppm y 3,000 ppm; y se registraron las vibraciones de los skips a medida que se desplazaban a lo largo del pique. Las vibraciones de los skips se registraron en tres direcciones; es decir, en la dirección horizontal en el plano de las guías (cara a cara) y en la dirección horizontal perpendicular al plano de las guías (de lado a lado). La tercera dirección es la dirección vertical. En la figura 5.32. se muestra una vista en planta con las orientaciones de referencia en los compartimientos.

Las vibraciones de los skips se midieron y registraron como aceleración (o desaceleración) en unidades g donde 1 g es 32.2 pies / seg<sup>2</sup> o 9.81 m / seg<sup>2</sup>. La aceleración / desaceleración es una medida directa de las fuerzas creadas por el movimiento de salto como  $Fuerza = Masa \times Aceleración$ .

Para medir y registrar las vibraciones de transporte (aceleración/desaceleración) se utilizó un acelerómetro triaxial y los datos registrados digitalmente se descargaron luego a una computadora portátil para su análisis. La aceleración vertical registrada está integrada para dar la velocidad de transporte vertical y doble integrada para dar la posición de transporte a lo largo del pique.



X: Cara a Cara de las guías

Y: Lado a Lado perpendicular a las guías

Z: Vertical

**Figura 5.32.** Vista en planta de los compartimientos del skip y orientación de los ejes de vibraciones para analizar

**Fuente:** Hissink, Mike, 2021, Reporte de alineamiento de guías Pique Picasso

#### 5.4.1. Criterios de estudio

La aceleración experimentada por el skip aumenta, en general, con la velocidad de elevación y la desalineación de la guía. El criterio de aceptación para una aceleración lateral de transporte es generalmente:

- Por debajo de 0.25 g es satisfactorio.
- Los picos ocasionales entre 0.25 g y 0.50 g se consideran aceptables.
- Por encima de 0.50 g, la mina debe considerar la realineación de las guías para evitar daños en las guías y el transporte.

Notas:

1.  $g = 32.2 \text{ pies} / \text{seg}^2 = 9.81 \text{ m} / \text{seg}^2 = \text{aceleración de la gravedad.}$
2. Estos criterios de aceleración aceptables se basan en guías y estructura de soporte que están en buenas condiciones, es decir, sin pernos sueltos o rotos, sin componentes abollados o rotos.
3. Las ubicaciones identificadas para el ajuste son solo una aproximación. El ajuste debe realizarse en las juntas más cercanas a la ubicación identificada previa inspección visual de las guías.
4. Debido a que hubo varios picos grandes en los datos, los únicos valores registrados en las tablas fueron aquellos que estaban por encima de 0.70 g. Debido a las limitaciones de espacio en los gráficos, no todos los puntos por encima de 0.70 g pudieron ser extraídos de las tablas.

Al calcular la profundidad recorrida por los skips, el COLLAR se considera el punto de referencia (0 metros). Cada compartimiento de skip se probó tres veces sin carga. Los skips viajaron desde el collar a la zona de volteo Nv. 4088 (+ 18 m), al bolsillo de carga a -1205 m, luego a la zona de volteo y regresaron al collar mientras estaban vacíos. Los contenedores se probaron a 10.16 m/s (2,000 ppm), 13.21 m / s (2,600 ppm) y 15.24 m / s (3,000 ppm).

La aceleración/desaceleración lateral suele ser mayor en la dirección de elevación que en la de descenso. Esto es cierto para cualquier condición al hacer que el skip vacío suba por el pique y se debe a que el cable tira hacia arriba (fuerza) del skip a través de secciones desalineadas.

Por lo tanto, las ubicaciones en el pique donde se identificó una desalineación de la guía debido a una alta aceleración/desaceleración durante el descenso deben tomarse con mayor criticidad.

#### **5.4.2. Resultados de las pruebas de alineación de guías**

##### **5.4.2.1. Compartimiento Skip N°1:**

###### *A 2,000 ppm:*

El compartimiento del skip N°1 demostró una alineación deficiente de las guías en todo el pique a 2,000 ppm, con la mayoría de los casos críticos ubicados en la sección de madera del pique por encima de los 850 metros.

La dirección cara a cara tiene 7 ubicaciones con aceleración extrema por encima de 1.0 g que se muestran en rojo en la tabla 5.6.

La mayoría de los eventos ocurrieron mientras el skip se izaba (ascendía) desde el bolsillo de carga hasta la zona de descarga Nv. 4088 (+18 m). Las mayores aceleraciones se ubicaron a 116 m y 812 m por debajo del collar (Nv. 4070), donde ambas tuvieron una aceleración de 1.38 g.

La dirección perpendicular (lado a lado) a las guías no tenía ubicaciones con alta aceleración con pocos picos de 0.5 g o más, ninguno excedía los 0.65 g.

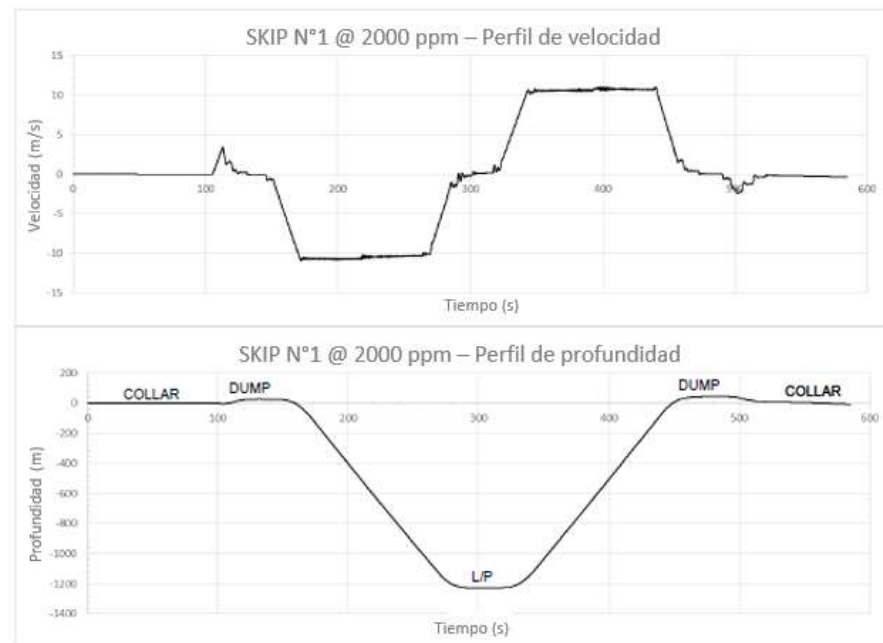
**Tabla 5.6.** Altas aceleraciones del compartimiento skip N°1 @ 2,000 ppm

	Cara a Cara				Lado a Lado		
	G's Ascenso	G's Descenso	Profundidad		G's Ascenso	G's Descenso	Profundidad
	0.71		-3				
	<b>1.12</b>		<b>-59</b>				
	0.82		-72				
	0.92		-81				
	0.86		-104				
	0.93		-113				
		<b>1.38</b>	<b>-116</b>				
	0.8		-138				
		0.85	-150				
	<b>1.17</b>		<b>-162</b>				
	0.81		-182				
	0.86		-192				
	<b>1.12</b>		<b>-229</b>				
	0.93		-327				
		0.73	-336				
		0.93	-426				
	0.91		-428				
		0.82	-436				
	0.85		-501				
	<b>1</b>		<b>-701</b>				
		0.85	-730				
	0.75		-807				
	<b>1.38</b>		<b>-812</b>				
		0.8	-831				
		<b>1.18</b>	<b>-841</b>				
	0.93		-877				
	0.88		-958				
	0.87		-969				
		0.77	-1019				
	0.82		-1101				

**Rojo:** Desalineamiento crítico

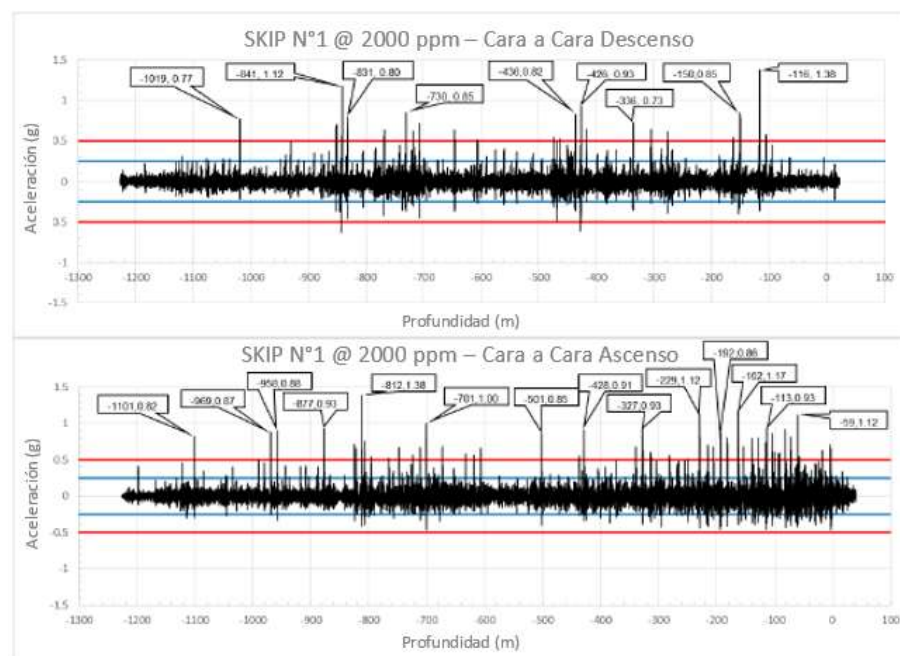
**Negro:** Alto desalineamiento

**Fuente:** Hissink, Mike, 2021, Reporte de alineamiento de guías Pique Picasso



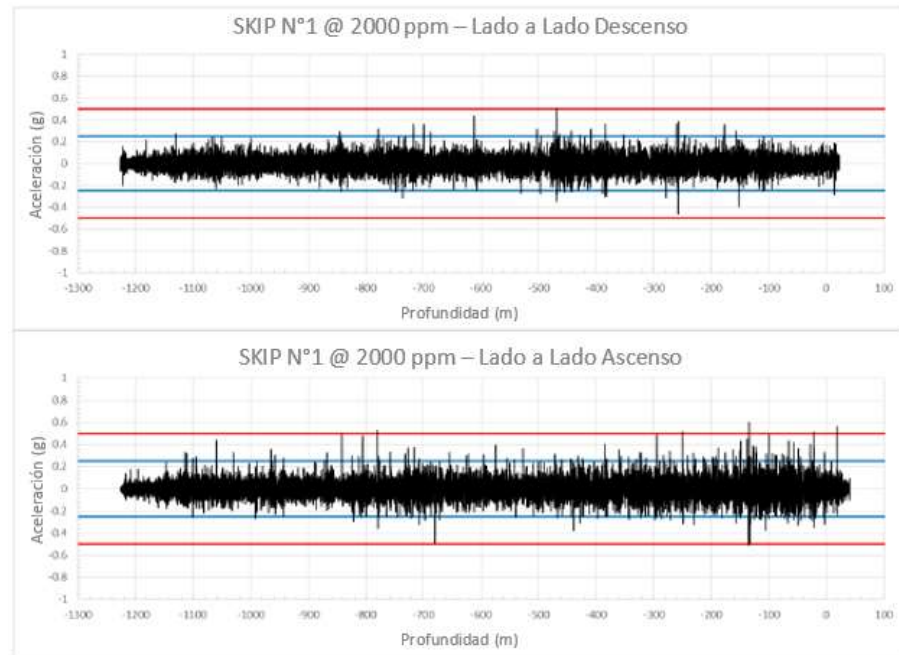
**Figura 5.33.** Perfiles de velocidad y profundidad del skip N°1 @ 2,000 ppm

**Fuente:** Hissink, Mike, 2021, Reporte de alineamiento de guías Pique Picasso



**Figura 5.34.** Aceleración Cara a Cara del skip N°1 @ 2,000 ppm

**Fuente:** Hissink, Mike, 2021, Reporte de alineamiento de guías Pique Picasso



**Figura 5.35.** Aceleración Lado a Lado del skip N°1 @ 2,000 ppm

**Fuente:** Hissink, Mike, 2021, Reporte de alineamiento de guías Pique Picasso

A 2,600 ppm:

El compartimiento del skip N°1 demostró una mala alineación de las guías en todo el pique a 2,600 pies por minuto, exponiendo más ubicaciones de mala alineación respecto a los 2,000 ppm.

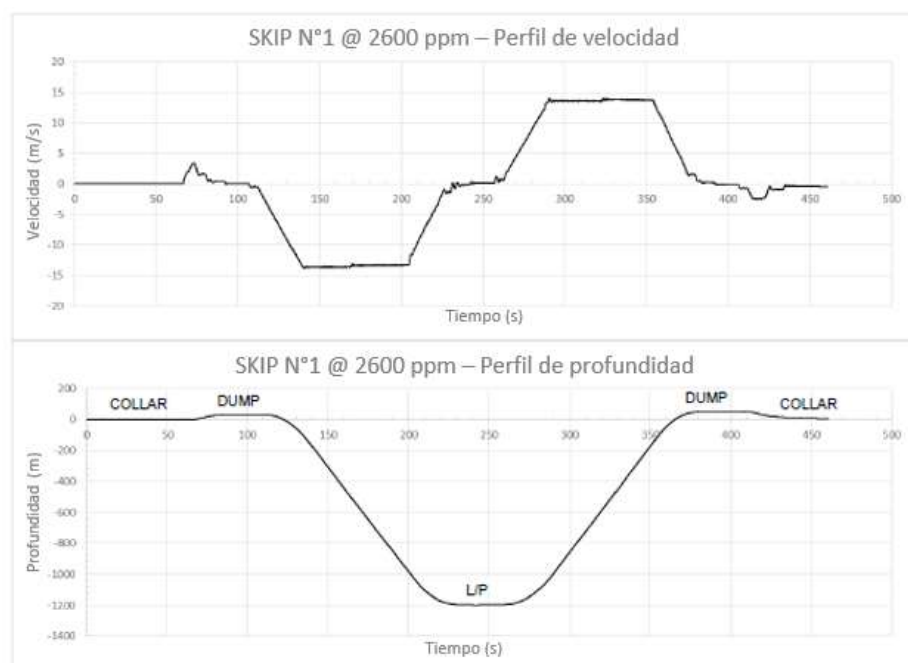
La dirección cara a cara tiene 14 ubicaciones con una aceleración extrema por encima de 1.0g que se muestran en rojo en la tabla 5.7. La mayoría de los eventos en los 300 metros superiores del pique ocurrieron mientras se izaba el skip desde el bolsillo de carga hasta la zona de descarga Nv. 4088 (+18 m).

La mayoría de los eventos en la parte inferior del pique por debajo de los 700 metros ocurrieron mientras descendía el skip desde el collar hasta el bolsillo de carga.



Las mayores aceleraciones se ubicaron a 219 m y 743 m por debajo del collar, con una aceleración de 1.45 g y 1.49 g respectivamente.

La dirección de lado a lado no tenía ubicaciones con aceleración extrema con solo 2 picos por encima de 0.70 g como se enumera en la tabla 5.7.



**Figura 5.36.** Perfiles de velocidad y profundidad del skip N°1 @ 2,600 ppm

**Fuente:** Hissink, Mike, 2021, Reporte de alineamiento de guías Pique Picasso

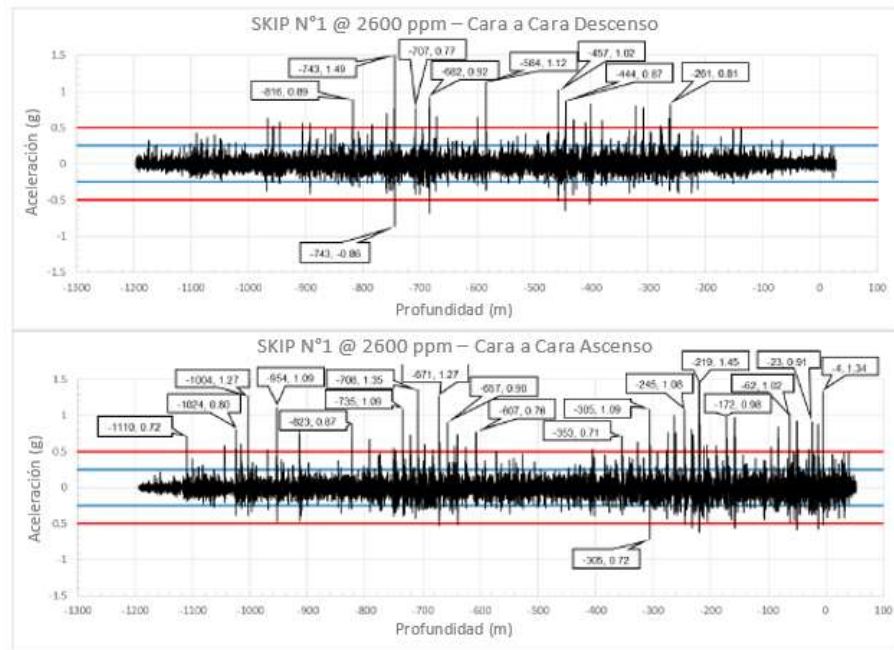
**Tabla 5.7.** Altas aceleraciones del compartimiento skip N°1 @ 2,600 ppm

	Cara a Cara				Lado a Lado		
	G's Ascenso	G's Descenso	Profundidad		G's Ascenso	G's Descenso	Profundidad
	<b>1.34</b>		<b>-4</b>		0.75		-42
	0.88		-13		0.71		-751
	0.91		-23				
	0.92		-49				
	<b>1.02</b>		<b>-62</b>				
	0.84		-81				
	0.97		-158				
	0.98		-172				
	<b>1.45</b>		<b>-219</b>				
	0.81		-232				
	<b>1.08</b>		<b>-245</b>				
		0.81	-261				
	<b>1</b>		<b>-263</b>				
	0.76		-274				
	<b>1.09</b>		<b>-305</b>				
	-0.72		-305				
		0.77	-308				
		0.8	-322				
	0.71		-353				
		0.82	-400				
		0.87	-444				
		<b>1.02</b>	<b>-457</b>				
		<b>1.12</b>	<b>-584</b>				
	0.76		-607				
	0.9		-657				
	<b>1.27</b>		<b>-671</b>				
		0.92	-682				
		0.77	-707				
	<b>1.35</b>		<b>-708</b>				
	<b>1.09</b>		<b>-735</b>				
		<b>1.49</b>	<b>-743</b>				
		-0.86	-743				
		0.89	-816				
		0.87	-823				
		0.78	-914				
		<b>1.09</b>	<b>-954</b>				
		<b>1.27</b>	<b>-1004</b>				
		0.8	-1024				
		0.72	-1110				

**Rojo:** Desalineamiento crítico

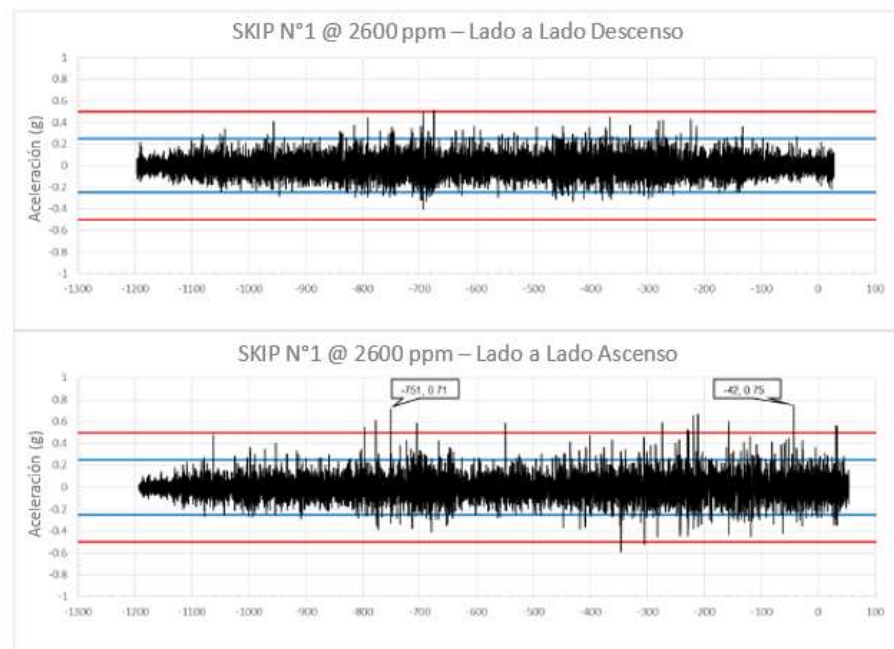
**Negro:** Alto desalineamiento

**Fuente:** Hissink, Mike, 2021, Reporte de alineamiento de guías Pique Picasso



**Figura 5.37.** Aceleración Cara a Cara del skip N°1 @ 2,600 ppm

**Fuente:** Hissink, Mike, 2021, Reporte de alineamiento de guías Pique Picasso



**Figura 5.38.** Aceleración Lado a Lado del skip N°1 @ 2,600 ppm

**Fuente:** Hissink, Mike, 2021, Reporte de alineamiento de guías Pique Picasso

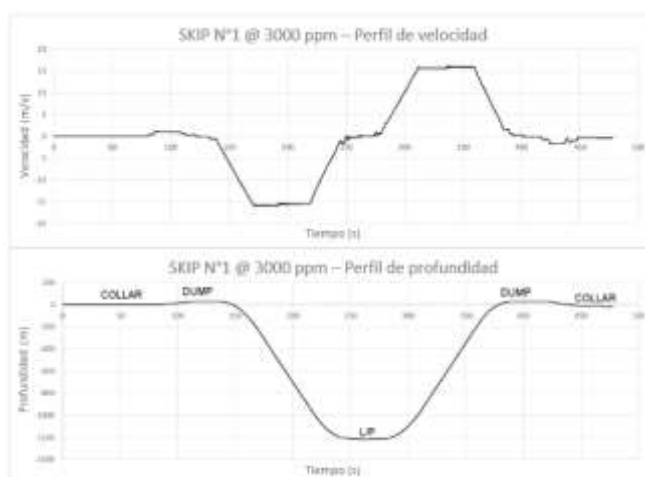
A 3,000 ppm:

El compartimiento del skip N°1 demostró una mala alineación de las guías en todo el pique a 3,000 ppm. Nuevamente, la velocidad más alta de 3000 ppm expuso más ubicaciones de mala alineación y valores más altos de aceleración/desaceleración.

La dirección cara a cara tiene 13 ubicaciones con aceleración extrema por encima de 1.0g que se muestran en rojo en la tabla 5.8. La mayoría de los eventos ocurrieron mientras se izaba el skip desde el bolsillo de carga hasta la zona de descarga Nv. 4088 (+18 m).

Las mayores aceleraciones se ubicaron a 315 m y 934 m por debajo del collar, con una aceleración de 2.14 g y 1.98 g respectivamente.

La dirección de lado a lado tiene 2 ubicaciones con aceleración extrema como se enumeran en rojo en la tabla 5.8. Además, hubo varios lugares con una aceleración cercana o superior a 0.5 g.



**Figura 5.39.** Perfiles de velocidad y profundidad del skip N°1 @ 3,000 ppm

**Fuente:** Hissink, Mike, 2021, Reporte de alineamiento de guías Pique Picasso

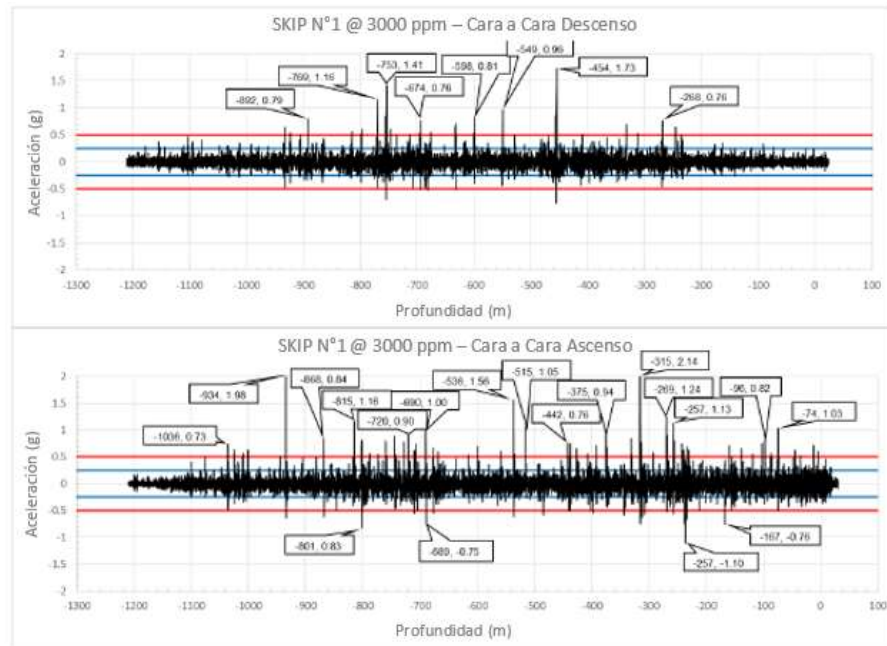
**Tabla 5.8.** Altas aceleraciones del compartimiento skip N°1 @ 3,000 ppm

	Cara a Cara				Lado a Lado		
	G's Ascenso	G's Descenso	Profundidad		G's Ascenso	G's Descenso	Profundidad
	<b>1.03</b>		<b>-74</b>		<b>1</b>	<b>-167</b>	
	0.82		-96		<b>1.08</b>	<b>-233</b>	
	0.75		-102		0.76	-308	
	0.71		-159		0.74	-689	
	-0.76		-167		0.88	-710	
	<b>-1.1</b>		<b>-236</b>		0.82	-743	
	<b>1.13</b>		<b>-257</b>				
		0.76	-268				
	<b>1.24</b>		<b>-269</b>				
	<b>2.14</b>		<b>-315</b>				
	0.84		-330				
	0.94		-375				
	0.71		-392				
	0.75		-437				
	0.76		-442				
		<b>1.73</b>	<b>-454</b>				
	<b>1.05</b>		<b>-515</b>				
	<b>1.56</b>		<b>-536</b>				
		0.96	-549				
		0.81	-598				
	0.7		-600				
		0.72	-631				
	-0.75		-689				
	<b>1</b>		<b>-690</b>				
		0.76	-694				
	0.74		-707				
	0.9		-720				
	0.77		-727				
	0.89		-744				
		<b>1.41</b>	<b>-753</b>				
	0.8		-760				
		<b>1.16</b>	<b>-769</b>				
	-0.83		-801				
	0.82		-801				
	<b>1.16</b>		<b>-815</b>				
	0.84		-868				
		0.79	-892				
	<b>1.98</b>		<b>-934</b>				
	0.73		-1036				

**Rojo:** Desalineamiento crítico

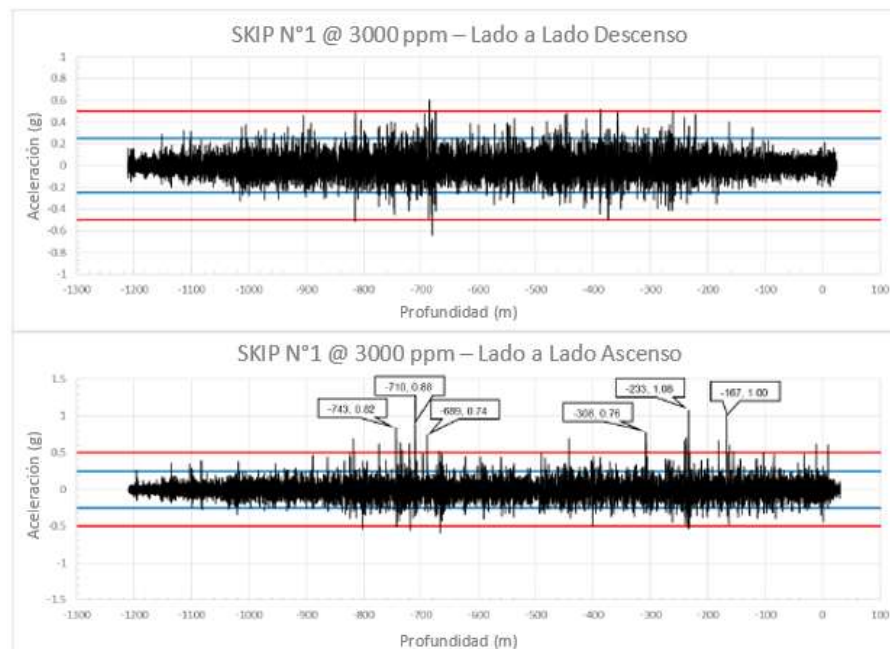
**Negro:** Alto desalineamiento

**Fuente:** Hissink, Mike, 2021, Reporte de alineamiento de guías Pique Picasso



**Figura 5.40.** Aceleración Cara a Cara del skip N°1 @ 3,000 ppm

**Fuente:** Hissink, Mike, 2021, Reporte de alineamiento de guías Pique Picasso



**Figura 5.41.** Aceleración Lado a Lado del skip N°1 @ 3,000 ppm

**Fuente:** Hissink, Mike, 2021, Reporte de alineamiento de guías Pique Picasso

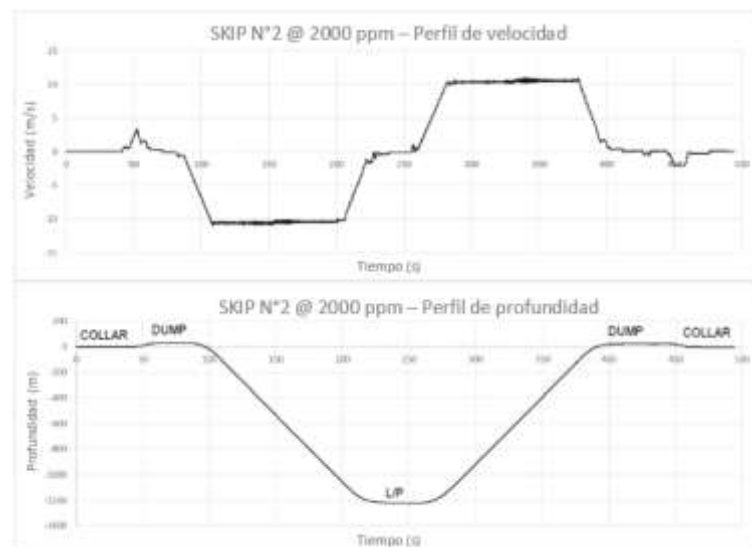
### 5.4.2.2. Compartimiento Skip N°2:

#### A 2,000 ppm:

El compartimiento del skip N°2 demostró a 2,000 ppm una mala alineación de las guías por encima de los 800 metros de profundidad y por debajo del collar.

La dirección cara a cara tiene 2 ubicaciones con aceleración extrema por encima de 1.0 g mostradas en rojo en la tabla 5.9. Las aceleraciones más elevadas se ubicaron a 417 m y 420 m por debajo del collar, con una aceleración de -1.04 g y 1.62 g respectivamente.

La dirección de lado a lado no tenía ubicaciones con aceleración extrema y 4 con aceleraciones altas como se enumera en la tabla 5.9. Adicional a ello, hubo varios lugares con aceleración cercana o superior a 0,5 g, con las más largas cerca del collar y el bolsillo de carga.



**Figura 5.42.** Perfiles de velocidad y profundidad del skip N°2 @ 2,000 ppm

**Fuente:** Hissink, Mike, 2021, Reporte de alineamiento de guías Pique Picasso

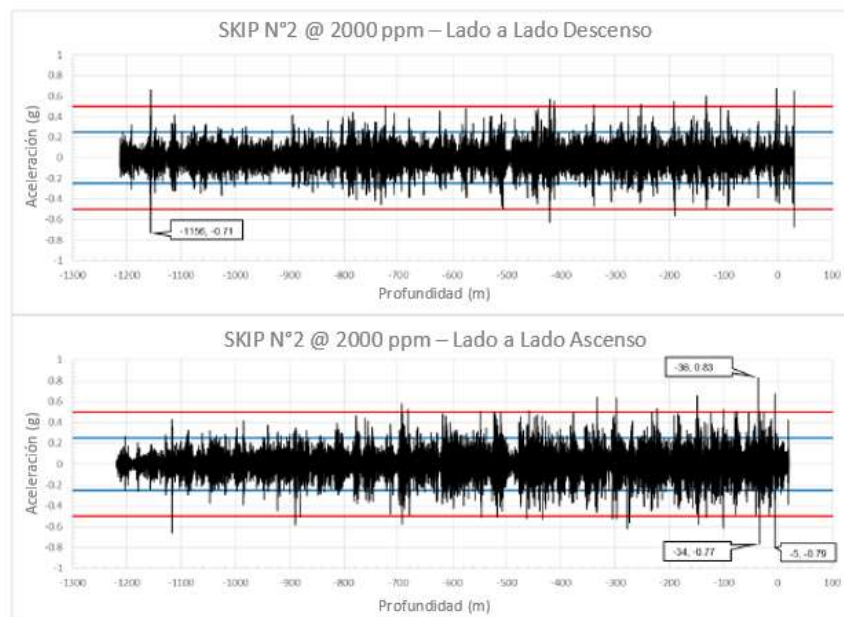
**Tabla 5.9.** Altas aceleraciones del compartimiento skip N°2 @ 2,000 ppm

	G's	G's	Profundidad		G's	G's	Profundidad
	Ascenso	Descenso			Ascenso	Descenso	
<b>Cara a Cara</b>	-0.72		-34	<b>Lado a Lado</b>	-0.79		-5
		-0.79	<b>-65</b>		-0.77		-34
	-0.88		-123		0.83		-36
	-0.88		-136			-0.71	-1156
	-0.76		-145				
	-0.85		-169				
	-0.72		<b>-225</b>				
	-0.81		-247				
	-0.83		-333				
	<b>-0.83</b>		<b>-342</b>				
		-1.04	-417				
	-0.79		-418				
		1.62	<b>-420</b>				
		-0.73	-470				
		-0.93	-730				
	-0.86		-756				

**Rojo:** Desalineamiento crítico

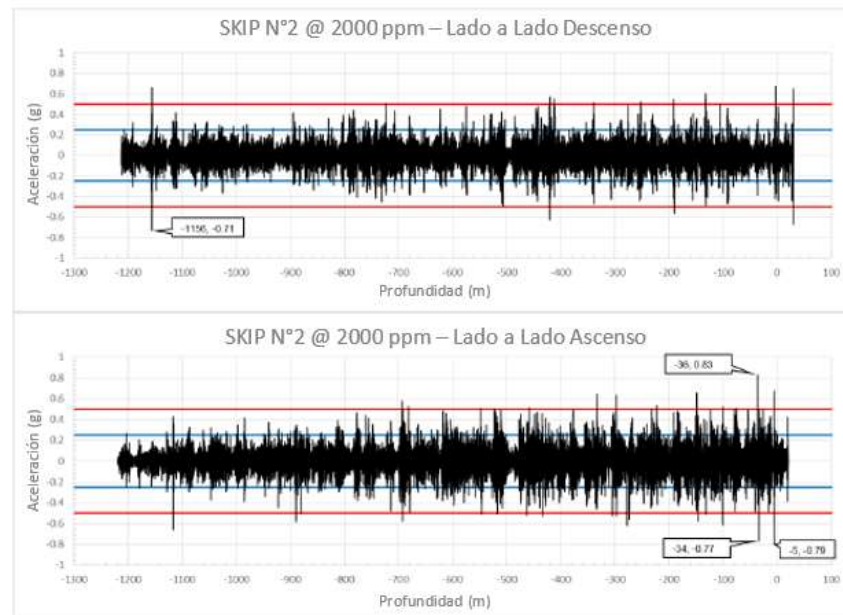
**Negro:** Alto desalineamiento

**Fuente:** Hissink, Mike, 2021, Reporte de alineamiento de guías Pique Picasso

**Figura 5.43.** Aceleración Cara a Cara del skip N°2 @ 2,000 ppm

**Fuente:** Hissink, Mike, 2021, Reporte de alineamiento de guías Pique Picasso





**Figura 5.44.** Aceleración Lado a Lado del skip N°2 @ 2,000 ppm

**Fuente:** Hissink, Mike, 2021, Reporte de alineamiento de guías Pique Picasso

A 2,600 ppm:

El compartimiento del skip N°2 demostró a 2,600 pies por minuto una mala alineación de las guías por encima de los 800 metros de profundidad y por debajo del collar. Asimismo, a esta velocidad se expuso más ubicaciones de mala alineación.

La dirección cara a cara tiene 14 ubicaciones con aceleración extrema por encima de 1.0 g mostradas en rojo en la tabla 5.10. Las aceleraciones más grandes se ubicaron a 7 m y 692 m por debajo del collar, con aceleraciones de -1.75 g y 1.42 g respectivamente.

La dirección de lado a lado tiene 2 ubicaciones con aceleración extrema y varias con aceleraciones altas, como se enumera en la tabla 5.10. Además, hubo varios lugares con una aceleración cercana o superior a 0.5 g.

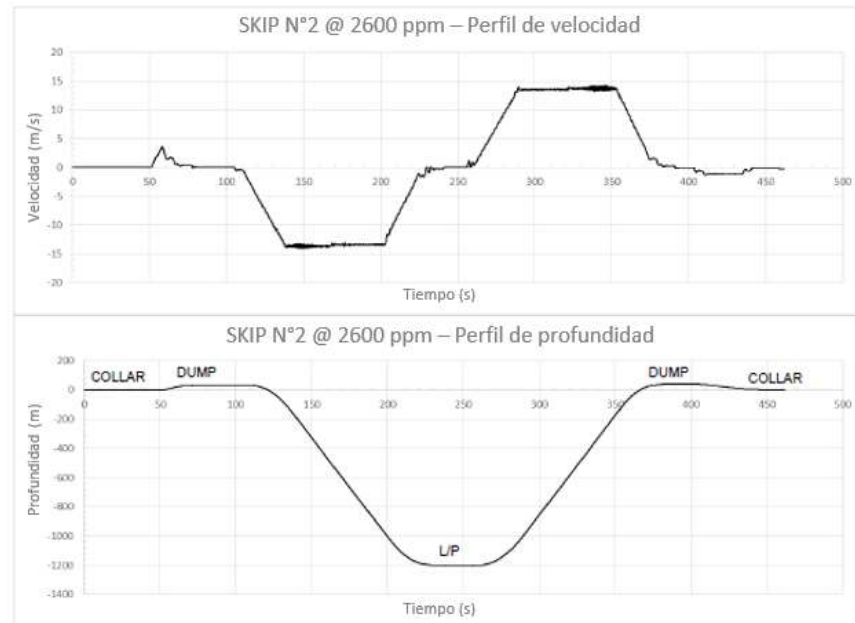
**Tabla 5.10.** Altas aceleraciones del compartimiento skip N°2 @ 2,600 ppm

	Cara a Cara				Lado a Lado		
	G's Ascenso	G's Descenso	Profundidad		G's Ascenso	G's Descenso	Profundidad
	-1.75		-7		-0.76		-10
	0.82		-10		0.78		-65
	1.05		-25		-0.88		-78
	-1.2		-28		0.74		-78
	1.17		-31		-0.91		-109
	1.12		-37		0.78		-124
	-1.22		-48		-1.06		-125
	0.78		-63			-0.78	-126
	-1.13		-68		0.76		-180
	-0.89		-79			0.88	-223
	0.76		-79		0.76		-243
	-0.84		-96			-0.96	-331
		-0.93	-103			0.99	-331
	-0.98		-109		-0.89		-503
	-0.86		-125		0.75		-667
		0.78	-130			-0.97	-668
	-0.75		-168			1.07	-668
	-0.96		-219			0.7	-695
		-0.71	-223			-0.74	-696
	-0.7		-232			-0.7	-715
		-0.91	-236			0.84	-993
		0.78	-240				
		1.18	-255				
		-1.08	-260				
	-1.35		-318				
		-0.73	-331				
		0.72	-332				
		1.11	-412				
		-0.83	-417				
	-0.76		-670				
		-0.93	-682				
	-0.94		-684				
		1.42	-692				
		-1.25	-696				
		0.92	-696				
		0.84	-714				
		-1.21	-719				
		-0.83	-733				
		-0.79	-745				
	-0.77		-794				

**Rojo:** Desalineamiento crítico

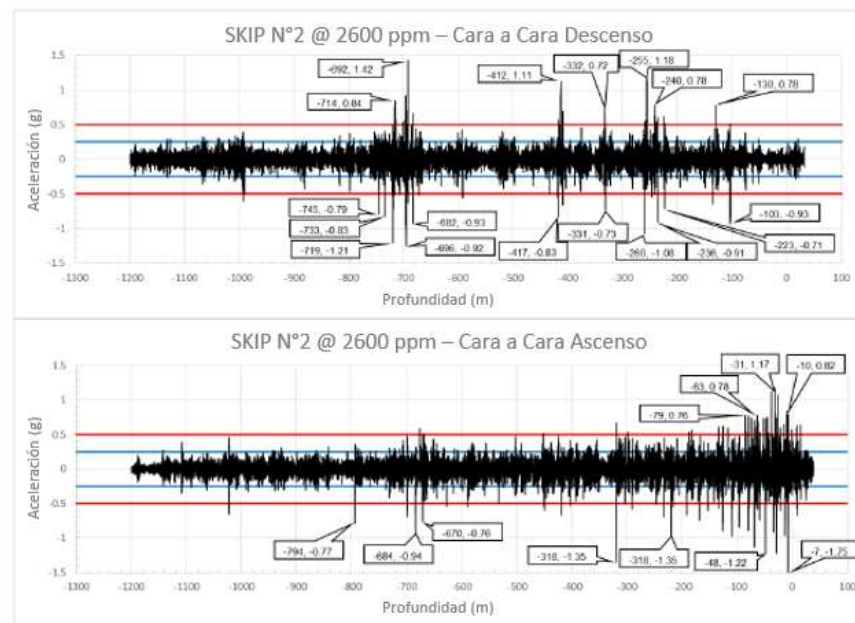
**Negro:** Alto desalineamiento

**Fuente:** Hissink, Mike, 2021, Reporte de alineamiento de guías Pique Picasso



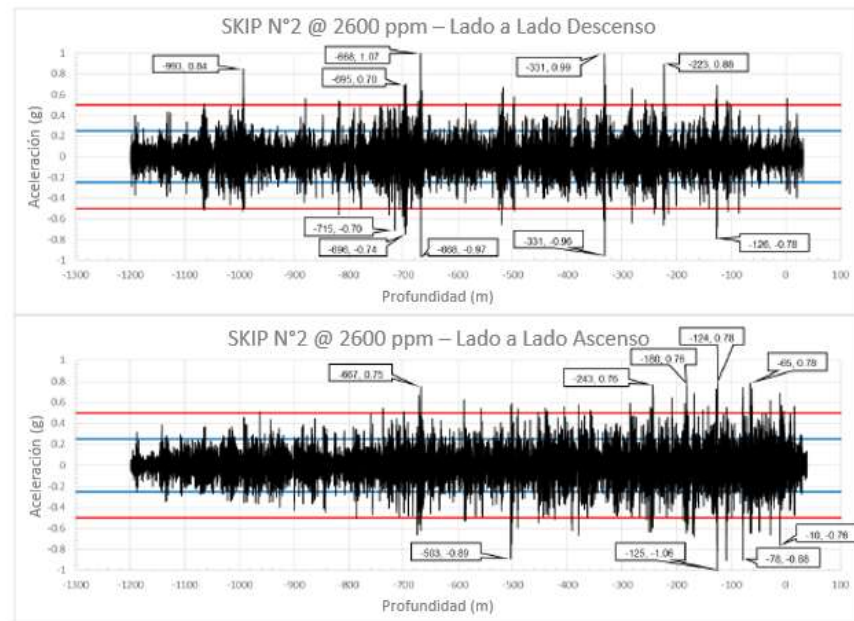
**Figura 5.45.** Perfiles de velocidad y profundidad del skip N°2 @ 2,600 ppm

**Fuente:** Hissink, Mike, 2021, Reporte de alineamiento de guías Pique Picasso



**Figura 5.46.** Aceleración Cara a Cara del skip N°2 @ 2,600 ppm

**Fuente:** Hissink, Mike, 2021, Reporte de alineamiento de guías Pique Picasso



**Figura 5.47.** Aceleración Lado a Lado del skip N°2 @ 2,600 ppm

**Fuente:** Hissink, Mike, 2021, Reporte de alineamiento de guías Pique Picasso

A 3,000 ppm:

El compartimiento del skip N°2 demostró a 3,000 ppm una alineación deficiente de las guías en todo el pique y expuso más ubicaciones de mala alineación y valores más altos de aceleración/desaceleración.

La dirección cara a cara tiene 15 ubicaciones con aceleraciones extremas por encima de 1.0 g, como se muestra en rojo en la tabla 5.11. Las mayores aceleraciones se ubicaron a 418 m y 744 m por debajo del collar, con aceleraciones de -1.49 g y -1.62 g respectivamente.

La dirección de lado a lado tiene 3 ubicaciones con aceleración extrema y varias con aceleraciones altas, como se indica en la tabla 5.11. Además, hubo varias ubicaciones con una aceleración cercana o superior a 0.5 g.

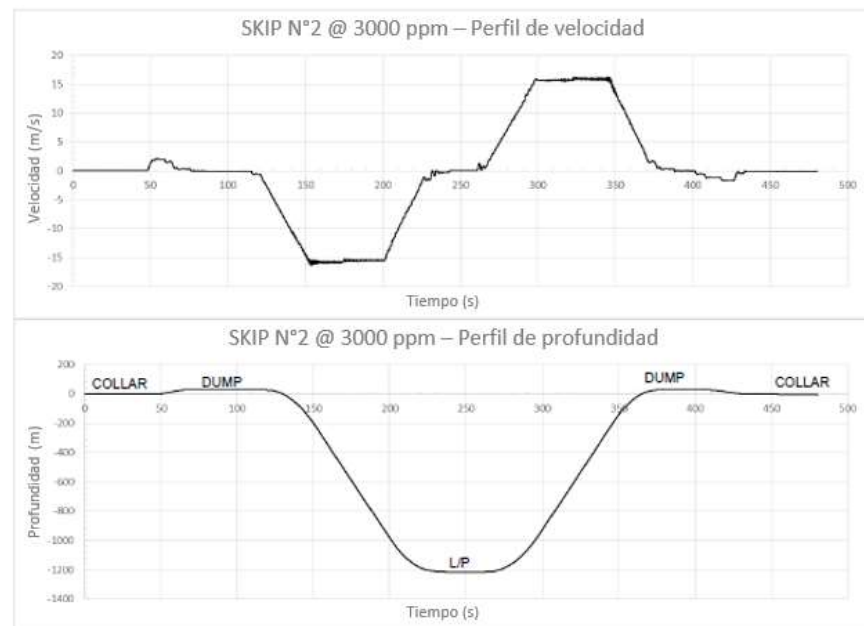
**Tabla 5.11.** Altas aceleraciones del compartimiento skip N°2 @ 3,000 ppm

	Cara a Cara				Lado a Lado		
	G's Ascenso	G's Descenso	Profundidad		G's Ascenso	G's Descenso	Profundidad
		-0.78	-121		0.87		-15
	<b>-1.4</b>		<b>-124</b>		-0.72		-20
	<b>1.46</b>		<b>-128</b>		0.73		-33
		-0.84	-144		0.73		-62
	0.93		-180		<b>-1.03</b>		<b>-136</b>
	<b>-1.35</b>		<b>-181</b>		<b>1.23</b>		<b>-137</b>
	<b>-1.03</b>		<b>-213</b>		0.83		-177
	0.83		-220		-0.9		-180
		<b>-1.3</b>	<b>-269</b>		0.79		-214
		0.83	-269		-0.77		-234
	<b>-1.14</b>		<b>-280</b>			-0.73	-274
		-0.87	-338		0.82		-283
		0.75	-339			0.9	-289
	-0.98		-403		-0.77		-292
	<b>-1.36</b>		<b>-413</b>			<b>-1.04</b>	<b>-340</b>
		<b>-1.49</b>	<b>-418</b>			0.84	-341
		0.83	-419			-0.95	-348
	-0.83		-425		0.7		-361
		-0.96	-471			0.7	-376
	-0.79		-510		0.7		-384
	0.88		-578		0.88		-465
	-0.71		-601			0.91	-472
		-0.78	-677			0.7	-531
		<b>-1.35</b>	<b>-692</b>		-0.71		-544
	<b>-1.27</b>		<b>-694</b>		0.8		-544
		<b>1.31</b>	<b>-697</b>		-0.81		-578
		<b>-1.29</b>	<b>-716</b>			-0.77	-679
	<b>-1.62</b>		<b>-744</b>			0.92	-680
	0.94		-748		0.79		-727
		<b>1.12</b>	<b>-758</b>			0.82	-781
		-0.97	-764			-0.71	-802
		-0.84	-800				
		<b>-1.39</b>	<b>-830</b>				
		0.82	-830				
		-0.7	-1035				

**Rojo:** Desalineamiento crítico

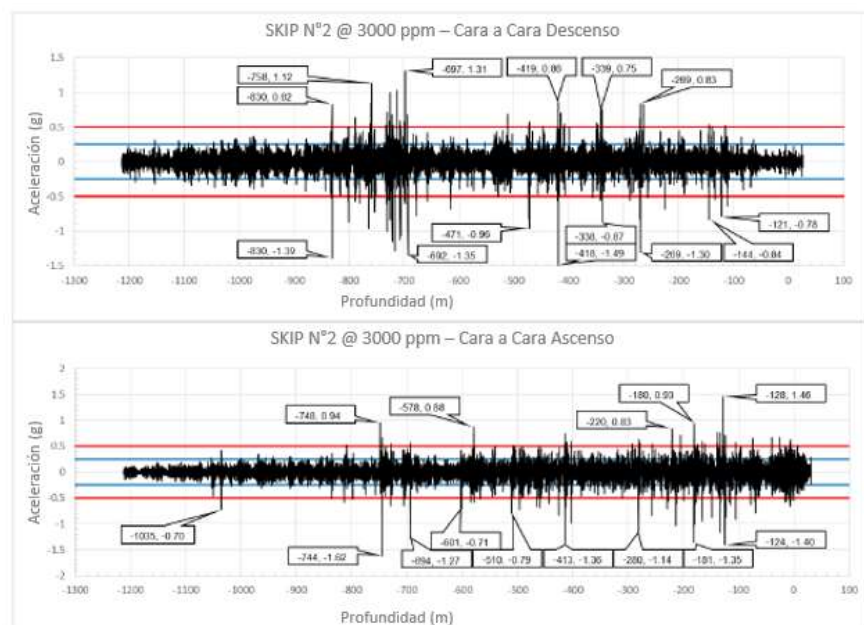
**Negro:** Alto desalineamiento

**Fuente:** Hissink, Mike, 2021, Reporte de alineamiento de guías Pique Picasso



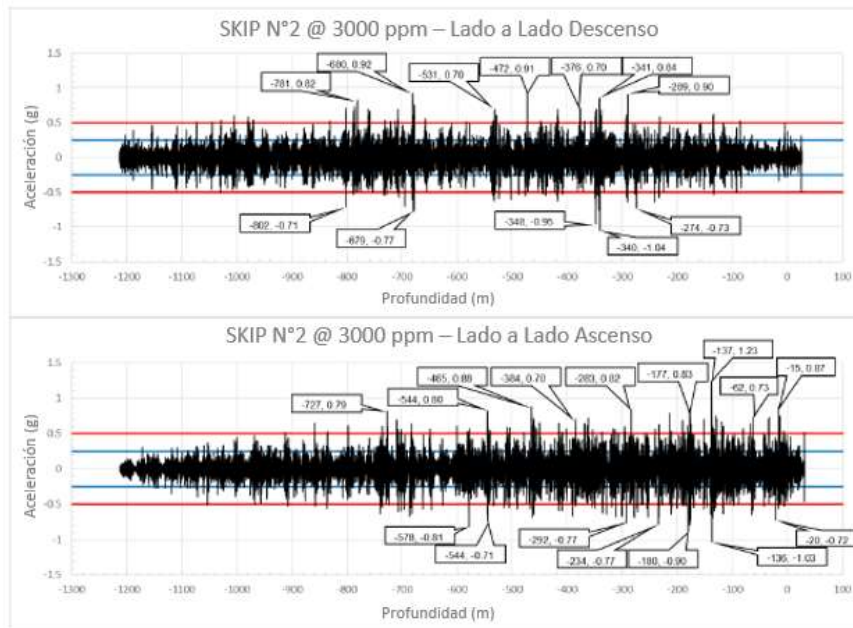
**Figura 5.48.** Perfiles de velocidad y profundidad del skip N°2 @ 3,000 ppm

**Fuente:** Hissink, Mike, 2021, Reporte de alineamiento de guías Pique Picasso



**Figura 5.49.** Aceleración Cara a Cara del skip N°2 @ 3,000 ppm

**Fuente:** Hissink, Mike, 2021, Reporte de alineamiento de guías Pique Picasso



**Figura 5.50.** Aceleración Lado a Lado del skip N°2 @ 3,000 ppm

**Fuente:** Hissink, Mike, 2021, Reporte de alineamiento de guías Pique Picasso

## **CAPÍTULO VI**

### **ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

#### **6.1. Sistema de transporte vertical**

##### **6.1.1. Matriz Esfuerzo-Impacto**

En el capítulo 5.3.1, se determinaron las causas raíz para las paradas del sistema de transporte vertical.

A continuación, se realizó una evaluación del impacto que representa cada causa raíz con las variables de salida. El criterio de evaluación se muestra en la tabla 6.1, en la cual se distribuye el porcentaje para cada nota para un total de 15 causas raíz (variables de entrada). La nota máxima (10) sólo debe ser asignada a una variable de entrada y el resto de las notas debe ser en proporción equivalente, redondeando la cantidad de notas de menor valor (1 y 3) al número entero inmediato superior y las de mayor valor (5 y 8) al número entero inmediato inferior.



**Tabla 6.1.** Criterio de evaluación de impacto

		Asignaciones
NOTA 10	7%	1
NOTA 8	20%	3
NOTA 5	20%	3
NOTA 3	27%	4
NOTA 1	27%	4
<b>TOTAL</b>	<b>100%</b>	<b>15</b>

**Fuente:** Elaboración propia

Asimismo, se le da un grado de relevancia distinto a las variables de salida. Para el caso de análisis se dio una nota de 10 al tiempo por skip y una nota de 8 para fallas en el sistema.

El resultado final de evaluación por cada variable, mostrado en la tabla 6.2, se obtiene de la suma de cada multiplicación de la calificación de la variable de entrada con la calificación de la variable de salida. Ejemplo:

Variable 1: Falla de información geológica

Resultado Final:  $18 = 1 \times 10 + 1 \times 8$

Una vez obtenidos los resultados finales, se reordena la tabla de mayor a menor (tabla 6.3) para posteriormente evaluar el esfuerzo que implica la posible solución de cada causa raíz (tabla 6.4).

Los resultados de esfuerzo e impacto se llevan a una gráfica cartesiana para priorizar su posible ejecución, tal como se muestra en la figura 6.1.

**Tabla 6.2.** Tabla de resultados finales de evaluación de impacto

ID	Y: N° SKIPS IZADOS		SALIDAS		RESULTADOS FINALES
	ENTRADAS		10	8	
	X'S		TIEMPO POR SKIP	FALLA EN EL SISTEMA	
1	Falta de información geológica	1	1	18	
2	Falta de seguimiento a la planificación y ejecución	1	1	18	
3	Ineficiente gestión de terceros de mantenimiento mina	1	1	18	
4	Mala perforación y/o carguío de taladros	8	3	104	
5	Zonas con filtración natural de agua intempestiva	8	8	144	
6	Ineficiente gestión de terceros mantenimiento planta	1	1	18	
7	Desconocimiento del operador de fase 1 sobre la importancia de una buena comunicación con el secretario mina	5	3	74	
8	Falta de capacitación a los operadores del Nv. 2865	10	3	124	
9	Sistema de detención de ambos componentes mal programado	5	5	90	
10	Falta de reemplazo oportuno de cadenas de control de carga	3	5	70	
11	Falta de un sistema automático para abastecimiento de mineral	8	5	120	
12	Falta de capacitación y comprobación de pericia en campo	5	8	114	
13	Falta de punto de retiro de inchancables antes de vaciado en tolvas y carguío de faja transportadora	3	3	54	
14	Mal posicionamiento de raspadores de fajas	3	8	94	
15	Falta de guardas laterales sobre fajas transportadoras	3	10	110	

**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 6.3.** Tabla de resultados finales ordenados descendientemente

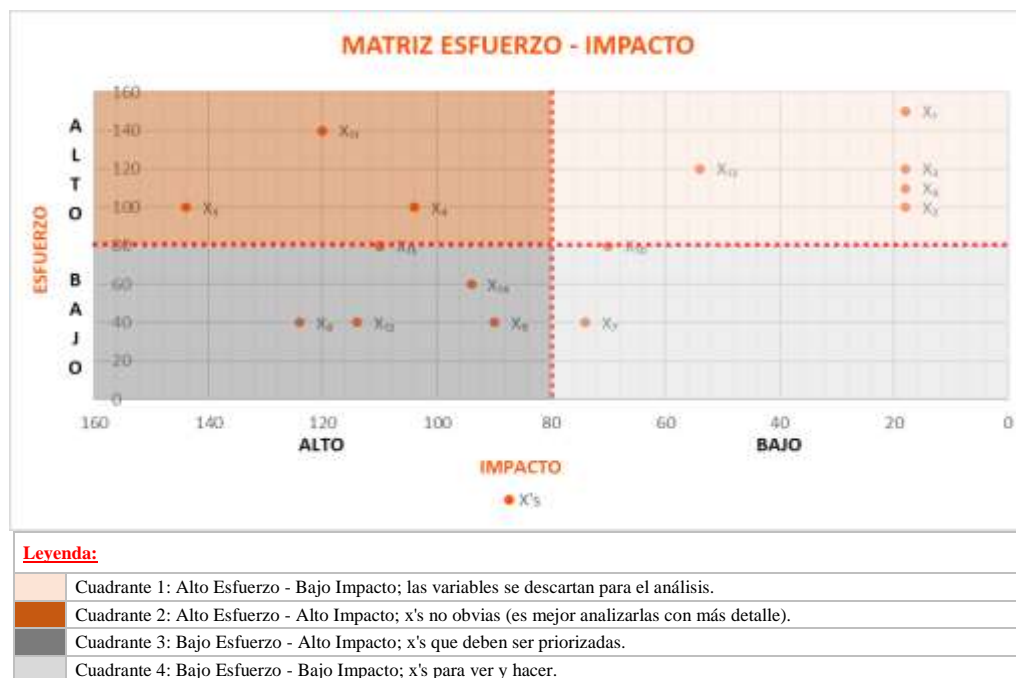
ID	Y: N° SKIPS IZADOS		SALIDAS		RESULTADOS FINALES
	ENTRADAS		10	8	
	X'S		TIEMPO POR SKIP	FALLA EN EL SISTEMA	
5	Zonas con filtración natural de agua intempestiva	8	8	144	
8	Falta de capacitación a los operadores del Nv. 2865	10	3	124	
11	Falta de un sistema automático para abastecimiento de mineral	8	5	120	
12	Falta de capacitación y comprobación de pericia en campo	5	8	114	
15	Falta de guardas laterales sobre fajas transportadoras	3	10	110	
4	Mala perforación y/o carguío de taladros	8	3	104	
14	Mal posicionamiento de raspadores de fajas	3	8	94	
9	Sistema de detención de ambos componentes mal programado	5	5	90	
7	Desconocimiento del operador de fase 1 sobre la importancia de una buena comunicación con el secretario mina	5	3	74	
10	Falta de reemplazo oportuno de cadenas de control de carga	3	5	70	
13	Falta de punto de retiro de inchancables antes de vaciado en tolvas y carguío de faja transportadora	3	3	54	
1	Falta de información geológica	1	1	18	
2	Falta de seguimiento a la planificación y ejecución	1	1	18	
3	Ineficiente gestión de terceros de mantenimiento mina	1	1	18	
6	Ineficiente gestión de terceros mantenimiento planta	1	1	18	

**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 6.4.** Tabla de evaluación esfuerzo e impacto

X's	ID	X'S	Y: N° SKIPS IZADOS		RESULTADOS FINALES	IMPACTO	ESFUERZO
			ENTRADAS	SALIDAS			
			10	8			
			TIEMPO POR SKIP	FALLA EN EL SISTEMA			
X <sub>5</sub>	5	Zonas con filtración natural de agua intempestiva	8	8	144	144	100
X <sub>11</sub>	11	Falta de un sistema automático para abastecimiento de mineral	8	5	120	120	140
X <sub>15</sub>	15	Falta de guardas laterales sobre fajas transportadoras	3	10	110	110	80
X <sub>4</sub>	4	Mala perforación y/o carguío de taladros	8	3	104	104	100
X <sub>8</sub>	8	Falta de capacitación a los operadores del Nv. 2865	10	3	124	124	40
X <sub>12</sub>	12	Falta de capacitación y comprobación de pericia en campo.	5	8	114	114	40
X <sub>14</sub>	14	Mal posicionamiento de raspadores de fajas	3	8	94	94	60
X <sub>9</sub>	9	Sistema de detención de ambos componentes mal programado	5	5	90	90	40
X <sub>7</sub>	7	Desconocimiento del operador de fase 1 sobre la importancia de una buena comunicación con el secretario mina	5	3	74	74	40
X <sub>10</sub>	10	Falta de reemplazo oportuno de cadenas de control de carga	3	5	70	70	80
X <sub>13</sub>	13	Falta de punto de retiro de inchancables antes de vaciado en tolvas y carguío de faja transportadora	3	3	54	54	120
X <sub>1</sub>	1	Falta de información geológica	1	1	18	18	150
X <sub>2</sub>	2	Falta de seguimiento a la planificación y ejecución	1	1	18	18	100
X <sub>3</sub>	3	Ineficiente gestión de terceros de mantenimiento mina	1	1	18	18	120
X <sub>6</sub>	6	Ineficiente gestión de terceros mantenimiento planta	1	1	18	18	110

Fuente: Elaboración propia



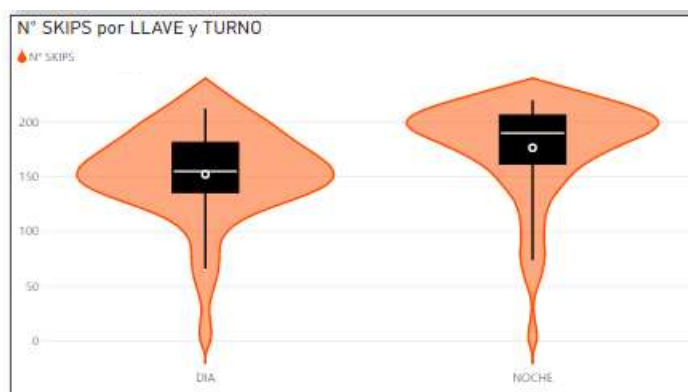
**Figura 6.1.** Matriz Esfuerzo vs Impacto dividido en cuadrantes

Fuente: Elaboración propia

### 6.1.2. Análisis adicionales

Con los datos recolectados de enero a mayo del 2021, también se realizó un análisis para determinar si existe influencia de diversos factores para el resultado final de skips izados por guardia. Estos factores analizados fueron: turno (día y noche), guardia (A, B y C), día de la semana y hora.

Los análisis por turno y guardia se realizaron con diagramas de violín, tal como se muestra en las figuras 6.2. y 6.3., respectivamente.



**Figura 6.2.** Diagrama de violín por turno

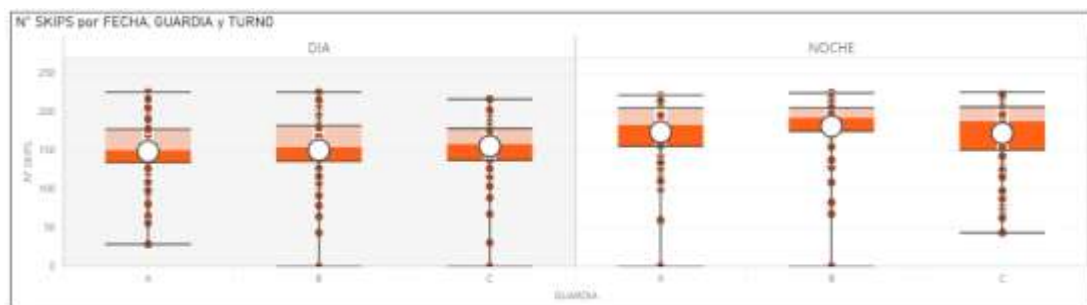
**Fuente:** Elaboración propia



**Figura 6.3.** Diagrama de violín por guardia

**Fuente:** Elaboración propia

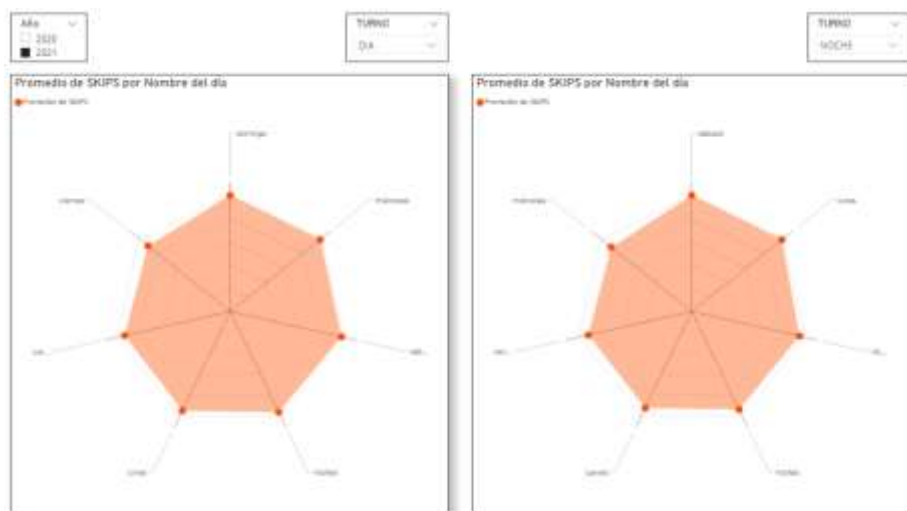
Asimismo, se realizó un diagrama de cajas para analizar cada guardia según el turno ejecutado.



**Figura 6.4.** Diagrama de cajas de skips por turno y guardia

**Fuente:** Elaboración propia

Por otro lado, los análisis de influencia por turno, día de semana y hora de izaje se realizaron en diagramas de radar, obteniéndose las gráficas mostradas a continuación:



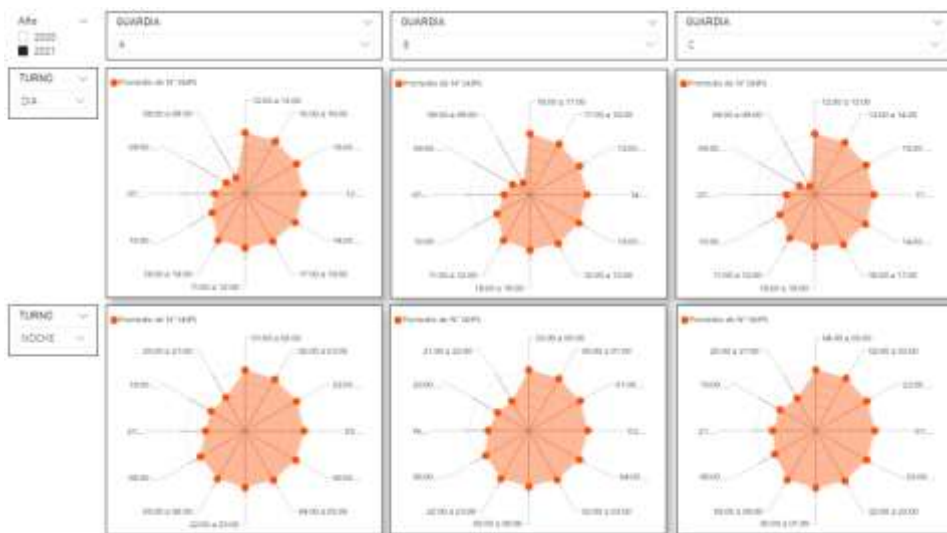
**Figura 6.5.** Diagrama de radar de skips por turno y día de semana

**Fuente:** Elaboración propia



**Figura 6.6.** Diagrama de radar de skips por turno, guardia y día de semana

**Fuente:** Elaboración propia



**Figura 6.7.** Diagrama de radar de skips por turno, guardia y hora de izaje

**Fuente:** Elaboración propia

## 6.2. Análisis de costos

Al incrementar el tonelaje mensual, el cálculo de la utilidad bruta se realizó nuevamente considerando el aumento del costo variable. Asimismo, se recalculó el cash cost de la unidad.

**Tabla 6.5.** Datos operacionales enero – mayo 2021

DATOS OPERACIONALES		2021				
		Ene-21	Feb-21	Mar-21	Abr-21	May-21
<b>PARÁMETROS</b>						
Días totales	días	31	28	31	30	31
Días paradas de planta	días	0	1	0	0	2
Días efectivos	días	31	27	31	30	29
Humedad	%	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
Promedio NSR	US\$/tms	70	70	70	70	70
<b>PLANTA</b>						
Tonelaje diario	tms	6,305	6,305	6,305	6,305	6,305
Confiabilidad	%	95%	95%	95%	95%	95%
Capacidad de planta	tms	185,682	161,723	185,682	179,693	173,703
Mineral tratado	tms	172,979	147,213	181,756	170,086	163,884
<b>IZAJE</b>						
Tonelaje por día izaje	tmh	5,130	5,130	5,130	5,130	5,130
Tonelaje mensual prg izaje	tmh	159,030	138,510	159,030	153,900	148,770
Tonelaje mensual eje izaje	tmh	151,107	120,245	148,651	143,991	137,697
Pérdida de tonelaje	tmh	7,923	18,266	10,380	9,910	11,074
Pérdida de tonelaje	tms	7,685	17,718	10,068	9,612	10,741
Horas izaje perdidas	hrs	160	205	171	155	209
Días equivalentes perdidos	días	6.7	8.5	7.1	6.5	8.7
<b>COSTOS</b>						
Costo Fijo	kUS\$	4,224	4,516	4,612	4,481	4,756
Costo Variable	kUS\$	4,755	5,211	4,622	5,041	5,976
CASH COST	kUS\$	8,979	9,727	9,234	9,521	10,732
Cash cost	US\$/tms	51.91	66.08	50.80	55.98	65.49
Costo izaje	US\$/tms	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70

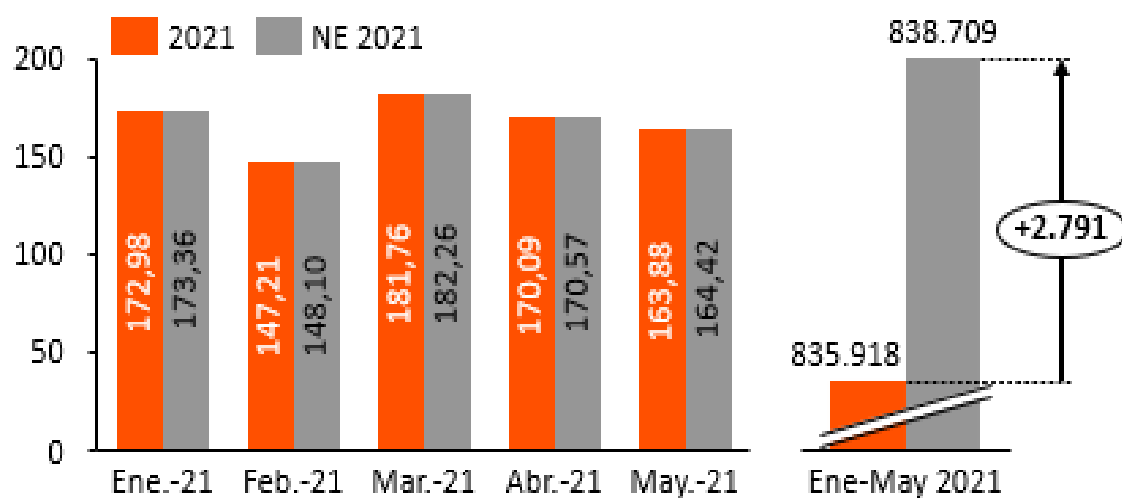
**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 6.6.** Análisis variación cash cost enero – mayo 2021

<b>ANÁLISIS NUEVO CASH COST</b>						
<b>TRATAMIENTO</b>						
Aumento de 5%	tms	384	886	503	481	537
Tonelaje nuevo	tms	173,363	148,099	182,259	170,566	164,421
Δ capacidad de planta	tms	12,319	13,624	3,423	9,126	9,281
<b>COSTOS</b>						
Costo Fijo	kUS\$	4,224	4,516	4,612	4,481	4,756
Costo Variable	kUS\$	4,766	5,243	4,634	5,055	5,995
<b>CASH COST</b>	<b>kUS\$</b>	<b>8,990</b>	<b>9,759</b>	<b>9,246</b>	<b>9,536</b>	<b>10,752</b>
Cash cost	US\$/t	51.85	65.89	50.73	55.91	65.39
Reducción cash cost	US\$/t	0.05	0.18	0.07	0.07	0.09
Aumento costo izaje	US\$	269	620	352	336	376
<b>ÁNÁLISIS UTILIDAD BRUTA</b>						
<b>Escenario 2021</b>						
Ventas	kUS\$	12,108	10,305	12,723	11,906	11,472
Costo Operativo	kUS\$	8,979	9,727	9,234	9,521	10,732
Utilidad Bruta	kUS\$	3,129	577	3,489	2,385	740
<b>Nuevo Escenario</b>						
Ventas	kUS\$	12,135	10,367	12,758	11,940	11,509
Costo Operativo	kUS\$	8,990	9,759	9,246	9,536	10,752
Utilidad Bruta	kUS\$	3,146	608	3,512	2,404	758
<b>Variación</b>						
Δ Ventas	US\$	26,899	62,011	35,238	33,643	37,595
Δ Costo operativo	US\$	10,564	31,360	12,800	14,244	19,583
Aumento U.B.	US\$	16,335	30,651	22,438	19,399	18,011

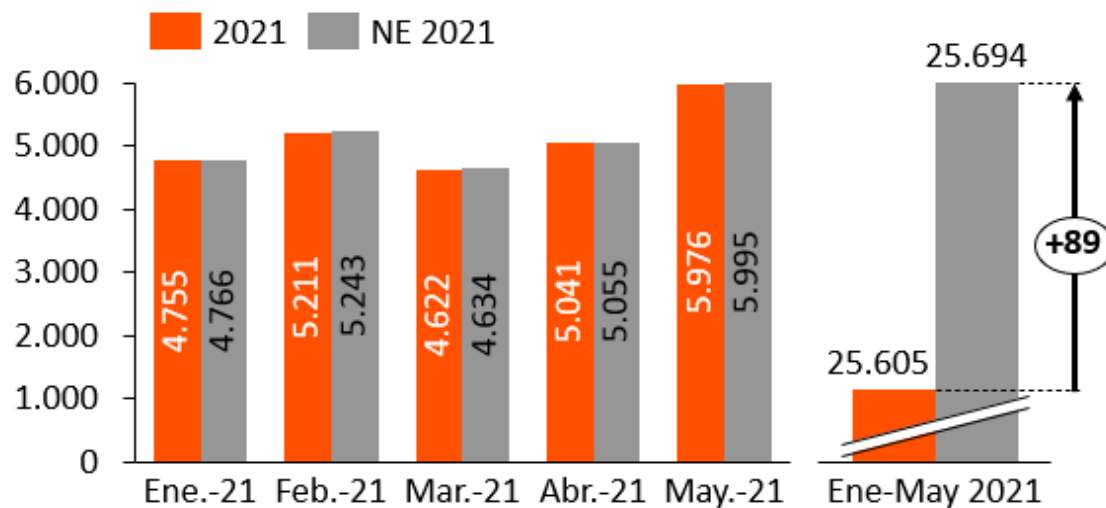
**Fuente:** Elaboración propia





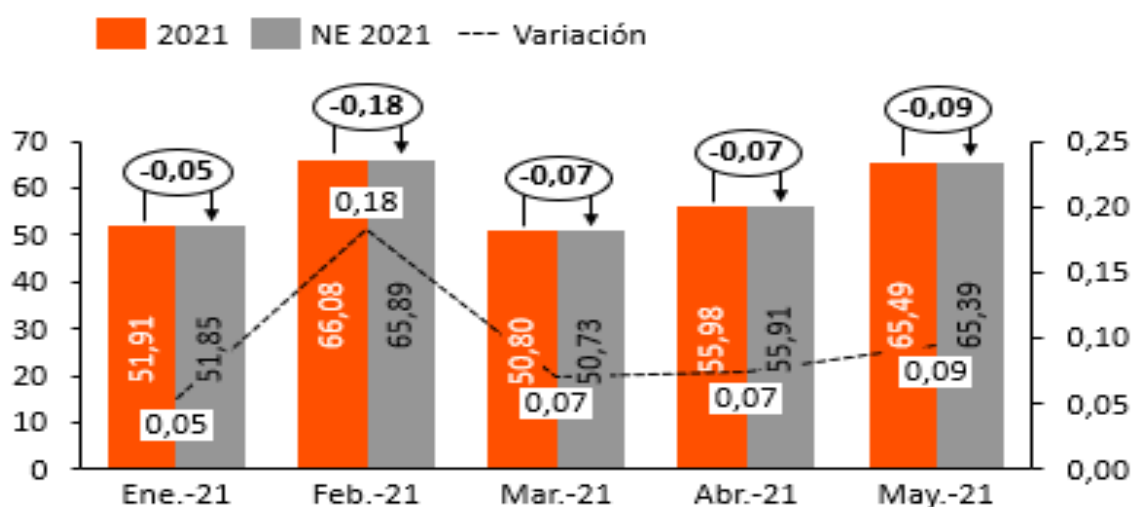
**Figura 6.8.** Gráfica del tratamiento real y proyectado (tms)

**Fuente:** Elaboración propia



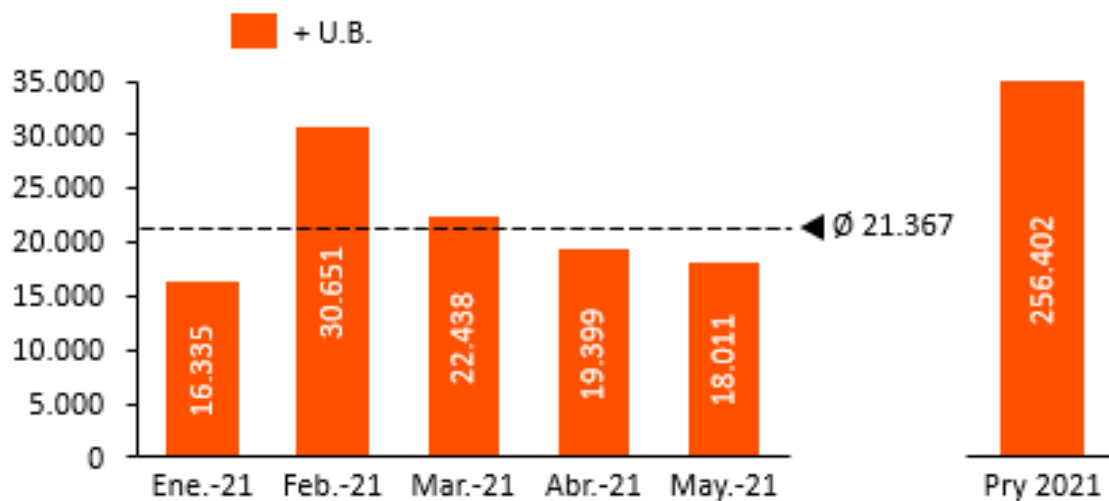
**Figura 6.9.** Gráfica del costo variable real y proyectado (k US\$)

**Fuente:** Elaboración propia



**Figura 6.10.** Gráfica de la variación del cash cost (US\$/tms)

**Fuente:** Elaboración propia



**Figura 6.11.** Gráfica del aumento mensual de la utilidad bruta y la proyección anualizada (US\$)

**Fuente:** Elaboración propia

### 6.3. Análisis y discusión de resultados

El promedio de skips izados por día es 346.3 de un total posible de 380. Esto representa un total de 455 toneladas de pérdida por día para la empresa, considerando 13.5 toneladas por skip. Siendo el valor de concentrado de mineral (NSR) promedio de 70 US\$/ton, esto representa una pérdida diaria para la empresa de US\$ 31,850. Dicho monto anualizado representa US\$ 11,466,000, por lo que la reducción de horas paradas en un 5% representaría un ingreso adicional anual de US\$ 573,300.

Los datos recolectados y analizados presentan una distribución normal ( $p=0.318$ ), por lo que puede determinarse el número de skips bajo la siguiente fórmula:

$$y = 449.4 - 18.7 \times x$$

Donde:

$y$ : *Nº skips izados (und)*

$x$ : *horas paradas (hrs.)*

Asimismo, para el análisis realizado se excluyeron los días de parada de planta por tener comportamientos anómalos en la muestra estadística.

Al analizar la fórmula de predicción de número de skips concluimos que el número de skips es directamente influenciado por las horas de parada en el sistema de transporte vertical.

Dicha relación conlleva a analizar los motivos de paradas según los datos recolectados.

En el análisis se determinó que existen 15 causas raíz principales para estas paradas y con la matriz de esfuerzo-impacto se pudo determinar cuáles causas deberían ser priorizadas para su erradicación. Las causas ubicadas en el primer cuadrante de la matriz esfuerzo-impacto fueron retiradas de la evaluación por ser de alto esfuerzo y bajo impacto.

Para las causas raíz ubicadas en el segundo cuadrante se debe realizar un análisis con mayor detalle para determinar si se ejecuta un plan de acción para su eliminación. Esto debido a que son de alto esfuerzo, pero tienen un alto impacto en la operación. Las causas raíz pertenecientes a este cuadrante son: Zonas con filtración natural de agua intempestiva, Falta de un sistema automático para abastecimiento de mineral, Falta de guardas laterales sobre las fajas transportadoras, Mala perforación y/o carguío de taladros.

Para la filtración natural de agua intempestiva se debe realizar un análisis de costo beneficio para sustentar la inversión de estudios hidrogeológicos, perforación de taladros de drenaje, etc.

Para la implementación de un sistema automático para abastecimiento de mineral se debe realizar un estudio completo del sistema de transporte vertical, en el cual se contemple la capacidad de abastecimiento de las tolvas con la capacidad de aporte de las fajas y la capacidad del skip.

Para la falta de guardas laterales sobre las fajas transportadoras, se debe evaluar el costo de implementación de guardas laterales teniendo en consideración que este punto disminuirá la exposición del personal a voladuras secundarias para desatascar los polines, así como la menor emisión de gases de voladura.

Para la mala perforación y/o carguío de taladros, se debe evaluar la mejor metodología para el cumplimiento de la perforación de taladros según las mallas de perforación diseñadas. Asimismo, evaluar la implementación de equipos que cuenten con control automático de cantidad de explosivos por taladro.

Las causas raíz ubicadas en el tercer cuadrante deben ser priorizadas para la ejecución de planes de acción ya que requieren un bajo esfuerzo, pero tienen un alto impacto. Las causas raíz pertenecientes a este cuadrante son: Falta de capacitación y comprobación de pericia en campo a los operadores del Nv. 2865, Mal posicionamiento de raspadores de fajas, Sistema de detención de ambos componentes mal programado.

Para la falta de capacitación y comprobación de pericia en campo de los operadores debe establecerse un plan de capacitación según evaluación de pericia por operador, tanto en el manejo de las cadenas de tolva para abastecimiento de mineral como la operación del PLC.

Para el mal posicionamiento de raspadores de fajas, se debe realizar una reevaluación posterior a la implementación de guardas laterales; ya que se estaría eliminando esta causa raíz o en su defecto se reducirían las incidencias.

Para el sistema de detención de ambos componentes mal programado, se debe realizar una supervisión en campo con el área de mantenimiento eléctrico e instrumentación para desfazar las paradas de las cadenas respecto a la parada de la faja. El tiempo de desfase se debe evaluar según remanente que deja caer la cadena posterior a su detención.

Para la causa raíz “Desconocimiento del operador de fase 1 sobre la importancia de una buena comunicación con el secretario mina”, ubicada en el cuarto cuadrante, se debe tomar acción inmediata capacitando al operador de fase 1; ya que esto representa un bajo esfuerzo y bajo impacto.

Adicional a ellos, en la figura 5.28 se muestra que una de las causas raíz de la parada del sistema de transporte vertical es la falta de mineral y en la figura 5.29 se muestran dos ciclos de disminución de skips izados bien marcados, siendo el ciclo 2 afectado por la falta de mineral. Por tal motivo se debería trabajar en la mejora de abastecimiento de mineral o prolongar una hora más el mantenimiento del turno día de manera que el tonelaje dejado de izar por la mañana reemplace al tonelaje izado en el cambio de guardia. De esta manera se aprovecharía de manera más eficiente las horas de parada del sistema de transporte vertical garantizando el mantenimiento de este.

Respecto a la velocidad del skip, se analizó un posible aumento de 2000 pies por minuto (ppm) a 2600 ppm y 3000 ppm. Los resultados obtenidos muestran zonas de alta vibración en el eje cara a cara de las guías generada por el mal alineamiento de éstas en determinadas zonas, por lo que aumentar la velocidad del skip implicaría un riesgo de descarrilamiento del skip durante la operación. Por tal motivo, si se requiere aumentar la velocidad del skip se debe priorizar el mantenimiento de las guías en las zonas indicadas en el estudio.

Respecto al análisis de la influencia de otros factores, se determinó que en el turno de noche se tiene una diferencia de 37 skips respecto a la meta promedio.

Esto puede deberse a la falta de mineral, pero debe analizarse si existen otros factores influyentes.

Asimismo, la guardia que presenta mejor performance es la B, debiendo trabajar con las guardias A y C para mejorar el performance. Para ello se debe realizar un análisis por guardia para determinar si los desvíos son por la parte operativa o de las áreas de soporte.

Adicional a ello, se evaluó que días se tiene menor productividad por parte de las guardias en el turno noche. Los días con un performance dentro de lo esperado son los sábados y lunes. El resto de los días de la semana no se tiene una productividad que este dentro de lo esperado, ya que la meta son 214 skips y el promedio es de 181.64. La guardia con prioridad de análisis es la guardia C, según el performance mostrado en la figura 6.6; cuyo resultado muestra una productividad de 178.52.

Respecto al análisis por horas, la figura 6.7 muestra un resultado dentro de lo esperado, ya que los horarios con menor rendimiento del turno día son durante las horas de mantenimiento programado y en el turno noche son durante los cambios de guardia. Sin embargo, se recalca realizar un análisis aparte de la falta de mineral.

## CONCLUSIONES

- El número de skips izados por día cumple con los requisitos de una distribución normal, por lo que puede determinarse una fórmula para su cálculo que es inversamente proporcional a las horas de paradas en el sistema de transporte vertical.
- El análisis del sistema de transporte vertical de mineral permitió identificar causas raíz y sus posibles soluciones, que implican bajo esfuerzo y alto impacto, para incrementar la productividad del winche eléctrico en un 5% en minas subterráneas.
- La utilidad bruta anualizada generada por el análisis del sistema de transporte vertical es de US\$ 256,402.
- Las pruebas de alineamiento de las guías revelaron que la alineación de la guía es deficiente para el compartimiento del skip N°1 con numerosas aceleraciones altas por encima de 0,70 g y varias aceleraciones extremas por encima de 1,0 g. El compartimiento del skip N°2 tiene numerosas ubicaciones con aceleraciones altas y extremas, sin embargo, está en una forma ligeramente mejor que el compartimiento del skip N°1.
- Las guías en ambos compartimientos de skip's deben alinearse para permitir el desplazamiento a velocidades más altas.



- Existe un menor rendimiento en la guardia C, por lo que se debe analizar a detalle esta guardia y establecer planes de acción para mejorar su performance.
- La falta de mineral en las tolvas es un factor muy influyente para el incumplimiento de las horas de izaje, por lo que la empresa minera debe profundizar en el análisis de las causas raíz de este factor.
- Existen dos ciclos representativos de disminución de skips izados, siendo el ciclo de 6 pm a 10 pm afectado por la falta de mineral. Por tal motivo, la empresa minera debe analizar si es recomendable aumentar la cantidad de horas de 4 a 5 para el mantenimiento programado de manera que se pueda trabajar en la alineación de guías mencionado tal como se recomienda en el capítulo 5.4.2 del presente estudio.

## RECOMENDACIONES

- Se debe realizar un análisis costo-beneficio a profundidad sobre las posibles soluciones que representan un alto esfuerzo e impacto, considerando temas de seguridad y medio ambiente. Esto con el fin de determinar su implementación u otras soluciones alternativas.
- Se recomienda dar la importancia debida al desarrollo y preparación de la mina para mantener el equilibrio entre las reservas explotadas y la reposición de estas con otros cuerpos mineralizados; con el fin de garantizar la sostenibilidad de la operación en el mediano y largo plazo.
- Cada vez que ingrese un operador nuevo a la zona del sistema de transporte vertical se debe garantizar que cumpla con las capacitaciones y habilidades para el puesto de trabajo, ya que su desempeño está directamente relacionado con la producción diaria y por ende con la rentabilidad diaria de la empresa.
- La empresa minera debe evaluar el desfase de horarios para las actividades de mantenimiento mecánico, eléctrico y de infraestructura con el fin de aprovechar las horas improductivas por falta de mineral. Asimismo, se debe evaluar el desfase de operadores que abastecen las tolvas de mineral de manera que se tenga una capacidad de respuesta rápida para continuar con el izaje de mineral.
- Se recomienda ajustar las ubicaciones que crean aceleraciones extremas por encima de 1,0 g y aceleraciones altas por encima de 0,7 g durante el próximo

período de mantenimiento programado. Eventualmente, todas las ubicaciones con 0.5 g y más deben corregirse; de lo contrario, la fuerza de alto impacto resultante de la desalineación continuará golpeando las guías y el soporte.

- Se debe realizar otra prueba de alineación de las guías después de que se haya realizado la realineación de éstas para indicar el éxito de tales mantenimientos y determinar a qué velocidad se puede aumentar.
- Se recomienda que el winche de mineral continúe funcionando a la velocidad reducida de 10,35 m/s (2000 ppm) hasta que se hayan realizado las realineaciones de las guías para las áreas extremas descritas en las tablas del capítulo 5.4.
- El tipo de deslizador guía que se utilizan en los skips de la unidad de análisis son resortes de goma de torsión con mecanismo de eje de rueda excéntrica. Este tipo de deslizador guía no proporciona la precarga de resorte requerida para soportar/absorber las fuerzas laterales generadas debido a las guías desalineadas. La mina debe considerar la instalación de un tipo de deslizador guía que pueda precargarse con un resorte contra las guías y preferiblemente con una rigidez de resorte ajustable.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Cerro Rico, Base Rey, “Capacitación para trabajadores mineros” - Compañía Peruana de uso Minero, Ecológico y Técnico, 2006
- [2] Howard L. Hartman, “SME Mining Engineering Handbook” - Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc. Littleton, Colorado, 1992
- [3] Kalinowski, Piotr, Dlugosz, Oskar y Kaminski, Pawel, “Digital Twin of the Mining Shaft and Hoisting System as an Opportunity to Improve the Management Processes of Shaft Infrastructure Diagnostics and Monitoring” – Intech Open, 2021
- [4] Medina Ayque, Albert, “Sistema de extracción de mineral del pique 718 con winche de izaje e incremento de producción en la mina Calpa – Arequipa” – Universidad Nacional del Altiplano, 2014
- [5] Ricse Torres, Dennis, “Rediseño del sistema de izaje para mejora del rendimiento de extracción – Unidad Minera San Juan de Chorunga” – Universidad Nacional del Centro del Perú, 2019

- [6] Riveros Yauri, Willy, “Frenado dinámico para winche de izaje de mineral” – Universidad Nacional de Ingeniería, 2011
- [7] Túllume, Jhonny y Llontop, Robert, “Automatización e implementación de un sistema SCADA para mejorar el desempeño del sistema de izaje por winches en minería subterránea de la Compañía Minera Casapalca S.A.” – Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, 2016
- [8] Wang, Guoying, Xiao, Xingming y Liu, Yunlong, “Dynamic Modeling and Analysis of a Mine Hoisting System with Constant Length and Variable Length” - Hindawi – Problemas matemáticos en ingeniería, 2019

## ANEXOS

### ANEXO N° 1: Reporte de izaje de mineral

#### REPORTE DE IZAJE DE MINERAL

Fecha: 22/02/2021

HORA	Cantidad de Skip		OBSERVACIONES
	Min	Des	
07 a 08 am	14	0	07:00- 07:06 Prueba de frenos.
08 a 09 am	0	0	07:42-11:15 Mantenimiento mecánico programado.
09 a 10 am	0	0	11:15-12:18 Trabajos en Fase 1.
10 a 11 am	0	0	14:06-15:00 Pocket lleno 100%.
11 a 12 am	0	0	15:39-16:30 Pocket lleno 100%.
12 a 13 pm	13	0	
13 a 14 pm	19	0	
14 a 15 pm	2	0	
15 a 16 pm	13	0	
16 a 17 pm	10	0	
17 a 18 pm	19	0	
18 a 19 pm	19	0	
<b>TOTAL</b>	<b>109</b>	<b>0</b>	<b>Observaciones: 109 skips @ 13.5 ton</b>
19 a 20 pm	17	0	19:00-19:06 Prueba de frenos.
20 a 21 pm	16	0	20:09-20:13 / 20:16-20:21 / 00:06-00:15 Demora en llenado de bolsillos.
21 a 22 pm	8	0	21:00-21:36 Banco atascado en cola de faja O.B.
22 a 23 pm	19	0	
23 a 24 am	19	0	
00 a 01 am	17	0	
01 a 02 am	19	0	
02 a 03 am	19	0	
03 a 04 am	19	0	
04 a 05 am	19	0	
05 a 06 am	19	0	
06 a 07 am	19	0	
<b>TOTAL</b>	<b>210</b>	<b>0</b>	<b>Observaciones: 77 skips @ 13.5 ton y 133 skips @ 14 ton</b>

TOTAL Skips	TOTAL Producción
319	4373

  
CORTIS

  
YUJIN MEZA

OPERADOR WINCHE 1er TURNO

OPERADOR WINCHE 2do TURNO

## ANEXO N° 2: Registro de operación de Winche de Mineral TILEY 3645

### REGISTRO DE OPERACION WINCHE DE MINERAL TILEY 3645

**NOMBRE:** YURIK MEZA      **FECHA:** 22 / 02 / 2021      **GUARDIA:** NOCHE  
 He leído el informe del operador de la guardia anterior y las instrucciones especiales a las 18:50  
 He realizado la prueba de frenos del winche en vacío a las 19:06 horas, su condición es: OPERATIVO      Mecánico de Turno: .....

PRUEBA DE FRENOS:	DERECHO	IZQUIERDO	PIÑON
PRUEBA ESTATICA FRENO DERECHO:	...7068...A	FRENO IZQUIERDO: ...7067...A	FRENO PIÑON: .....A
PRUEBA DINAMICA FRENO DER ARRIBA:	.....A .....PSI	FRENO IZQ ARRIBA: .....A .....PSI	FRENO PIÑ ARRIB: .....A .....PSI
FRENO DER ABAJO:	.....A .....PSI	FRENO IZQ ABAJO: .....A .....PSI	FRENO PIÑ ABAJO: .....A .....PSI
FRENO DER PROM:	.....A .....PSI	FRENO IZQ PROM: .....A .....PSI	FRENO PIÑ PROM: .....A .....PSI

He probado el sobre enrollamiento y bajo enrollamiento a las: ..... horas, su condición es .....  
 He probado el TRACK LIMIT a las ..... horas, su condición es: .....  
 He probado el sistema de seguridad de cuerda floja a las ..... horas, su condición es .....

**FLUJO, TEMPERATURA Y PRESION DE ACEITE EN CHUMACERAS:**

EJE TAMBORAS #1.- ...2.0...GPM ...31...°C	#2.- ...2.5...GPM ...34...°C	#3.- ...2.75...GPM ...21...°C	#4.- ...2.75...GPM ...32...°C	PRESION: .....54..... PSI
EJES REDUCTOR #5.- ...3.0...GPM ...48...°C	...46...°C	#7.- ...2.75...GPM ...45...°C	#8.- ...3.0...GPM ...46...°C	PRESION: .....127..... PSI

**PRESIONES HIDRAULICAS DE APERTURA DE FRENOS:**

IZQUIERDO: ...1435...PSI	DERECHO: ...1260...PSI	PIÑON: ...1127...PSI
--------------------------	------------------------	----------------------

**PARAMETROS DE DRIVES:**

DRIVE#1: ...25...PSI    ...90...°F	TUBERIA#1: ...OK...	CHILLER#1: ...OK...	DRIVE#2: ...24...PSI    ...96...°F	TUBERIA#2: ...OK...	CHILLER#2: ...OK...
------------------------------------	---------------------	---------------------	------------------------------------	---------------------	---------------------

**TEMPERATURAS Y VIBRACION EN MOTOR #1:**      **SOPLADOR MOTORES:** .....

BOBINA 01 .....58.....°C	BOBINA 02 .....59.....°C	BOBINA 03 .....55.....°C	BOBINA 01 .....58.....°C	BOBINA 02 .....57.....°C	BOBINA 03 .....58.....°C
RODAMIENTO 01 ...36...°C .....MMS	RODAMIENTO 02 ...27...°C .....MMS	RODAMIENTO 01 .....41.....°C .....MMS	RODAMIENTO 02 .....28.....°C .....MMS		

**TEMPERATURAS TRANSFORMADOR #1:**      **TEMPERATURAS Y VIBRACION EN MOTOR #2:**

BOBINA 01 .....63.....°C	BOBINA 02 .....82.....°C	BOBINA 03 .....84.....°C	BOBINA 01 .....90.....°C	BOBINA 02 .....58.....°C	BOBINA 03 .....61.....°C
--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------

Realicé los siguientes viajes de prueba en vacío a las 19:10..... horas y los reportes son: ..... CONFORME.....  
 Las condiciones de trabajo del winche : incluyen frenos, embragues y sus interlock, indicadores de profundidad, amperajes y todos los dispositivos de seguridad y empalmes fueron como sigue: .....  
 Las condiciones en que se encuentran los sistemas de comunicación (radio, teléfono y timbre) es como sigue:..... CONFORME.....  
 Paradas inadvertidas fueron ..... por motivo de .....  
 Condiciones o circunstancias de izaje extrañas: ruidos, olores, temperaturas, ventilación, movimientos, paredes, techos  
 La cabina del winche se encontró: .....OK..... Se deja .....OK.....  
 La condición de los skips son: .....OK.....  
 El operador de carguío del Nv. -1205 es el señor: .....SANTIAGO BERNACHEA.....

Notas especiales para el siguiente operador (Circunstancias especiales, problemas del winche o seguridad de personas en el pique)

BALANZA 14 TN, SISTEMA DE IZAJE OPERATIVO



Firma Operador Winche: