



**UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**GESTIÓN DE EFICIENCIA DE
COMBUSTIBLE
EN LA GRAN MINERÍA DEL COBRE**

**TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE MAGÍSTER EN GESTIÓN Y
DIRECCIÓN DE EMPRESAS**

FERNANDO DAVID ZAMORA RODRIGUEZ

**PROFESOR GUÍA:
LUIS ZAVIEZO SCHWARTZMAN**

**MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
JACQUES CLERC PARADA
LORETO BURGOS RODRÍGUEZ**

**SANTIAGO DE CHILE
2024**

**RESUMEN DE LA TESIS PARA OPTAR AL GRADO
DE: MAGÍSTER EN GESTION Y DIRECCIÓN DE
EMPRESAS
POR FERNANDO DAVID ZAMORA RODRIGUEZ
FECHA: 2024
PROFESOR GUÍA: LUIS ZAVIEZO SCHWARTZMAN**

**GESTIÓN DE EFICIENCIA DE COMBUSTIBLE EN LA GRAN MINERÍA DEL
COBRE**

La presente tesis se centra en la "Gestión de Eficiencia de Combustible en la Gran Minería del Cobre", enfocándose en la optimización del consumo de combustible de los camiones de extracción mineros KOMATSU 930 E-4 y Caterpillar 794 AC en Minera Antucoya, perteneciente al grupo Antofagasta Minerals.

El objetivo principal es proponer medidas concretas para optimizar el consumo de combustible en estos camiones. Para ello, se establecen tres objetivos específicos: analizar las variables que afectan el consumo de combustible, seleccionar alternativas de mejora y elaborar un plan de implementación para dichas alternativas.

La metodología incluye un diagnóstico de la situación actual, el análisis de la información recopilada y la evaluación de datos utilizando herramientas como el estudio de métodos, diagramas de Ishikawa, indicadores clave de desempeño (KPI), análisis de Pareto, teoría del factor de acoplamiento (Match Factor) y teoría de colas.

En el desarrollo de la tesis, se realiza un análisis exhaustivo de los tiempos de ciclo de los camiones, identificando factores que impactan la eficiencia operativa, como tiempos de espera en carguío y descarga, velocidades promedio y demoras por congestión. Se utilizaron datos del sistema Jigsaw, con un año completo de operaciones que comprendió más de 160,000 registros.

Mediante herramientas estadísticas y software como Python y R, se procesaron los datos para identificar patrones y áreas de mejora, detectando variaciones significativas en tiempos de ciclo y velocidades. Estas variaciones se atribuyen a la falta de estandarización en los procedimientos de los operadores, ineficiencias en las rutas y diferencias en la capacidad de los equipos de carguío.

Entre las medidas propuestas para optimizar el consumo de combustible, se incluyen la priorización de palas al inicio de cada turno, la reducción del número de camiones en operación, mejoras en el diseño de caminos y rampas, capacitaciones para operadores, e implementación de plataformas de reportabilidad en tiempo real para mejorar la toma de decisiones.

AGRADECIMIENTOS

Agradecimientos por la Culminación de mi Tesis

Con el corazón lleno de gratitud, deseo expresar mi más sincero agradecimiento a quienes han sido pilares fundamentales en este viaje académico y personal:

- **A Dios:** Por ser mi guía y fuente de fuerza en cada paso de este camino. Su presencia ha sido la luz en los momentos de duda y el refugio en los desafíos.
- **A Mi Familia:** Por su amor incondicional, apoyo constante y creer en mí incluso cuando yo mismo dudaba. Su confianza y motivación han sido fundamentales para alcanzar este logro.
- **A Mi Madre:** Palabras no pueden describir el agradecimiento que siento por todo lo que has hecho. Tu sacrificio, amor y sabiduría han sido mi mayor inspiración. Eres la razón de este éxito y cada página de esta tesis lleva impresa tu enseñanza.

Este logro no solo es mío, sino también de todos ustedes que han caminado a mi lado. ¡Gracias!

Tabla de contenido

| | |
|--|-----------|
| CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN | 1 |
| 1.1 Generalidades | 1 |
| 1.2 Descripción de la Empresa | 2 |
| 1.2.1 Operaciones en Chile | 2 |
| 1.2.2 Operación Antucoya..... | 4 |
| 1.2.3 Misión | 4 |
| 1.2.4 Visión..... | 4 |
| 1.2.5 Organización y descripción del área en estudio..... | 5 |
| 1.3 Descripción del Tema | 12 |
| 1.4 Objetivos | 13 |
| 1.4.1 Objetivo General | 13 |
| 1.4.2 Objetivos Específicos..... | 13 |
| 1.5 Metodología | 13 |
| 1.5.1 Diagnóstico de la situación actual del área bajo estudio | 13 |
| 1.5.2 Análisis de la información | 13 |
| 1.5.3 Examinar y Evaluar..... | 13 |
| 1.5.4 Idear una propuesta de implementación | 13 |
| CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO | 14 |
| 2.1 Estudio de métodos | 14 |
| 2.2 Diagrama de Ishikawa | 15 |
| 2.3 Indicadores | 17 |
| 2.5 Norma ASARCO | 28 |
| 2.6 Principio de Pareto | 30 |
| 2.7 Teoría del Factor de Acoplamiento (Match Factor) | 32 |
| 2.8 Teoría de Colas | 34 |
| 2.9 Teoría de Agrupación | 35 |
| CAPÍTULO III: DESARROLLO | 36 |
| 3.1 Diagnóstico de la Situación Actual | 36 |
| 3.1.1 Operación Mina e infraestructura..... | 36 |
| 3.1.2 Operación unitaria de la mina | 38 |
| 3.1.4 Key Cost Drivers (KCD)..... | 43 |
| 3.1.5 Distribución de Gastos..... | 45 |

| | | |
|--|---|-----------|
| 3.1.6 | Distribución de Costos..... | 46 |
| 3.1.7 | Análisis de Pareto | 46 |
| 3.2 | Análisis de la información | 47 |
| 3.2.1 | Proceso de extracción de los datos..... | 48 |
| 3.2.2 | SQL (por sus siglas en inglés Structured Query Language)..... | 50 |
| 3.2.3 | Utilización de herramientas de análisis..... | 51 |
| 3.2.4 | Procesos de normalización de datos en Python | 71 |
| 3.3 | Examinación y Evaluación | 73 |
| 3.3.1 | Tiempos fijos | 73 |
| 3.3.2 | Cola en carguío | 75 |
| 3.3.3 | Descarga..... | 78 |
| 3.4 | Propuesta de implementación..... | 79 |
| 3.4.1 | Transporte | 79 |
| 3.4.2 | Área de control y gestión mina | 82 |
| 3.5 | Resultados..... | 84 |
| <i>CAPÍTULO IV: CONCLUSION</i> | | 85 |
| 4.1 | Conclusión..... | 85 |
| 4.2 | Recomendaciones | 85 |
| <i>ANEXO A Indicadores mina</i> | | 88 |
| <i>ANEXO B movimientos mina</i> | | 89 |
| <i>ANEXO C Árbol de valor de indicadores mina</i> | | 90 |

INDICE DE ILUSTRACIONES

| | |
|--|----|
| <i>Ilustración 1: Regiones donde tiene presencia AMSA Fuente: (Antofagasta Minerals, 2024)</i> | 2 |
| <i>Ilustración 2 Mapa región de Antofagasta Fuente: (Antofagasta Minerals, 2024)</i> | 5 |
| <i>Ilustración 3 Organigrama simple Fuente: Elaboración propia</i> | 9 |
| <i>Ilustración 4 Pasos de metodología Fuente: Elaboración propia</i> | 14 |
| <i>Ilustración 5 : Diagrama de Ishikawa Fuente: Elaboración propia</i> | 16 |
| <i>Ilustración 6 Tablero de Indicadores Fuente: https://www.ingenioempresa.com/</i> | 19 |
| <i>Ilustración 7 Tablero de Indicadores Fuente: https://www.ingenioempresa.com/</i> | 20 |
| <i>Ilustración 8 Diagrama de proceso de bienes y servicios Fuente: https://www.ingenioempresa.com/</i> | 21 |
| <i>Ilustración 9 Ejemplos de variables Fuente: https://www.ingenioempresa.com/</i> | 23 |
| <i>Ilustración 10 : Criterios de selección Fuente: https://www.ingenioempresa.com/</i> | 23 |
| <i>Ilustración 11: Norma Asarco Fuente: Elaboración propia</i> | 29 |
| <i>Ilustración 12 Diagrama de ciclo de teoría de colas Fuente: Elaboración propia.</i> | 34 |
| <i>Ilustración 13 Diagrama de ciclo de operación Fuente: Elaboración propia</i> | 35 |
| <i>Ilustración 14 Diagrama de ciclo de operación Fuente: Tesis Universidad de Chile</i> | 38 |
| <i>Ilustración 15 Ciclo productivo de operaciones mina y planta Fuente: Elaboración propia</i> | 39 |
| <i>Ilustración 16 Ciclo productivo de operaciones mina y planta Fuente: Elaboración propia</i> | 40 |
| <i>Ilustración 17 Diagrama de gestión de costos Fuente: Elaboración propia</i> | 41 |
| <i>Ilustración 18 Diagrama de gestión horas efectiva Fuente: Elaboración propia</i> | 42 |
| <i>Ilustración 19 Diagrama para determinar factor de combustible, como variante preponderante en el análisis Fuente: Elaboración propia</i> | 43 |
| <i>Ilustración 20 Diagrama físico de base de datos. Fuente: Sacado de una base de datos real</i> | 49 |
| <i>Ilustración 21 Diseño de consulta SQL. Fuente: Elaboración propia</i> | 50 |
| <i>Ilustración 22 consola Python. Fuente: Elaboración propia</i> | 71 |
| <i>Ilustración 23 Consola R-studio. Fuente: Elaboración propia</i> | 72 |

INDICE DE GRAFICOS

| | |
|---|----|
| Gráfico 1 : Diagrama de Pareto, ejemplo de Fuente: Elaboración propia | 31 |
| Gráfico 2 Factor de acoplamiento Fuente: Elaboración propia..... | 33 |
| Gráfico 3 : Distribución de gastos, según procesos. Fuente: Elaboración propia | 45 |
| Gráfico 4 Distribución de costos, según procesos. Fuente: Elaboración propia | 46 |
| Gráfico 5 Distribución de costos, según procesos. Fuente: Elaboración propia | 47 |
| Gráfico 6 Gráfico de temporalidad con barra de control. Fuente: Elaboración propia | 53 |
| Gráfico 7 Gráfico de Boxplot . Fuente: Elaboración propia | 54 |
| Gráfico 8 : Gráfico de histograma. Fuente: Elaboración propia | 54 |
| Gráfico 9 Gráfico de temporalidad con barra de control. Fuente: Elaboración propia | 55 |
| Gráfico 10 Gráfico de Boxplot . Fuente: Elaboración propia | 56 |
| Gráfico 11 Gráfico de histograma. Fuente: Elaboración propia..... | 56 |
| Gráfico 12 Gráfico de temporalidad con barra de control. Fuente: Elaboración propia | 58 |
| Gráfico 13 Gráfico de Boxplot . Fuente: Elaboración propia | 58 |
| Gráfico 14 Gráfico de histograma. Fuente: Elaboración propia..... | 59 |
| Gráfico 15 : Gráfico de temporalidad con barra de control. Fuente: Elaboración propia | 60 |
| Gráfico 16 Gráfico de Boxplot . Fuente: Elaboración propia | 61 |
| Gráfico 17 : Gráfico de histograma. Fuente: Elaboración propia | 61 |
| Gráfico 18 : Gráfico de temporalidad con barra de control. Fuente: Elaboración propia | 63 |
| Gráfico 19 Gráfico de Boxplot . Fuente: Elaboración propia | 64 |
| Gráfico 20 Gráfico de histograma. Fuente: Elaboración propia..... | 64 |
| Gráfico 21 : Gráfico de temporalidad con barra de control. Fuente: Elaboración propia | 65 |
| Gráfico 22 Gráfico de Boxplot Fuente: Elaboración propia | 66 |
| Gráfico 23 Gráfico de histograma. Fuente: Elaboración propia..... | 66 |
| Gráfico 24 Gráfico de temporalidad con barra de control. Fuente: Elaboración propia | 67 |
| Gráfico 25 Gráfico de Boxplot . Fuente: Elaboración propia | 68 |
| Gráfico 26 Gráfico de histograma. Fuente: Elaboración propia..... | 68 |
| Gráfico 27 : Gráfico de temporalidad con barra de control. Fuente: Elaboración propia | 69 |
| Gráfico 28 Gráfico de Boxplot . Fuente: Elaboración propia | 69 |
| Gráfico 29 Gráfico de histograma. Fuente: Elaboración propia..... | 70 |
| Gráfico 30 gráfico de barra tiempos fijos Fuente: Elaboración propia | 74 |
| Gráfico 31 gráfico de barra tiempos fijos Fuente: Elaboración propia | 74 |
| Gráfico 32 gráfico de barra tiempos fijos Fuente: Elaboración propia | 76 |
| Gráfico 33 gráfico de velocidades Fuente: Elaboración propia | 77 |
| Gráfico 34 gráfico descargando Fuente: Elaboración propia..... | 78 |

INDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1 descripción de equipos de carguío Fuente: Elaboración Propia | 10 |
| Tabla 2 descripción de equipos de Transporte Fuente: Elaboración Propia | 11 |
| Tabla 3 Estructura de la norma de tiempos de AMSA. Fuente: Elaboración propia | 30 |
| Tabla 4 Variables de ciclo operativo. Fuente: Elaboración propia | 52 |
| Tabla 5 Variables de tiempos fijos. Fuente: Elaboración propia..... | 75 |
| Tabla 6 velocidad vacío, cargado y promedio. Fuente: Elaboración propia | 77 |
| Tabla 7 de desarrollo de resultados. Fuente: Elaboración propia..... | 84 |
| Tabla 8 Indicadores mina. Fuente: reportabilidad de jigsaw | 88 |
| Tabla 9 Movimientos mina. Fuente: reportabilidad de jigsaw | 89 |
| Tabla 10 árbol de valor. Fuente: modelos usados por reportes mina | 90 |

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1 Generalidades

La minería, una actividad ancestral esencial para la economía mundial, consiste en la extracción selectiva de recursos de la corteza terrestre. Se distingue por su diversidad, abarcando desde la extracción de metales hasta la obtención de piedras preciosas y materiales de construcción. Cada iniciativa minera implica un proceso complejo que comienza con la exploración y estimación de recursos y culmina con la comercialización del producto. La elección entre minería a cielo abierto o subterránea se basa en aspectos como la geología del lugar, las propiedades del mineral y la viabilidad económica.

Un factor crítico en la minería es el consumo de combustible, clave tanto en eficiencia operativa como en costos. El gasto excesivo en combustible puede incrementar los costos y disminuir las ganancias. Por ello, es crucial identificar y corregir las ineficiencias en el consumo de combustible. La implementación de estrategias específicas para una gestión eficaz del combustible no solo reduce el desperdicio, sino que también potencia la rentabilidad del proyecto.

Más allá de lo económico, la optimización del consumo de combustible en minería tiene un importante impacto ambiental. Reducir el uso de combustible puede disminuir la huella de carbono de estas operaciones, contribuyendo a una minería más sostenible y responsable. El proyecto de investigación propuesto es vital, pues busca identificar mejoras en la gestión del combustible, un aspecto fundamental tanto desde la perspectiva económica como ambiental.

1.2 Descripción de la Empresa

1.2.1 Operaciones en Chile

Antofagasta Minerals (AMSA) se distingue como una innovadora empresa minera chilena, enfocada en liderar la industria del cobre con un compromiso ejemplar hacia la sostenibilidad. Priorizando la armonía entre rentabilidad y responsabilidad social y ambiental, AMSA integra prácticas sustentables en todas sus operaciones, demostrando un respeto profundo por sus trabajadores, las comunidades locales y el medio ambiente. Sus operaciones, principalmente en Chile, reflejan un modelo de minería responsable, impulsando la innovación y la adopción de tecnologías avanzadas para minimizar el impacto ambiental y maximizar la eficiencia.

Desde su sede en Santiago de Chile, parte del Grupo Antofagasta PLC, AMSA reúne a un equipo de profesionales altamente calificados. Trabajando en diversas operaciones y proyectos en Chile, se centran en la producción de cobre y subproductos como molibdeno y oro. AMSA se destaca por su gestión ética y sustentable de los recursos naturales, esforzándose por generar un impacto positivo y duradero en la economía y en las comunidades donde opera, fomentando así un legado de minería sostenible y responsable.

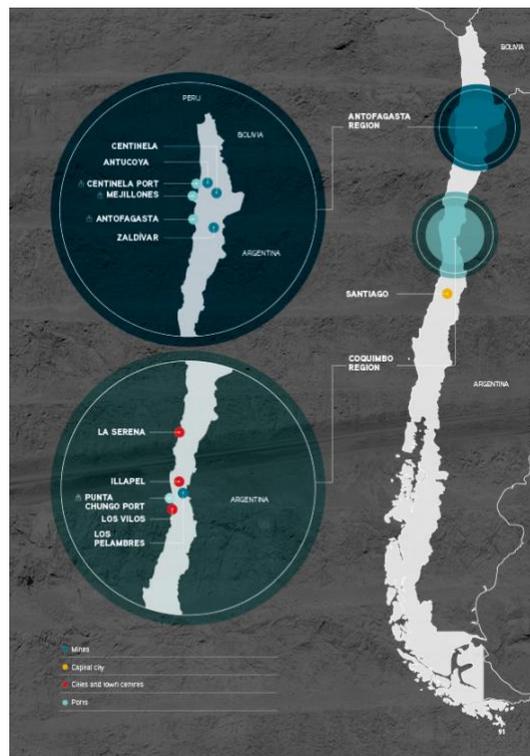


Ilustración 1: Regiones donde tiene presencia AMSA Fuente: (Antofagasta Minerals, 2024)

La visión estratégica de la compañía queda plasmada en las siguientes palabras:

“Nuestro propósito es desarrollar minería para un futuro mejor y para las personas, que son el centro de nuestro negocio. Cuidamos y reconocemos a nuestros trabajadores, entregándoles nuevos desafíos, conectando experiencias de aprendizaje y oportunidades de desarrollo personal y laboral”.

1.2.2 Operación Antucoya

Ubicación y Operaciones de Antucoya: La mina de cobre Antucoya, situada en la región de Antofagasta en Chile, es un proyecto de Antofagasta Minerals en colaboración con Marubeni Corporation. Se encuentra a unos 180 km al noreste de la ciudad de Antofagasta y a 1,400 km al norte de Santiago. Es importante destacar que se especializa en la producción de cátodos de cobre mediante el proceso de extracción por solventes y electro-obtención (SX-EW), una tecnología avanzada en la industria minera.

Importancia del Proyecto Antucoya: Inaugurada en julio de 2017 con una inversión de 1.900 millones de dólares, Antucoya representa uno de los proyectos Green Field de cobre más significativos en Chile y en el mundo en años recientes. Esto subraya no solo su novedad dentro del grupo Antofagasta Minerals, sino también su importancia en la minería de cobre a gran escala.

Sustentabilidad y Compromiso Ambiental: El compromiso de Antucoya con la sustentabilidad es un punto clave. Desde su inicio, la mina ha implementado el uso de agua de mar sin desalar en sus procesos, y desde 2022, se comprometió a utilizar exclusivamente energías renovables para su consumo eléctrico. Estas prácticas resaltan la orientación de la empresa hacia una minería sostenible y el respeto por el medio ambiente.

Presencia Global de Antofagasta Minerals: Antofagasta Minerals es uno de los mayores productores de cobre a nivel mundial, con operaciones concentradas principalmente en Chile. Las minas de Pelambres, Centinela, Antucoya y Zaldívar son ejemplos clave de su enfoque en la minería de cobre.

Diversificación y Expansión: La compañía posee un portafolio significativo de oportunidades de crecimiento, con proyectos principalmente en Chile y Estados Unidos. El proyecto Twin Metals Minnesota, un proyecto minero subterráneo de metales del grupo del cobre, níquel y platino, es un ejemplo de su expansión internacional.

Inversiones en Infraestructura y Servicios: Antofagasta Minerals gestiona una extensa red de ferrocarriles en el norte de Chile, conocida como Ferrocarril de Antofagasta a Bolivia, controlando el 100% de su capital.

1.2.3 Misión

Antofagasta Minerals como empresa tiene la misión de extraer mineral, desplegar en forma responsable y con excelencia, toda su capacidad de negocios mineros, relacionados en Chile y el mundo, con el propósito de maximizar en el largo plazo su valor económico.

1.2.4 Visión

Antofagasta Minerals quiere ser reconocida como una compañía minera internacional con base en Chile, centrada en el cobre y sus subproductos, además de destacar por su eficiencia operacional, creación de valor, alta rentabilidad y como un socio preferido en la industria minera-global.

1.1. Minera Antucoya

Minera Antucoya es una operación ubicada en las comunas de Mejillones y María Elena, a 125 [km] de Antofagasta, a una altura aproximada de 1.700 m.s.n.m. Su ubicación exacta se aprecia en

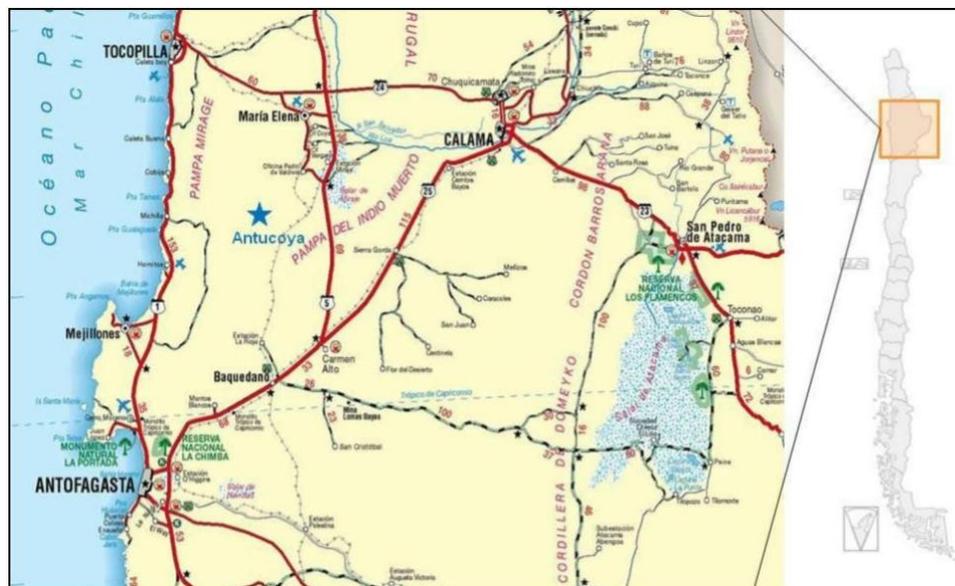


Ilustración 2 Mapa región de Antofagasta Fuente: (Antofagasta Minerals, 2024)

1.2.5 Organización y descripción del área en estudio

La compañía actualmente se basa en diversos procesos que conforman la estructura organizativa de la operación. Esta estructura está jerárquicamente organizada y se compone de los siguientes niveles.

Gerencia General:

Esta área desempeña un papel crítico como el principal eje de seguridad de la compañía. Además de ser responsable del desarrollo integral de todas las actividades de la División Antucoya y de la gestión de los negocios mineros, la Gerencia General tiene un enfoque especial en garantizar la seguridad de todas las operaciones. Administra de manera ágil y responsable el potencial de negocios mineros y relacionados, con el objetivo primordial de producir cobre de alta calidad y subproductos de manera rentable. La seguridad es una prioridad absoluta para la Gerencia General, y trabaja activamente en la implementación y supervisión de protocolos y medidas para garantizar un entorno de trabajo seguro. Además, la Gerencia General se compromete a aumentar la productividad, reducir los costos y preparar la organización para los desafíos futuros de la Corporación, en estricto cumplimiento de las políticas establecidas por el vicepresidente del Cobre de Chile y las facultades conferidas por el presidente ejecutivo.

El rol de la Gerencia General como el principal eje de seguridad refleja su dedicación a proteger la integridad de los trabajadores y garantizar que todas las operaciones se lleven a cabo de manera segura y eficiente.

Gerencia de Operaciones:

La función primordial de la Gerencia de Operaciones es llevar a cabo y supervisar de manera integral todas las operaciones de la unidad minera. Su objetivo principal es garantizar el cumplimiento de múltiples metas estratégicas establecidas por la empresa. Esta área desempeña un papel fundamental en el éxito global de la operación minera y se enfoca en los siguientes aspectos clave:

Producción: La Gerencia de Operaciones se encarga de ejecutar y gestionar las operaciones diarias de la mina con el fin de alcanzar las metas de producción previamente definidas. Esto incluye la planificación de la extracción de minerales, la optimización de procesos y la coordinación de equipos y recursos para lograr una producción eficiente y sostenible.

Costos: Además de la producción, la Gerencia de Operaciones se responsabiliza de controlar y gestionar los costos operativos. Esto implica la implementación de estrategias para minimizar los gastos innecesarios, mejorar la eficiencia en el uso de recursos y garantizar que las operaciones se desarrollen dentro de los presupuestos establecidos.

Seguridad: La seguridad en las operaciones mineras es de máxima importancia. La Gerencia de **Operaciones** trabaja incansablemente para asegurar que se mantengan los más altos estándares de seguridad en todas las actividades mineras. Esto incluye la implementación de protocolos de seguridad, la capacitación del personal y la supervisión constante para prevenir accidentes y garantizar un entorno de trabajo seguro.

Superintendencia Carguío y Transporte:

La Superintendencia encargada de la extracción y desarrollo de la mina, que ejecuta y planifica las tareas diarias del área de carguío y transporte, desempeña un papel fundamental en el funcionamiento efectivo de una operación minera. Aquí se argumenta su importancia:

1. **Operación Eficiente:** La extracción y transporte de minerales son dos aspectos críticos en la operación minera. Esta Superintendencia se encarga de coordinar y supervisar estas actividades en el día a día, asegurando que se lleven a cabo de manera eficiente y que se cumplan los objetivos de producción diarios, semanales y mensuales. Esto contribuye directamente a la productividad de la mina y al cumplimiento de los compromisos contractuales con clientes y socios comerciales.

2. **Seguridad:** La extracción y transporte de minerales a menudo implican operaciones en entornos potencialmente peligrosos. La Superintendencia está a cargo de implementar protocolos de seguridad rigurosos para garantizar la integridad de los trabajadores y

prevenir accidentes. Su labor es esencial para mantener un ambiente de trabajo seguro y para cumplir con las regulaciones y estándares de seguridad exigidos por la industria.

3. **Flujo de Producción:** El área de carguío y transporte es esencial para el flujo continuo de producción en la mina. Cualquier retraso o problema en esta etapa puede tener un impacto significativo en la cadena de suministro y la producción en general. Por lo tanto, la supervisión y ejecución efectiva de estas actividades son cruciales para mantener la operación en marcha sin interrupciones significativas.

Superintendencia de Gestión y Programación Operativa (Área de estudio):

desempeña un rol crítico en la supervisión y mejora continua de las operaciones mineras.

Aquí se argumenta su importancia:

1. **Medición de Indicadores:** Esta Superintendencia se encarga de monitorear y evaluar constantemente los indicadores clave de la operación minera. Estos indicadores incluyen la producción, los costos, la eficiencia operativa, la seguridad, entre otros. Al hacerlo, proporciona una visión clara y cuantitativa del desempeño de la mina, lo que permite a la empresa tomar decisiones informadas y estratégicas.
2. **Eficiencia Operativa:** Al medir y analizar los indicadores de mina, la Superintendencia puede identificar áreas que requieren mejoras o ajustes. Esto puede incluir la optimización de procesos, la reducción de desperdicios y la identificación de oportunidades para aumentar la eficiencia operativa. Su labor contribuye directamente a la maximización de la productividad y la rentabilidad de la operación minera.
3. **Seguimiento de Metas:** La Superintendencia se asegura de que la producción y otros indicadores cumplan con las metas y objetivos establecidos por la empresa. Esto implica la elaboración de planes estratégicos y la implementación de medidas correctivas cuando sea necesario para mantenerse en el camino correcto. Su supervisión garantiza que la operación se mantenga alineada con las metas estratégicas de la compañía.
4. **Mejora Continua:** La mejora continua es un principio fundamental en la gestión de operaciones mineras. La Superintendencia trabaja en estrecha colaboración con otros departamentos para identificar áreas de mejora y desarrollar iniciativas para implementar cambios positivos. Esta cultura de mejora constante es esencial para mantener la competitividad y adaptarse a las cambiantes condiciones del mercado.
5. **Toma de Decisiones:** Los datos y análisis proporcionados por la Superintendencia son vitales para la toma de decisiones de alto nivel en la empresa minera. La dirección y otros departamentos pueden utilizar esta información para evaluar estrategias, asignar recursos y tomar medidas proactivas para abordar desafíos operativos.

En resumen, la Superintendencia de Gestión y Programación Operativa desempeña un rol esencial al medir, evaluar y mejorar continuamente los indicadores de la operación minera. Su trabajo contribuye a la eficiencia, la productividad y la competitividad de la empresa minera, al tiempo que apoya la toma de decisiones informadas.

Superintendencia Perforación y Tronadura:

tiene un papel crucial en la operación minera al ser responsable de ejecutar y planificar las actividades de perforación y tronadura. Aquí se argumenta su importancia:

1. **Preparación del Terreno:** La perforación y tronadura son pasos fundamentales para la extracción de minerales en una mina. La Superintendencia se encarga de planificar la ubicación y la profundidad de los taladros de perforación, lo que prepara el terreno para la

posterior extracción. Una planificación precisa y eficiente es esencial para garantizar la extracción óptima de minerales y evitar desperdicios.

2. **Optimización de Recursos:** La gestión eficiente de recursos es esencial en una operación minera. La Superintendencia planifica el uso de equipos de perforación, explosivos y personal de manera que se maximice la productividad y se minimicen los costos. Esto incluye la coordinación de horarios y la asignación adecuada de recursos para optimizar la eficiencia de las operaciones de perforación y tronadura.

3. **Minimización de Impacto Ambiental:** La planificación cuidadosa de las actividades de perforación y tronadura también puede contribuir a minimizar el impacto ambiental. Se pueden implementar técnicas que reduzcan las emisiones de polvo, el ruido y las vibraciones, lo que es importante tanto desde el punto de vista regulatorio como para la responsabilidad ambiental de la empresa.

4. **Cumplimiento de Objetivos de Producción:** La Superintendencia garantiza que las actividades de perforación y tronadura se realicen de acuerdo con los objetivos de producción establecidos por la empresa. Esto es esencial para mantener la cadena de suministro de minerales en funcionamiento y cumplir con los compromisos contractuales.

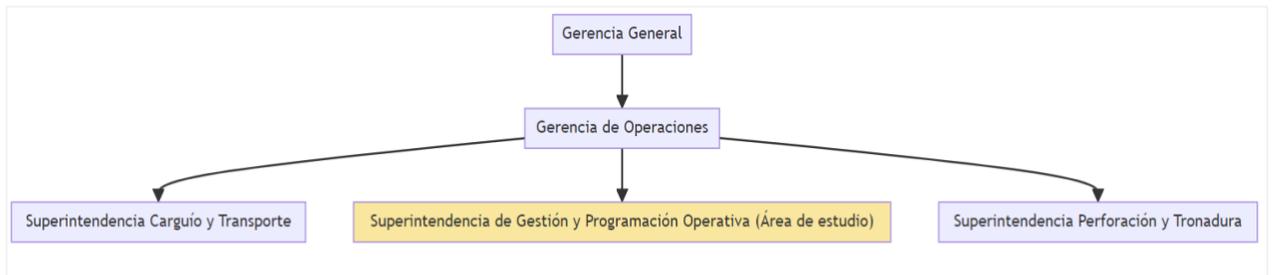


Ilustración 3 Organigrama simple Fuente: Elaboración propia

Flota mina carguío y transporte:

En el contexto de la mina Antucoya, el uso de equipos especializados en carguío y transporte sugiere una inversión significativa en maquinaria robusta y confiable. Los equipos de carguío son los que cargan el material, como minerales o desechos, en vehículos o dispositivos de transporte. Estos equipos son esenciales para garantizar que el material se mueva de manera efectiva desde el punto de extracción hasta su destino final, ya sea para procesamiento adicional, almacenamiento o eliminación.

Por otro lado, los equipos de transporte son los que llevan estos materiales a diferentes sectores del rajo. Estos vehículos suelen ser de gran tamaño y capacidad, diseñados para operar en terrenos difíciles y soportar las duras condiciones de una mina a cielo abierto.

El hecho de que la mina Antucoya cuente con equipos específicos para estas tareas indica una operación bien equipada y preparada para manejar las demandas de una operación minera a gran escala. Además, la mención de "flota mina y dotación" sugiere que hay una variedad de equipos disponibles y que estos están adecuadamente dotados para mantener la operación en funcionamiento continuo, lo cual es crucial para la productividad y eficiencia de la mina.

| Marca | Tipo de Equipo | Modelo | Número interno | Cantidad | Capacidad | Imagen |
|---------|----------------|----------|----------------|----------|-----------|---|
| P&H | Pala | 4100 XPC | S01 | 1 | 73 Yd3 |  |
| P&H | Pala | 4100 XPC | S01 | 1 | 73 Yd3 |  |
| Hitachi | Pala | Ex5600 | SH01 | 1 | 27 yd3 |  |
| Hitachi | Pala | Ex5600 | SH02 | 1 | 32 yd3 |  |
| P&H | Cargador | L2350 | L01 | 1 | 27 yd3 |  |

Tabla 1 descripción de equipos de carguío Fuente: Elaboración Propia.

| Marca | Tipo de Equipo | Modelo | Número interno | Cantidad | Capacidad | Imagen |
|-------------|----------------|---------|----------------|----------|-----------|---|
| Komatsu | Camión | 930-E-4 | CAEX | 17 | 295 ton |  |
| Caterpillar | Camión | 794 AC | CAEX | 2 | 295 ton |  |

Tabla 2 descripción de equipos de Transporte Fuente: Elaboración Propia.

1.3 Descripción del Tema

La necesidad global de reducir el consumo de combustibles fósiles es imperativa para encaminarnos hacia un futuro más sostenible desde el punto de vista ecológico. Esta urgencia ambiental ha impulsado a numerosas corporaciones a buscar alternativas menos dependientes de estas fuentes energéticas no renovables. En este contexto, la industria minera del cobre emerge como un sector clave para explorar estrategias de reducción en el uso de combustibles fósiles, especialmente en Chile, reconocido por sus operaciones mineras de clase mundial.

Este estudio se centra en la Compañía Minera Antucoya, parte del grupo Antofagasta Minerals. Esta compañía, especializada en la producción de cobre, genera aproximadamente 78.000 toneladas anuales de cátodos de cobre y emplea a cerca de 1.000 trabajadores, incluyendo supervisores y operarios. La operación minera de Antucoya se desarrolla de manera continua, siguiendo un esquema de trabajo 7x7. Este análisis se enfocará específicamente: la Superintendencia de Gestión y Programación de Operaciones, dependiente de la Gerencia de Operaciones, encargada de analizar indicadores claves para la producción, incluyendo la asignación de equipos para la extracción del mineral.

La finalidad de este trabajo de título es analizar y proponer indicadores de consumo energético unitarios en la minería del cobre, que permitan identificar de manera clara los factores que influyen en el uso de combustibles. Estos indicadores servirán para medir la eficiencia energética alcanzada en el sector, a través de la comparación de los consumos unitarios de energía por procesos entre dos periodos distintos.

Se espera que la optimización en el uso de combustibles, derivada de este estudio, contribuya significativamente a la reducción de emisiones de CO₂, impactando positivamente en la calidad de vida de la comunidad local y en la preservación del entorno natural. Este enfoque no solo representa un avance en la sostenibilidad ambiental, sino que también señala un cambio en la mentalidad y prácticas operativas de una industria tradicionalmente intensiva en el uso de recursos no renovables.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Proponer medidas de optimización del consumo de combustible en los camiones de extracción

mineros KOMATSU 930 E-4 y Caterpillar 794 AC

1.4.2 Objetivos Específicos

- Elaborar un análisis de las variables que influyen en el consumo de combustible.
- Seleccionar alternativas de reducir el consumo.
- Elaborar un plan de implementación para las alternativas seleccionadas.

1.5 Metodología

Para comenzar con el desarrollo del proyecto, se hace necesario conocer cuál es la problemática de la empresa y analizar los objetivos estratégicos de ella.

1.5.1 Diagnóstico de la situación actual del área bajo estudio

Para el presente trabajo de título se seleccionaron los procesos de operación de camiones de extracción, marca Komatsu, modelo 930E, en sus tiempos de ciclos productivos improductivos.

1.5.2 Análisis de la información

A través de un trabajo de análisis de datos, se podrá determinar los tiempos improductivos que afectan la eficiencia en el uso de los equipos estudiados.

1.5.3 Examinar y Evaluar

Examinar y analizar los datos registrados, con la finalidad de ordenar los datos de acuerdo con su criticidad y pasos lógicos.

1.5.4 Idear una propuesta de implementación

Con los datos obtenidos se realizará un rediseño de las actividades para lograr la eficiencia esperada.

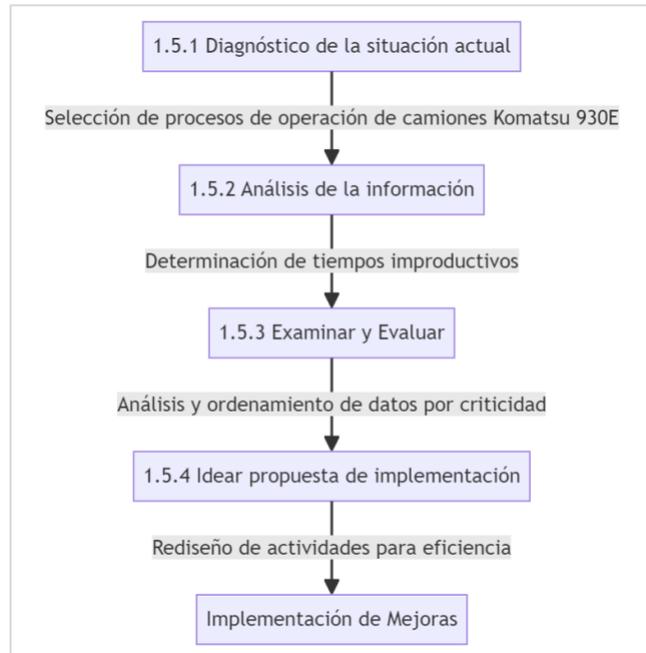


Ilustración 4 Pasos de metodología Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 Estudio de métodos

El Estudio de Métodos o Ingeniería de Métodos o técnicas del Estudio del Trabajo, que se basa en el registro y examen crítico sistemático de la metodología existente y proyectada utilizada para llevar a cabo un trabajo u operación. El objetivo fundamental del Estudio de Métodos es el aplicar métodos más sencillos y eficientes para de esta manera aumentar la productividad de cualquier sistema productivo.

A continuación, se detallan las etapas que deben desarrollar para elaborar un estudio de métodos:

Etapas:
Etapa 1: Selección del Trabajo

Identificar operaciones con claras causas y consecuencias, como cuellos de botella, actividades repetitivas, transporte de material a largas distancias y foco en productos más rentables o que requieren más tiempo de producción.

Consideraciones Técnicas y Humanas

Evaluar mejoras a través de cambios tecnológicos o de maquinaria, considerando el costo-beneficio.

Mejorar trabajos monótonos o de alto riesgo para aumentar la comodidad del personal.

Etapas:
Etapa 2: Registro por Observación Directa

Utilizar herramientas como cursogramas y diagramas para documentar métodos existentes.

Etapa 3: Examinar lo Registrado

Analizar críticamente los métodos actuales, separando actividades productivas de las no productivas mediante técnicas de interrogatorio.

Etapa 4: Idear el Método

Involucrar al personal en la creación de métodos más eficientes, respondiendo a preguntas clave sobre el qué, dónde, cuándo, quién y cómo.

Etapa 5: Evaluar el Método Propuesto

Comparar el nuevo método con el actual usando herramientas de la Etapa 2, para verificar mejoras.

Etapas 6: Definir e Implantar el Método Propuesto

Realizar socializaciones y formalizar cambios, documentando lo necesario para operar con el nuevo método.

Etapa 7: Controlar la Aplicación

Asegurar la adherencia al nuevo método, evitando la regresión a prácticas antiguas.

Post-aplicación del Estudio de Métodos.

Evaluar continuamente y ajustar el método, reiniciando el proceso si es necesario para encontrar alternativas más eficaces.

2.2 Diagrama de Ishikawa

El Diagrama de Ishikawa, también conocido como Diagrama de Causa y Efecto o Diagrama de Espina de Pescado, es una herramienta gráfica utilizada en la Gestión de la Calidad para identificar y visualizar las causas de un problema específico. Su estructura intuitiva permite desglosar un problema en causas principales y subcausas, facilitando el análisis y la toma de decisiones correctivas.

El diagrama se complementa efectivamente con el Diagrama de Pareto, que ayuda a priorizar acciones enfocándose en las causas que generan la mayoría de los problemas. Las causas en el Diagrama de Ishikawa se dividen en varias categorías, como:

- Personas: Aspectos relacionados con el personal y la mano de obra.
- Maquinaria: Infraestructura y herramientas utilizadas en la producción.
- Métodos: Procedimientos y formas de realizar actividades.
- Medición: Aspectos de inspección, calidad y error de medición.
- Materia Prima: Características y especificaciones de los materiales utilizados.
- Medio Ambiente: Condiciones y entorno de trabajo.

El diagrama puede desarrollarse utilizando diferentes métodos, como el flujo de proceso (analizando la secuencia del proceso) y la estratificación (dividiendo el problema en subcomponentes). Además, existe la posibilidad de adaptar el diagrama a situaciones específicas creando categorías propias de causas.

En el contexto del mercadeo, se utiliza una variante del diagrama conocida como las 8p's (Personas, Presentación, Proceso, Alianzas estratégicas, Producto, Precio, Plaza, Promoción) y en la industria de servicios se emplea la versión de las 4s's (Entorno, Habilidades, Sistemas, Proveedores).

El Diagrama de Ishikawa es una herramienta flexible y adaptable, crucial para analizar problemas y mejorar procesos en diversas áreas.

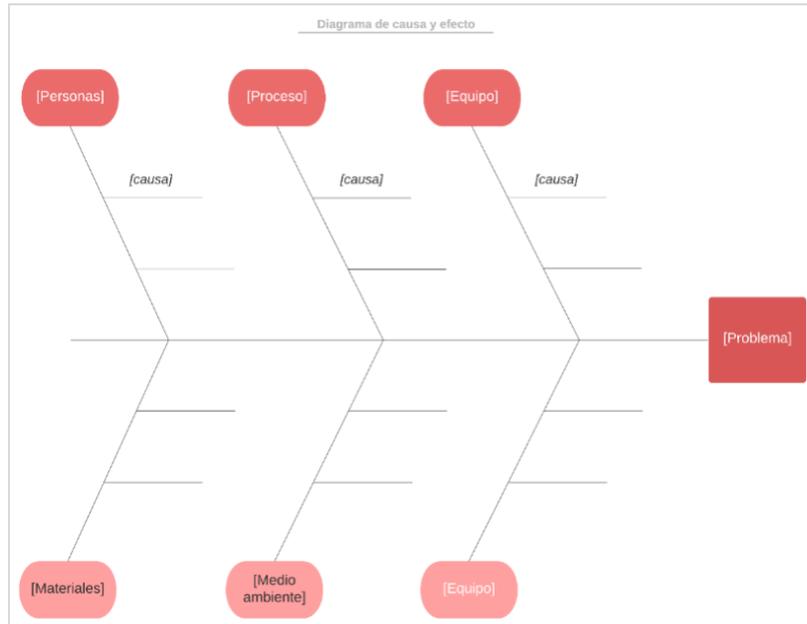


Ilustración 5 : Diagrama de Ishikawa Fuente: Elaboración propia

2.3 Indicadores

KPI, siglas en inglés, de Key Performance Indicator, cuyo significado en castellano vendría a ser Indicador Clave de Desempeño o Medidor de Desempeño, hace referencia a una serie de métricas que se utilizan para sintetizar la información sobre la eficacia y productividad de las acciones que se lleven a cabo en un negocio con el fin de poder tomar decisiones y determinar aquellas que han sido más efectivas a la hora de cumplir con los objetivos marcados en un proceso o proyecto concreto.

¿Qué es un indicador?

Hay muchas definiciones de indicador se analizará en este capítulo. Dato que refleja cuáles fueron las consecuencias de acciones tomadas en el pasado en el marco de una organización. Camejo, Joanna. Expresión cualitativa o cuantitativa observable, que permite describir características, comportamientos o fenómenos de la realidad a través de la evolución de una variable o el establecimiento de una relación entre variables, la que, comparada con períodos anteriores, productos similares o una meta o compromiso, permite evaluar el desempeño y su evolución en el tiempo. No está claro el autor de esta definición. Dato o información que sirve para conocer o valorar las características y la intensidad de un hecho o para determinar su evolución futura. Oxford dictionaries

Características de los indicadores

Existen diversos atributos o características que debe tener un indicador. Algunos de ellos son:

Oportunos, excluyentes, prácticos, claros, explícitos, sensibles y verificables. Medibles, entendibles y controlables. Simples, adecuados, útiles y oportunos.

Con base en estos atributos, mencionemos lo siguiente:

Simples: Busquemos que sea comprensivo desde el nombre del indicador hasta su fórmula de cálculo y los recursos que se requieren en la medición.

Objetivos y neutros: Midamos lo que de verdad importa medir, y que describa el fenómeno. Busquemos además que sea independiente de otro, es decir, que no esté correlacionado con otro indicador.

Sistemáticos (periodicidad de análisis): Que sea posible recolectar la información a tiempo para que, una vez analicemos la información, tengamos tiempo para tomar decisiones.

Más adelante en el post encontrarás una serie de criterios para que expongas tus indicadores planteados a fin de elegir los más adecuados.

Beneficios de los indicadores

Todos los beneficios que podemos encontrar o los que alguien te puede decir son el efecto de un solo beneficio:

Para tomar decisiones

Recordemos esa frase que menciona: Lo que no se mide no se controla. Si no se controla no se dirige. Si no se dirige no se puede mejorar. ¿La has escuchado?

Así pues, entre los beneficios tenemos que los indicadores de gestión son los que nos permiten medir un proceso, evento o fenómeno para controlarlo. El resultado de este control son datos e información que utilizamos como insumo de entrada para plantear y ejecutar acciones que conduzcan a la mejora. Como ves, todo se deriva de la toma de decisiones.

Y con esto quiero apuntar otra frase muy importante para tu trabajo:

Los indicadores son el medio, no el fin.

Tipos de indicadores

Tipologías de indicadores hay varias y surgen de las distintas metodologías.

Clasificación de indicadores por medición.

- **Indicadores cuantitativos:** Son una representación numérica de un proceso, evento o fenómeno que se analiza. Dicho de otra forma, son una medida de cantidad. Dan respuesta a preguntas de cuánto, cada cuánto, y con qué frecuencia.
- **Indicadores cualitativos:** Contrario a los cuantitativos, estos no muestran una medida numérica como tal. Con ellos se consigue demostrar, describir o medir algo que ha sucedido. Por lo general están basados en encuestas, entrevistas, percepciones orientadas a responder preguntas de cuándo, quién, dónde, qué, cómo y por qué.

Clases de indicadores por nivel de intervención

- **Indicadores de impacto:** Se enfocan en medir el cambio o comportamiento generado «después de» y se enfoca a largo plazo. Por ejemplo, disminución de la delincuencia en el país.
- **Indicadores de resultado:** Mide las salidas de proceso determinando si el objetivo se alcanzó o no. Por ejemplo, la percepción del servicio al cliente.

Indicador de proceso: Muestra cómo se están haciendo las actividades. Por ejemplo, el número de capacitaciones realizadas.

Indicadores de insumo: Se enfoca en medir los recursos disponibles y su utilización. Por ejemplo, el gasto en recursos administrativos.

Tipos de indicadores por nivel jerárquico

Indicadores de gestión: Miden la relación entre los insumos y los procesos, lo que permite analizar el comportamiento y desempeño con una vista de procesos. Son cuantitativos y constituyen el primer eslabón en la cadena de intervención (ya te contaré con una imagen a qué me refiero con cadena de intervención).

Indicadores estratégicos: Constituyen la evaluación de productos, efectos o impactos, haciendo que su enfoque esté en el siguiente eslabón de la cadena de intervención.

Por ejemplo, imagina una empresa con múltiples sucursales en el mundo y una entidad pública presente en todo el país. La interrelación entre indicadores tomaría este aspecto:

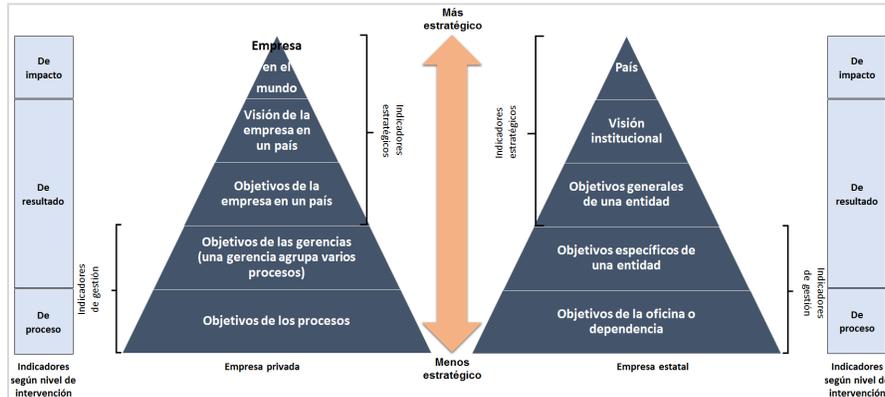


Ilustración 6 Tablero de Indicadores Fuente: <https://www.ingenioempresa.com/>

Indicadores de eficacia, eficiencia y efectividad

Es la clasificación más común derivada de los indicadores de gestión.

- De eficacia: Miden la relación entre los objetivos a alcanzar y lo conseguido realmente. Dicho de otra forma, este indicador mide lo que entregamos contra lo que se espera que logremos. Por ejemplo, las ventas proyectadas versus las ventas conseguidas.
 - De eficiencia: Miden el rendimiento de recursos e insumos para conseguir los objetivos. Dicho de otra forma, examinan el aprovechamiento de los recursos para lograr lo propuesto. Por ejemplo, el número de artículos fabricados por hora.
- Algunas fuentes en internet asocian al indicador de eficiencia el concepto de productividad.

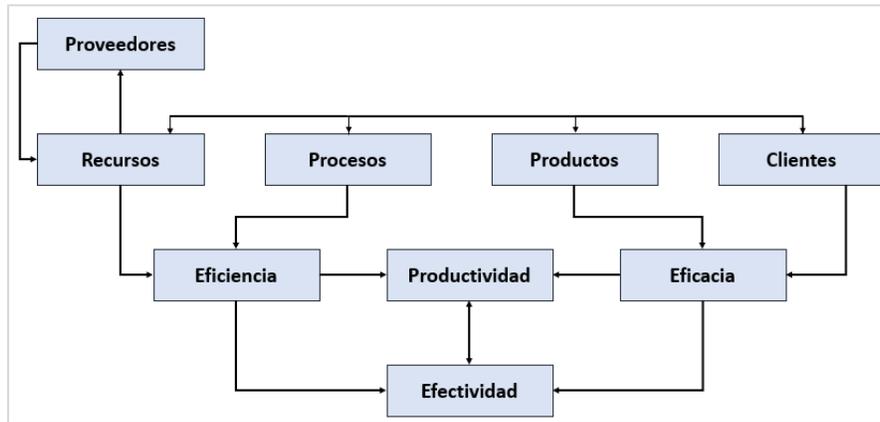


Ilustración 7 Tablero de Indicadores Fuente: <https://www.ingenioempresa.com/>

Paradigmas en el diseño y medición de indicadores

Se encuentran con algunas creencias en torno al mundo de indicadores. Se reúnen las más sonadas y son estas:

- No nos gusta sentir que alguien nos está midiendo: Es importante enfatizar en que medimos para mejorar y no para irnos en contra de alguien.
- La medición conlleva a castigos o sanciones: Igual que la anterior. Se mide para mejorar, no para castigar.
- No hay tiempo para medir: Tiene que haber tiempo. Si no medimos, como vamos a saber cómo vamos.
- Medir es complicado, es difícil: depende de la situaciones o metas que nos planteamos.
- Planear: Diseño de indicadores: Esos indicadores tienen que estar alineados a algo o hechos con base en un elemento. Si hay un indicador que no le pega a nada, entonces ¿para qué lo construyes?, ¿para qué lo calculas?, ¿en qué te aporta? La respuesta seguramente es nada. Siendo el contexto empresarial nuestro escenario, asegúrate que el indicador que diseñas esté dirigido al logro de un objetivo o política, directriz o lineamiento.
- Hacer: Aplicar mediciones: Aquí es donde pones a rodar el indicador. Los datos que estés tomando para alimentar la fórmula del indicador deben ser confiables y reales.
- Verificar: Analizamos los datos: Piensa en para qué calculas un indicador. No tiene sentido que diseñes indicadores, tomes los datos y al obtener resultados, no hagas nada luego. Aquí es donde realmente toma valor el uso de un indicador y es cuando tomas decisiones. No sirve por ejemplo ver que los datos arrojados evidencian un decrecimiento en ventas y ante eso no hacer nada.

- **Actuar: Tomar acciones:** Ejecutamos las decisiones previstas en el paso anterior. Por ejemplo, si viste que estabas bien, exígete un poco más, mira cómo lo puedes hacer mejor. Pero si ves que las cosas no están bien, haz algo que te permita corregir el camino.

Cómo construir un indicador

Construir o diseñar un indicador hace parte de la fase de «planear».

Paso 1: Qué estás haciendo

Antes de medir es necesario seas consciente de las actividades que estás desarrollando. Mucho mejor si las tienes caracterizadas con el detalle de entradas y salidas. Por ejemplo, en una empresa esa tendría un esquema como este:

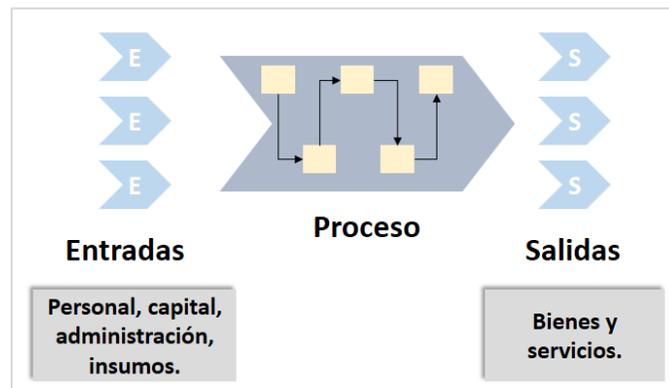


Ilustración 8 Diagrama de proceso de bienes y servicios Fuente: <https://www.ingenioempresa.com/>

Por supuesto en el ámbito de proyectos o en el sector público el esquema puede ser diferente. Por ejemplo, supongamos que el objeto de estudio el sector académico y nos enfocamos en la problemática de la deserción escolar. Un aspecto para medir sería las causas de deserción escolar.

En este análisis será útil que determines los recursos que conllevan hacer las actividades. Esto te permitirá medir aquellos aspectos que son importantes.

Paso 2: Definición de variables y fórmula de cálculo

Define las variables que van a componer tu indicador, la relación que tendrán entre sí y con ello la forma de cálculo. Dicha relación estará dada por el tipo de información que desees obtener. Así pues, un indicador puede ser:

Absoluto: Un número que dimensiona un evento o fenómeno según su naturaleza.

Razón: Es el cociente entre dos cantidades que no tienen elementos comunes o cuentan con un atributo de diferencia. Dicho de otra forma, toma las unidades que cuentan con un atributo (numerador) frente a aquellas que no lo tienen (denominador).

Tasa: Es el cociente entre dos variables analizadas en un lugar y tiempo específico.

Proporción: Es la relación entre una cantidad con elementos en común (numerador – subconjunto) y el total de unidades (con o sin elementos en común). Dicho de otra forma, es una relación donde el numerador está incluido en el denominador.

Variación: Fija dos elementos para establecer qué variación existe entre uno y otro.

Por ejemplo:

| ABSOLUTO | RAZÓN | TASA | PROPORCIÓN | VARIACIÓN |
|---------------------|---------------------------------|--|--|--|
| Temperatura de 27°C | Hay 4 camas por cada 6 personas | La tasa de mortalidad es de 0.2 por cada 1.000 habitantes en un año. | 50% de los graduados en 2009, están trabajando | Las ventas aumentaron 20% con respecto al año anterior |

Ilustración 9 Ejemplos de variables Fuente: <https://www.ingenioempresa.com/>

Paso 3: Elección del indicador

Seguramente tendrás una serie de indicadores ya planteados.

El DANE es un organismo estadístico colombiano. El siguiente cuadro proviene de una guía de indicadores creada por el DANE y considero que es apropiado para nuestra guía.

| Criterio de selección | Verificación |
|------------------------------|---|
| Pertinencia | ¿El indicador expresa qué se quiere medir de forma clara y precisa? |
| Funcionalidad | ¿El indicador es monitoreable? |
| Disponibilidad | ¿La información del indicador está disponible? |
| Confiabilidad | ¿De dónde provienen los datos? |
| Utilidad | ¿El indicador es relevante con lo que se quiere medir? |

Ilustración 10 : Criterios de selección Fuente: <https://www.ingenioempresa.com/>

Evaluamos entonces cada indicador con base en los criterios. En caso de que nos quedemos sin suficientes indicadores (que es normal si te pasa) nuevamente ejecutamos el paso 1 y 2.

Paso 4: Definiendo las metas de un indicador

Realiza las siguientes consideraciones para la definición de las metas de un indicador de gestión. No todos aplican, pues esto dependerá de la empresa, proyecto, actividad y sector.

- Valor de actualidad o histórico: Miremos atrás en el tiempo para definir meta. Es común escuchar empresas que definen sus metas con base en los resultados del año anterior. Por ejemplo «aumento del 20% de las acciones de mejora con respecto al año anterior». Si no contamos con datos, podemos hacer mediciones a través del tiempo para tener

- Un punto de partida, por ejemplo 6 meses de medición para definir meta a partir del séptimo mes. No obstante, este valor no menciona el potencial, pero para eso está otro valor.
- Valor de potencialidad o estándar: Considerando una gestión eficiente de recursos, ¿cuál podría ser el mejor escenario? Aquí obtenemos otro valor orientado a una situación posible con los recursos disponibles utilizados de la mejor manera.
- Valor de competencia: No tiene sentido plantearse una meta si sabes que la competencia la supera por mucho. Pregúntate entonces, ¿cuánto obtiene el mejor?, ¿cuánto obtiene el promedio?
- Valor de usuario/cliente: ¿Qué espera el usuario o cliente que tu logres?, ¿te vas a plantear una meta inferior a la exigida por ellos?
- Valor teórico: Más orientado a maquinaria y equipo. Suele estar expresado por el fabricante.
- Por ejemplo, si el valor de actualidad es de 30% y el valor de potencialidad es de 50%, por consenso podría decidirse una meta el 40%.

Paso 5: Fuente de información y frecuencia de recolección

¿De dónde proviene la información de los indicadores? ¿Cada cuánto se toma? ¿Cómo la vas a recolectar?

Por ejemplo:

- La información proviene de informes estatales y la obtienes a través del sitio web de presidencia.
- La información se obtiene del grupo de personas evaluadas y se obtiene a través de encuestas y su análisis.
- La información proviene de las bases de datos del cliente y se obtiene por envío de correo electrónico mensual.

Define además cada cuánto se va a recolectar la información: ¿Cada hora, día, semana o mes?

Paso 6: Responsables del indicador

Define las distintas responsabilidades asociadas al indicador.

- Quién trabaja para que se genere la información
- Quién recolecta la información
- Quién analiza la información
- Quién reporta o presenta la información del indicador

Paso 7: A quién está dirigida la información del indicador

Con base en el destinatario, puede ser posible que se modifique la frecuencia de cálculo del indicador o una presentación específica.

Paso 8: Frecuencia de calculo

¿Cada cuánto se calcula el indicador? Esto dependerá del destinatario y de lo que se está midiendo. Por ejemplo, si son las ventas de una tienda, será pertinente hacer cálculos semanales o diarios. Si es un proyecto de gobierno como la disminución de la pobreza en cierta ciudad de cierto país, será más pertinente hacer cálculos semestrales.

No confundamos frecuencia de cálculo con frecuencia de recolección de información. Por ejemplo, para evidenciar el trabajo de un proveedor puede ser conveniente calcular el indicador semestralmente. No obstante, ¿vamos a recolectar la información del trabajo de ese proveedor cuando pasen 6 meses de su labor? No lo creo. Será más conveniente que tengamos una hoja de control de proveedor donde anotemos su gestión semanal.

Paso 9: Ficha de indicadores

Aquí especificamos los elementos que componen cada indicador. Es útil porque resume todas las consideraciones tenidas en la planificación de los indicadores.

Considera entonces si crees conveniente incluir los siguientes aspectos en tu ficha de indicadores.

- Nombre del indicador: Debe ser concreto y preciso.
- Sigla: Es una expresión abreviada que facilita el reconocimiento del indicador y sus atributos en pocos caracteres.
- Objetivo: El fin o propósito por el cual se mide.
- Conceptos: Todo concepto usado para el cálculo del indicador y que requiere ser explicado.
- Formula de indicador: Expresión matemática con la que se hace el cálculo del indicador.
- Fuente de datos: De dónde provienen los datos
- Unidad de medida: El resultado de la medición debe tener una unidad. Por ejemplo, KG, porcentaje, días, metros cúbicos, etc.
- Responsable de recolección de datos.
- Frecuencia de la toma de datos: Cada cuánto se toman los datos. Por ejemplo, cada 8 días, cada mes, trimestral, etc.
- Sentido: ¿Hay más cumplimiento entre mayor sea el resultado con respecto a la meta o cuando es menor? En otras palabras, define si tu indicador es creciente o decreciente.
- Valores utilizados para la definición de la meta.
- Meta.
- Responsable de cálculo.
- Frecuencia de cálculo: Cada cuanto calculas el indicador.
- Frecuencia de análisis: Cada cuánto se analiza el indicador para tomar decisiones.
- Observaciones: Reflexiones y recomendaciones pertinentes.

Tomando los datos y calculando el indicador

Con toda la planeación realizada hecha en el punto anterior, no queda más que tomar los datos y calcular el indicador. Esto dentro del ciclo PHVA hace parte de la etapa de «hacer». No me voy a extender mucho en esta etapa, siendo que esta es la ejecución todo lo que has planificado. Sin embargo, hay algunos apuntes importantes para mencionarte:

- Socializar las responsabilidades (recolectar datos, calcular indicadores, interpretar indicador)
- Entrena y educa al personal en su responsabilidad.
- Recolecta la información periódicamente, según lo definido en la ficha de indicadores. Por ejemplo, no recolectes los indicadores de dos semanas, y a continuación lo vuelves hacer una semana después. Esto podría alterar los datos afectando la pertinencia del cálculo.

Análisis e interpretación de indicadores

Continuando con el ciclo PHVA, este es la fase «V», donde verificamos los indicadores. Lo primero: El análisis estará sujeto a la forma de cálculo (recuerdas, el paso 2 de la planeación – construyendo indicador).

Es decir que no debemos interpretar de la misma forma el resultado de un indicador de proporción que uno de razón. Por ejemplo:

- Proporción: El 55% de las ganancias generadas por la empresa en este año pertenecen al servicio de telefonía.
- Razón: Las ventas generadas por el servicio de telefonía en este año han caído 35% con respecto al año anterior.

Así pues, notarás que es importante interpretar los indicadores en conjunto y no de manera aislada.

Lo segundo: ¿Cuál es la tendencia del indicador?, ¿cuál debería ser su tendencia?

Un indicador puede presentar tendencia a la maximización, minimización o mantenerse en rangos o límites de seguridad.

- Tendencia a la maximización: Debe crecer a través del tiempo. Por ejemplo, uno de los indicadores que manejo con Ingenio Empresa son los suscriptores, donde evalúo que la cantidad de suscriptores aumente a través del tiempo. Para este año me he propuesto aumentar en 50 suscriptores mensuales.
- Tendencia a la minimización: Disminuir a través del tiempo. Por ejemplo, una empresa en busca de la mejora continua puede plantearse un indicador decreciente como son las quejas y reclamos, que deberán ser cada vez menos.
- Con límites de seguridad: Debe mantenerse dentro de unos límites. Por ejemplo, la temperatura de la maquinaria no debería pasar de 75° C mientras esté funcionando.

Así pues, la verificación de un indicador se hace revisando su tendencia de cara al planteamiento de acciones correctivas o de mejora, para que, en el primer de los casos, eliminar las causas de la tendencia no deseada del indicador, y en el segundo, anticiparse a un evento no deseado o mejorar un comportamiento destacado.

Lo tercero: ¿Cuál ha sido la variación del numerador y el denominador?

En otras ocasiones será pertinente evaluar la evolución del numerador y denominador de un período a otro.

Por último: El análisis y la interpretación de cada indicador depende de su tipología y la actividad que se realiza. Por ejemplo, la interpretación del EBITDA es diferente a la de un indicador de gestión por ser el primero de tipo de financiero.

Tomar decisiones con la información

Un indicador es información y esa información debe aportar valor.

En el ciclo PHVA, sigue la etapa de actuar. Calculados los indicadores, es el momento de tomar decisiones según el resultado. Estas decisiones están encaminadas a corregir la desviación que exista entre lo planeado y el resultado de lo ejecutado. Pueden contener los siguientes aspectos:

- Qué se quiere hacer
- Por qué se va a hacer
- Quién o quiénes lo van a hacer
- Cómo lo van a hacer
- Cuando lo van a hacer
- Dónde lo van a hacer
- Como ves, no es más que un 5w+2h y aquí lo que estamos haciendo es una nueva planificación.

¿Qué sigue? La ejecución. Es el comienzo de un nuevo ciclo PHVA.

Ejemplos de indicadores por proceso con sus formulas

Si bien cada empresa define y establece los indicadores de sus procesos de acuerdo con las actividades que se desarrollan al interior, también es cierto que existen ciertos indicadores comunes o de conocimiento general que podemos agrupar por procesos

2.4 Tiempos de Ciclos

Según Lineberry (1985) este concepto se define como el tiempo que le toma a cualquier equipo el completar un ciclo de operación. Para un camión este tiempo incluye los tiempos de acuatamiento y carga en el equipo de carguío, el viaje cargado al sitio de descarga, el acuatamiento y descarga en el botadero y el retorno vacío al equipo de carguío. Además, se incluyen demoras programadas y no programadas y tiempos de espera.

En Ecuación 3.1 se muestran los componentes típicos de un ciclo de carguío en una mina a cielo abierto.

$$TC = TAC + TC + TVC + TAD + TD + TVV + D$$

Ecuación 1 Tiempo de ciclos Fuente: Elaboración propia

TC: Tiempo de ciclo unidad de transporte, [min]

TAC: Tiempo de acuatamiento en la unidad de carguío, [min]

TC: Tiempo de carguío, [min]

TVC: Tiempo de viaje cargado, [min]

TAD: Tiempo de acuatamiento en lugar de descarga, [min]

TD: Tiempo de descarga, [min]

TVV: Tiempo de viaje vacío, [min]

D: Demoras, [min]

En la industria, la manera más común de estimar el tiempo de ciclo de los camiones es mediante la velocidad de éstos que se obtiene por medio de guías de desempeño que otorga el fabricante (Smith, Wood & Gould 2000, [2]). Estas guías son resultado de simulaciones que consideran la potencia del motor, la eficiencia en la transmisión de la energía, el peso del camión, la capacidad, velocidad rimpull y pendientes y condiciones del camino (Blackwell 1999, [2]). También pueden utilizarse modelos de regresión para determinar estimados de los tiempos de ciclo de los camiones (Çelebi 1998, [2]).

2.5 Norma ASARCO

La Norma ASARCO (American Smelting & Refining Co.) es el marco de referencia utilizado para la definición de conceptos y distribución de los tiempos en que el equipo, máquina o instalación incurren durante la operación. Con los adecuados ajustes a la realidad operacional de la mina, pondera una serie de variables y proporciona indicadores del comportamiento y rendimiento de los equipos empleados en la extracción, beneficio e industrialización de los minerales.

La descripción gráfica de los tiempos acorde a esta norma se presenta en Tabla 2

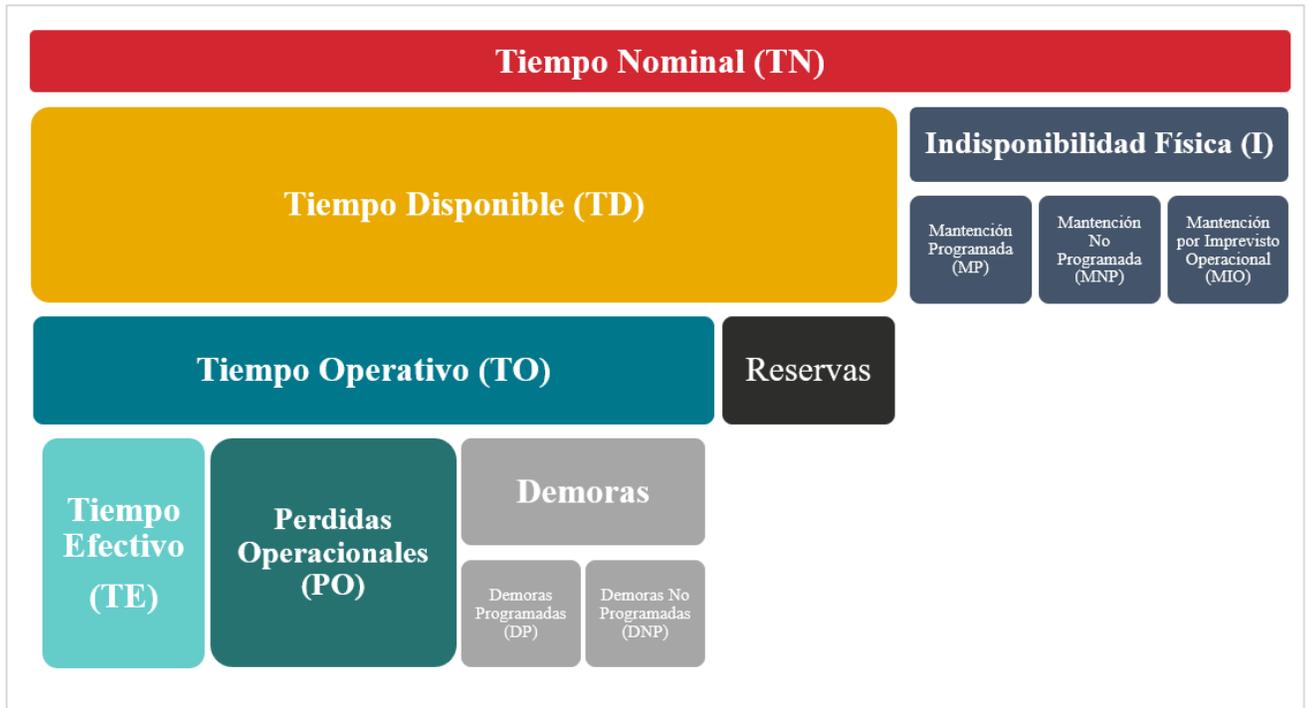


Ilustración 11: Norma Asarco Fuente: Elaboración propia

Como es habitual en la industria minera, cada compañía define su propia nomenclatura de medición de los tiempos de operación basado en la Norma ASARCO. En Tabla 4 se muestra la diferenciación de tiempos para el Antucoya. Un detalle de la distribución de tiempos por equipo se presenta en Anexo 1.

Definición de Tiempos para Norma ASARCO

A continuación, se presenta la definición de tiempos para ASARCO.

| Categoría | Descripción |
|----------------------------------|---|
| Tiempo Nominal | Tiempo teórico total de operación del equipo, considerando su capacidad máxima y sin interrupciones. |
| Tiempo de Indisponibilidad | Tiempo en que el equipo no está disponible para operar debido a mantenimiento o fallas. Incluye subcategorías como Mantenimiento Programado y Mantenimiento Correctivo. |
| Tiempo Disponible | Tiempo total durante el cual el equipo está disponible para operar, sin considerar las interrupciones o mantenimientos. |
| Tiempo Operativo | Tiempo en el que el equipo está en funcionamiento real, excluyendo las demoras y los períodos de inactividad. |
| Tiempo de Reservas | Tiempo reservado para contingencias o eventualidades que puedan surgir durante la operación. |
| Tiempo de Demoras | Tiempo en el que las operaciones están detenidas debido a factores externos o internos no relacionados con el mantenimiento. |
| Tiempo de Pérdidas Operacionales | Tiempo perdido debido a ineficiencias operativas o problemas técnicos en el equipo. |
| Tiempo Efectivo | Tiempo de operación efectiva del equipo, descontando las interrupciones menores y las pérdidas de eficiencia. |

Tabla 3 Estructura de la norma de tiempos de AMSA. Fuente: Elaboración propia

2.6 Principio de Pareto

El Principio de Pareto, comúnmente conocido como la regla del 80-20, es una herramienta analítica clave utilizada en diversos campos, incluyendo la minería del cobre. Este principio sugiere que, en muchas situaciones, aproximadamente el 80% de los efectos provienen del 20% de las causas. En el contexto de la minería del cobre, este enfoque se utiliza para identificar y priorizar problemas y averías, con el fin de optimizar los procesos y aumentar la eficiencia.

La implementación del Principio de Pareto en la minería del cobre implica varias etapas, estructuradas en torno al Diagrama de Pareto. Este diagrama es una herramienta visual que ayuda a clasificar y priorizar los problemas. Los pasos para elaborar un Diagrama de Pareto son los siguientes:

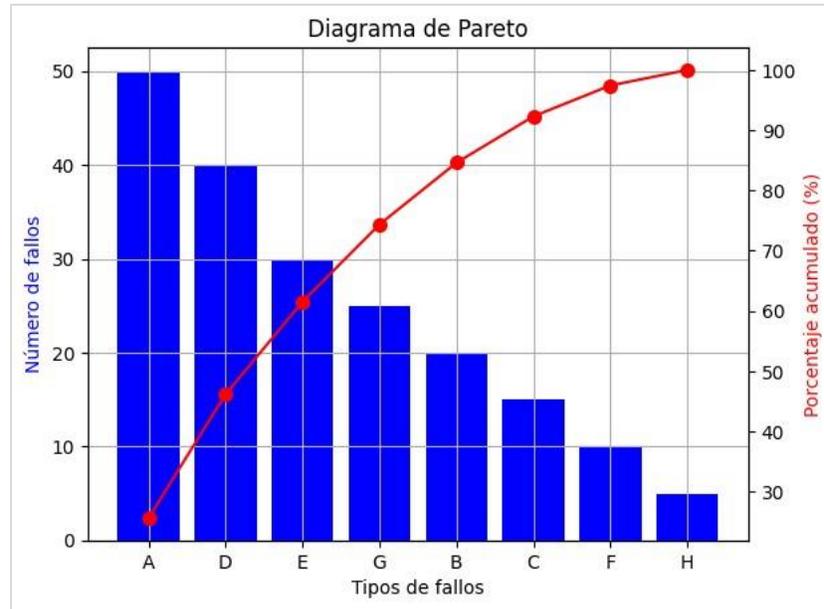


Gráfico 1 : Diagrama de Pareto, ejemplo de Fuente: Elaboración propia

1. **Definición del Problema:** Se selecciona un problema específico para el análisis. Esto puede involucrar el estudio de una máquina específica, una línea de producción o un sistema dentro del proceso de minería. Se determinan los datos necesarios y cómo se clasificarán para preparar la estratificación.
2. **Recolección de Datos:** Se prepara una hoja para la recopilación de datos. Si la empresa tiene un software para la gestión de datos, se planifica cómo buscar y clasificar la información relevante.
3. **Clasificación de la Información:** Los datos recopilados se clasifican según su magnitud. Se recomienda utilizar un sistema de clasificación, como letras (A, B, C, ...), para identificar los problemas.
4. **Creación del Diagrama:** Se dibujan dos ejes verticales (izquierdo y derecho) y uno horizontal. El eje vertical izquierdo representa la escala desde 0 hasta el total acumulado, mientras que el eje derecho muestra una escala del 0 al 100%. El eje horizontal se divide según el número de categorías de problemas identificados.
5. **Construcción del Diagrama de Barras:** Se representa cada categoría de problema con una barra en el gráfico.

6. **Curva Acumulada:** Se marcan los porcentajes acumulados y se unen con líneas rectas, formando la curva acumulada o curva de Lorentz.

7. **Anotaciones e Información Adicional:** Se añaden detalles como el título del diagrama, las unidades, el autor, el período de tiempo cubierto y el total de datos recopilados.

En la minería del cobre, el uso del Diagrama de Pareto permite identificar las causas principales de los problemas, clasificándolas en causas "vitales" y "triviales". Las causas vitales son aquellas pocas que generan la mayor parte de los problemas y, por lo tanto, son prioritarias para la intervención. Una vez que se abordan estas causas, las causas triviales pueden convertirse en vitales y requerir atención.

El enfoque de Pareto en la minería del cobre fomenta una colaboración activa entre todos los implicados, centrándose en las variables con mayor impacto y estableciendo metas claras de mejora. Este método no solo aumenta la eficiencia operativa, sino que también proporciona una base de conocimiento común para el equipo técnico, facilitando la identificación rápida de las áreas que requieren atención prioritaria.

2.7 Teoría del Factor de Acoplamiento (Match Factor)

La teoría concerniente a la dinámica operativa entre palas y camiones postula que el indicador clave reside en la relación sinérgica de productividad entre el equipo de carguío y las unidades de transporte. Según Rodríguez (2013), este indicador es esencial para evaluar la eficiencia del sistema. Douglas, ya en 1964, introdujo un método para calcular el número óptimo de camiones requeridos, fundamentado en la utilización de esta métrica de interdependencia productiva entre un cargador individual y la flota de camiones completa (Douglas, 1964, [20]).

La productividad de una pala, o unidad de carguío, se conceptualiza como proporcional a su capacidad de carga y, de manera inversa, proporcional al tiempo de ciclo. El tiempo de ciclo de un vehículo de transporte se define como la acumulación del tiempo promedio invertido en tránsito, en las operaciones de carga y descarga, y no incluye los periodos de inactividad ocasionados por congestión vehicular.

Extendiendo esta conceptualización, Morgan y Peterson (1968, [20]) acuñaron el término "Factor de Acoplamiento", o "Match Factor" en inglés, para denominar este indicador (véase Ecuación 2.1 y Gráfico 2.1). Este factor se ha convertido en una herramienta analítica estándar para la optimización de la logística en operaciones mineras.

$$MF = \frac{\text{Cantidad Transporte}}{\text{Cantidad Carguío}} * \frac{\text{Tiempo de Ciclos Carguío}}{\text{Tiempos de Ciclos Transporte}}$$

Ecuación 2 Factor de acoplamiento Fuente: Elaboración propia

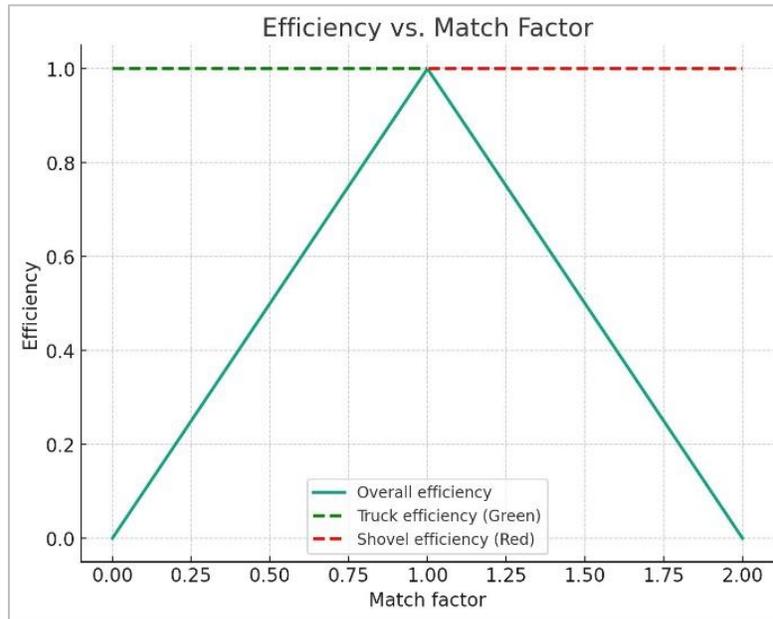


Gráfico 2 Factor de acoplamiento Fuente: Elaboración propia.

El gráfico previamente presentado ilustra el concepto de 'calce' o acoplamiento entre la productividad de la flota de cargadores y la flota de transporte dentro de un sistema minero específico. Este fenómeno se mide a través del Factor de Acoplamiento (MF por sus siglas en inglés), el cual puede manifestarse en tres escenarios distintos:

MF < 1: Indica un exceso de capacidad de carguío respecto a la flota de transporte. Esto resulta en la utilización plena de los vehículos de transporte, pero conduce a la subutilización de los cargadores. Tal situación sugiere que los cargadores operan por debajo de su capacidad nominal.

MF > 1: Señala un exceso de capacidad de transporte en comparación con la capacidad de carguío. En este caso, se maximiza el uso de los cargadores mientras que los vehículos de transporte no alcanzan su capacidad de productividad potencial. Esto puede interpretarse como una señal de que la flota de transporte es insuficiente para lograr la productividad deseada.

MF = 1: Representa un equilibrio ideal, donde la productividad de los cargadores y los vehículos de transporte está perfectamente sincronizada.

Este indicador no solo refleja la eficiencia productiva de los equipos, sino que también proporciona una representación gráfica del tamaño relativo de una flota con respecto a la otra. Sin embargo, es importante tener en cuenta las limitaciones del modelo. Estas incluyen la presunción de homogeneidad en las flotas de camiones y palas, la

consideración de tiempos de espera promedio y la exclusión de los tiempos de inactividad causados por congestión.

En el ámbito de la selección de equipos, el Factor de Acoplamiento ha sido un parámetro clave para establecer la cantidad óptima de vehículos de transporte en una flota. Estudios realizados por Smith, Osborne y Forde (1995), Cetin (2004), y Kuo (2004), entre otros, han aplicado este indicador en la práctica. No obstante, debe subrayarse que el MF no proporciona una estimación infalible, ya que no tiene en cuenta las variables de congestión vehicular. Además, en la definición del tamaño de la flota de transporte, la formulación se simplifica al presuponer la operación de un solo cargador, lo que puede no reflejar la complejidad de operaciones múltiples (Morgan 1994, Smith et al. 1995, Nunnally 2000).

2.8 Teoría de Colas

La teoría de colas es el estudio matemático de los tiempos de espera medio en las colas o la capacidad de trabajo del sistema sin que colapse. Esta teoría nace desde la rama de la ingeniería de Investigación de Operaciones y es un complemento sustancial en la Teoría de Sistemas y la Teoría de Control. Por tanto, es una teoría que ve cabida en las áreas de negocios, industria, ingeniería, transporte, logística y comunicaciones.

En el caso de la ingeniería, permite modelar sistemas en los que varios clientes que demandan cierto servicio confluyen al mismo servidor, y, por tanto, pueden generarse esperas desde que un agente llega al sistema y el servidor atiende sus demandas.

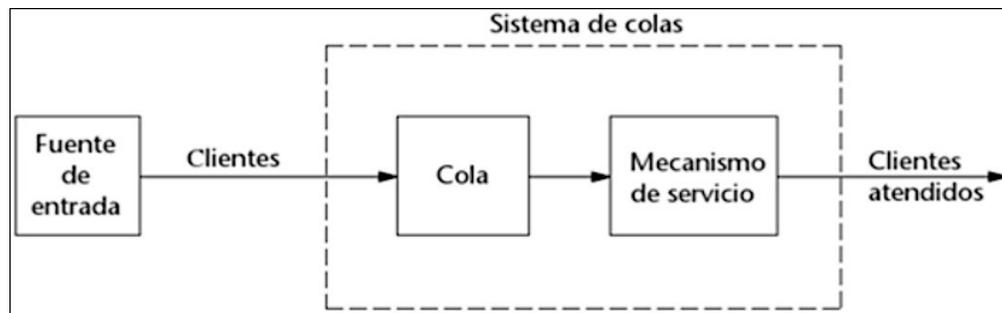


Ilustración 12 Diagrama de ciclo de teoría de colas Fuente: Elaboración propia.

En minería, la teoría de colas se ha guiado hacia el estudio de los tiempos de espera para camiones y equipos de carguío, con foco en la productividad que se puede generar. Según Carmichael (2006) el sistema pala – camión puede esquematizarse como muestra Figura 2.7. Los camiones hacen fila para ser cargados por la pala, luego viajan cargados a través de una ruta, descargan (en botadero o chancado) y regresan vacíos al punto de carguío para completar un ciclo. La fila se forma cuando el camión llega al sitio de carguío y encuentra a la pala ocupada cargando otro camión. Esto es resultado de un comportamiento

probabilístico del total de la operación. Dado esto, la teoría de colas puede ser una herramienta analítica útil, junto con la simulación, para representar el comportamiento de la operación.

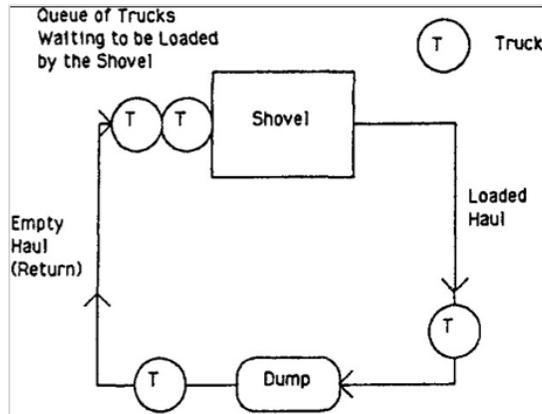


Ilustración 13 Diagrama de ciclo de operación Fuente: Elaboración propia

Las bases de esta teoría se remontan a comienzos del siglo XX, pero no es hasta 1958 que Koenigsberg publica la primera investigación aplicada a la industria minera, en particular para minería subterránea del carbón.

2.9 Teoría de Agrupación

Los estudios realizados por Burt et al. (2005) han sido fundamentales en el entendimiento de cómo los objetos tienden naturalmente a agruparse cuando se mueven en secuencia. Esta tendencia puede ser explicada por la variabilidad en la eficiencia operativa de los objetos o por la existencia de pequeños retrasos aleatorios. En este contexto, Nagatani (2001, [3]) llevó a cabo un estudio significativo, enfocándose en modelar esta propensión a la agrupación en escenarios de flujo de tráfico y transporte público.

La aplicación de estos modelos en la minería, en particular en la gestión de flotas de camiones, es especialmente relevante. Por ejemplo, si un camión tiene tiempos de ciclo más largos que otro debido a retrasos en el sistema, esto puede causar tiempos de espera adicionales para el resto de la flota. En este caso, un camión más lento se convierte en un cuello de botella, forzando a los otros vehículos a ajustar sus tiempos de ciclo y, por ende, afectando la eficiencia general de las operaciones.

Este análisis resalta la importancia crítica de la sincronización y coordinación en las operaciones mineras. Subraya cómo los retrasos individuales de un solo camión pueden tener un efecto acumulativo en la productividad de toda la flota, reafirmando la necesidad de considerar la dinámica de grupo en la planificación y gestión de recursos.

CAPÍTULO III: DESARROLLO

3.1 Diagnóstico de la Situación Actual

Actualmente, la Superintendencia de Planificación y Desarrollo tiene la responsabilidad de elaborar los planes estratégicos de producción en la mina. Su objetivo principal es maximizar la rentabilidad del negocio en diversos marcos temporales, incluyendo el mensual, semanal y diario. Este enfoque estratégico es crucial para asegurar que las operaciones mineras no solo sean eficientes, sino también económicamente viables, adaptándose continuamente a las demandas y cambios del mercado.

3.1.1 Operación Mina e infraestructura

Antucoya es una operación a rajo abierto. Mediante este método de explotación, logra diariamente extraer más de 78.000 toneladas de materiales ex-Pit desde ambas fases 4, 5 y 6, se extraen a grandes rasgos dos tipos de materiales: minerales de óxido y sulfatos, y estéril o lastre; los cuales son extraídos de la siguiente manera:

- **Mineral de Óxido:** El mineral de óxido es un término general que se refiere a minerales ricos en óxidos metálicos. Estos óxidos se forman cuando los minerales que contienen metales se exponen al oxígeno y al agua, lo que resulta en una reacción química donde los metales se combinan con el oxígeno. Son importantes en la minería y la extracción de metales, especialmente en la producción de cobre, entre otros.

Los minerales de óxido de cobre suelen encontrarse en las capas superiores de las zonas de mineralización y son producto de la alteración de los minerales de sulfuro de cobre. Ejemplos de minerales de óxido de cobre incluyen la malaquita ($\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$), la cuprita (Cu_2O) y la crisocola ($\text{CuSiO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$).

- **Los minerales de óxido:** tienen características particulares que los diferencian de otros tipos de minerales:

- **Facilidad de extracción:** Los óxidos son generalmente más fáciles de procesar que los sulfuros, ya que no requieren de procesos tan complejos o costosos como la flotación.

- **Lixiviación:** Los minerales de óxido son comúnmente extraídos mediante técnicas de lixiviación, especialmente lixiviación en pilas, donde se utiliza una solución ácida para disolver y extraer el metal del mineral.

- **Coloración:** Los minerales de óxido a menudo presentan colores vivos y distintivos. Por ejemplo, la malaquita es famosa por su color verde intenso.

En el contexto de la minería del cobre, los minerales de óxido son significativos porque pueden ser procesados mediante métodos hidrometalúrgicos, que pueden ser más ambientalmente amigables en comparación con los métodos pirometalúrgicos utilizados para los sulfuros. Además, los depósitos de óxidos suelen ser los primeros en ser explotados en un yacimiento, debido a su ubicación superficial y a la facilidad de

procesamiento.

- **Mineral sulfato:** Los minerales de sulfato son una clase de minerales que contienen el anión sulfato (SO_4^{2-}). Estos minerales se forman típicamente como productos de oxidación de sulfuros minerales y pueden encontrarse en ambientes tanto evaporíticos como volcánicos, así como en venas hidrotermales. Los sulfatos tienen una amplia gama de aplicaciones, desde usos industriales hasta agrícolas, y son importantes en la industria de la minería.

La estructura de los minerales de sulfato está definida por la presencia del grupo sulfato, que es un tetraedro de cuatro átomos de oxígeno alrededor de un átomo de azufre central. Esta estructura puede combinarse con varios cationes metálicos como el calcio, magnesio, potasio, hierro, cobre, entre otros, para formar diferentes minerales de sulfato.

Algunos ejemplos de minerales de sulfato incluyen:

- **Gypsum** (sulfato de calcio dihidratado, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$): uno de los minerales de sulfato más comunes, utilizado en la fabricación de yeso, cemento y como acondicionador de suelos en la agricultura.
- **Barita** (sulfato de bario, BaSO_4): un mineral denso utilizado en la industria petrolera en lodos de perforación, y también como pigmento en pinturas y como aditivo en caucho y papel.
- **Anhidrita** (sulfato de calcio anhidro, CaSO_4): utilizada en la industria de la construcción y como agente secante en pinturas.
- **Epsomita** (sulfato de magnesio heptahidratado, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$): conocida comúnmente como sal de Epsom, es utilizada en productos de baño, como laxante y para acondicionar suelos deficientes en magnesio.

Los minerales de sulfato a menudo se caracterizan por su solubilidad en agua, lo que los hace importantes en procesos geológicos como la formación de cavernas y la precipitación en ambientes evaporíticos. Además, pueden presentar una amplia variedad de colores y hábitos cristalinos, lo que los hace interesantes para los coleccionistas de minerales. En la naturaleza, su presencia puede ser un indicador de las condiciones ambientales pasadas y presentes, especialmente en lo que respecta a la disponibilidad de oxígeno y la presencia de agua.

- **Material Estéril o lastre:** material estéril, también conocido como lastre, juega un papel crucial en las operaciones mineras. Este material, que no contiene un contenido económico de mineral, es removido del yacimiento a través de camiones de alto tonelaje y transportado a botaderos específicamente diseñados alrededor del rajo. Su manejo es de importancia estratégica, ya que más allá de ser un subproducto de la extracción, el material estéril es reutilizado en la construcción de infraestructuras vitales como diques y rellenos,

contribuyendo así al proceso de rehabilitación y a la estabilidad del terreno en las áreas mineras.

Ilustrado en la figura correspondiente, el ciclo continuo de movimiento de materiales y la operatividad de los equipos son fundamentales. Estos equipos, encargados de procesos como el chancado y la gestión de los stocks y botaderos, operan ininterrumpidamente, 24 horas al día, los 7 días de la semana. Es imperativo resaltar la cadena de valor que está intrínsecamente ligada a cada movimiento dentro de la mina, reflejando la interconexión y la eficiencia operativa que sustentan la producción minera y su contribución al desarrollo sostenible.

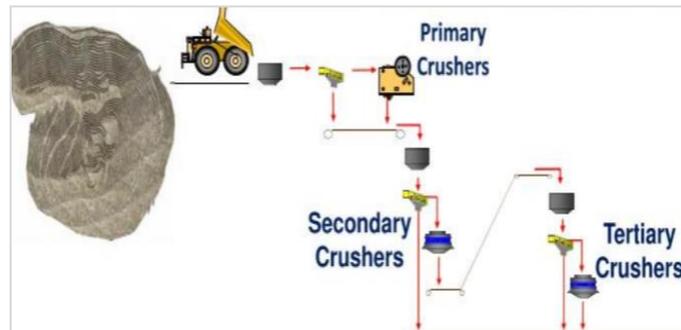


Ilustración 14 Diagrama de ciclo de operación Fuente: Tesis Universidad de Chile

El sistema de chancado se compone de un solo chancado, donde se descarga el material para luego ser transportado por correas hasta el stock pile, que es el lugar de acopio del material a espera de ser procesado, por la planta concentrado, la cual por medio de flotación extra el mineral.

3.1.2 Operación unitaria de la mina

En la siguiente figura se desprende como comienza el ciclo continuo del movimiento de material comenzando por el desarrollo mina, perforación, tronadura carguío, transporte del material el cual se deriva entre el botadero stock o chancador, para luego ser enviado a flotación para su inminente recuperación de valor económico.

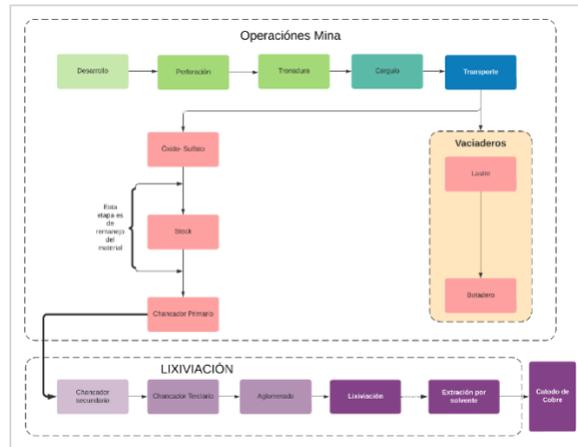


Ilustración 15 Ciclo productivo de operaciones mina y planta Fuente: Elaboración propia

Por otra parte, las actividades que soportan la producción y se incluyen en el costo mina del Antucoya son las siguientes:

- Perforación: Realización de pozos en la roca que se planifica tronar de acuerdo con malla de perforación.
- Tronadura: Carga de explosivos en pozos perforados en virtud de fragmentar la roca a tamaños necesarios para el manejo posterior de este por equipos mineros.
- Carguío: Proceso de carga de equipos mediante el uso de palas o cargadores frontales de gran volumen de balde a camiones de gran tonelaje para su posterior transporte.
- Transporte: Proceso de manejo y dirección de material hacia distintos puntos de vaciado (chancadores, stock piles, pilas, botaderos, entre otros) definidos en la operación.
- Chancado: Proceso de conminución de mineral para su posterior procesamiento en las plantas.

Con respecto al transporte hay que recalcar que cuando el destino es a stock piles, esto debe ser re-manejado de acuerdo con las reglas operacionales de mezcla de mineral hacia la planta.

Para contextualizar cuáles son los parámetros operacionales críticos en el proceso productivo, estos se presentan en la siguiente gráfica:

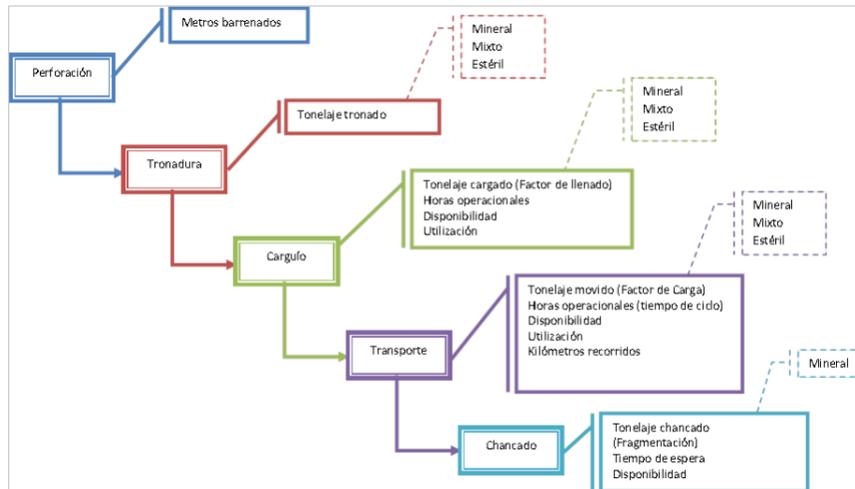


Ilustración 16 Ciclo productivo de operaciones mina y planta Fuente: Elaboración propia

3.1.3 Key Value Drivers (KVD)

Los KVD los principales generadores de valor, dentro de cualquier compañía son identificados según su impacto dentro del proceso y/o de acuerdo con que tan gestionable puede ser. Se puede presentar una matriz como la siguiente para la identificación efectiva de los KVD.

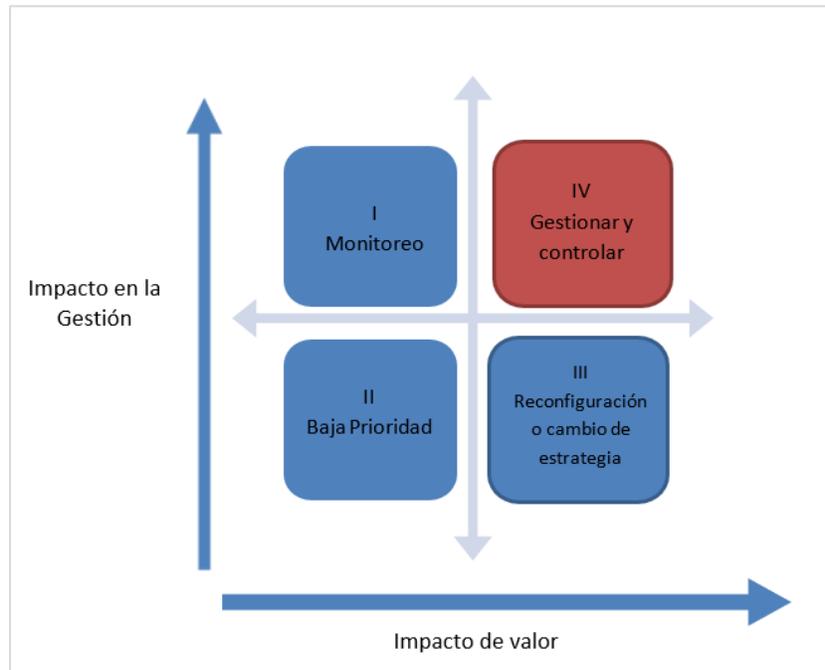


Ilustración 17 Diagrama de gestión de costos Fuente: Elaboración propia

Como se aprecia en la matriz, el foco es identificar las variables que se encuentran en el cuadrante 4, y administrar los recursos destinados a influir en las variables que se encuentran en los otros tres cuadrantes.

En el caso del transporte interior mina, se toman todos los indicadores de esta operación y se clasifican de acuerdo con su capacidad de gestión e impacto en el proceso, de donde todos convergen dos indicadores claves, los cuales se detallan a continuación.

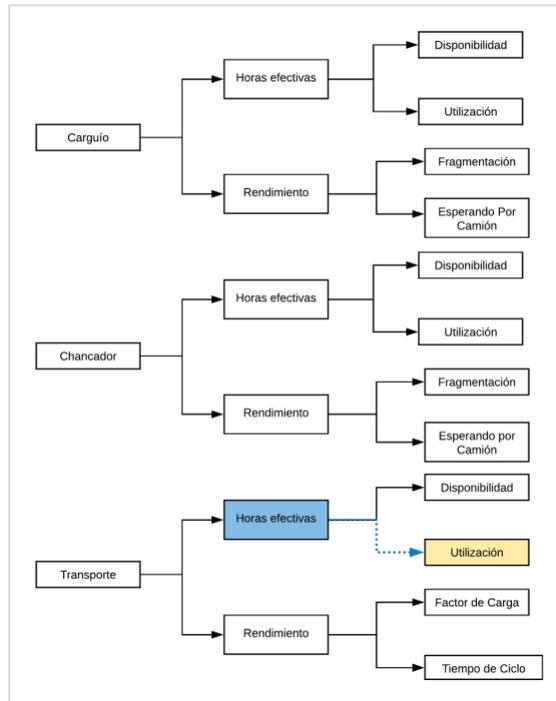


Ilustración 18 Diagrama de gestión horas efectiva Fuente: Elaboración propia

Como se puede apreciar, los KVD seleccionados para Antofagasta Minerals mina el Antucoya que están dentro del proceso de transporte de material tienen una gran importancia debido a la alta concentración de activos que se presenta en la faena, además del foco de alta producción de cobre convergen claramente a Rendimiento, Disponibilidad y **Utilización**. Los cuales se describen e impactan de la siguiente manera:

- Disponibilidad (%), indica la probabilidad que un equipo se encuentre disponible para ser operado. Asegura las horas necesarias para realizar el movimiento de la mina. El área encargada de este indicador es Mantenimiento. Actualmente el principal riesgo asociado a este KVD son las detenciones no programadas de equipos.
- Utilización (%), es la probabilidad de que un equipo se encuentre efectivamente operando con lo cual se asegura el movimiento de la mina. Corresponde a la gestión integrada de las áreas de Planificación y Operaciones. El principal riesgo asociado a este KVD es el ausentismo de los operadores, que asciende el 14%.
- Rendimiento (TPH), indica el rendimiento de las operaciones unitarias de carguío y transporte con lo cual se verifica la frecuencia de alimentación para el proceso aguas abajo. El principal riesgo asociado a este KVD son las variaciones en los tiempos de ciclo.

3.1.4 Key Cost Drivers (KCD)

A diferencia de los KVD, los cuales son variables o indicadores físicos para controlar para la operación y cumplir a cabalidad los compromisos adquiridos de la Gerencia mina tanto en producción como en costos, los KCD o principales conductores del costo, son ciertos insumos o servicios que al ser cambiados generan el mayor impacto en el costo mina, lo cual es nuestro foco del área de control y gestión mina.

Para la mina el Antucoya los KCD son los representados en la siguiente gráfica donde se enfocará el estudio en la variable combustible.

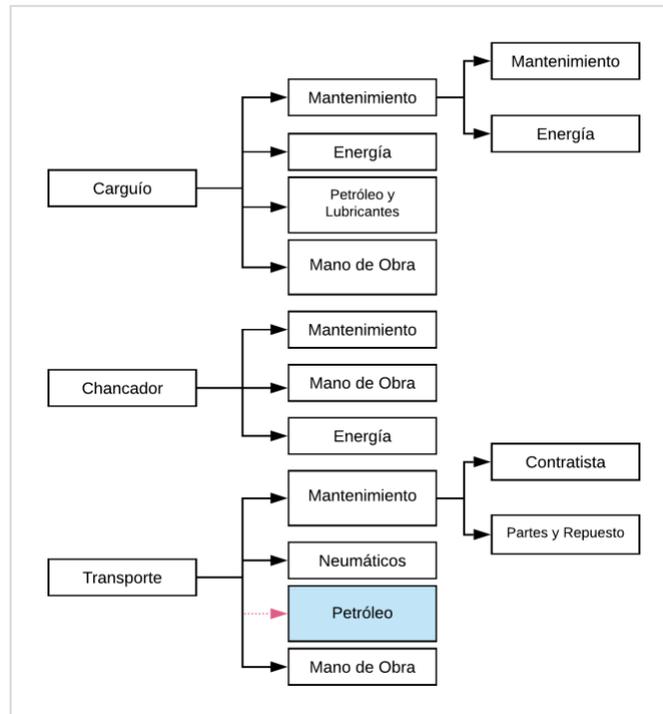


Ilustración 19 Diagrama para determinar factor de combustible, como variante preponderante en el análisis Fuente: Elaboración propia

Como se puede apreciar los KCD seleccionados están dentro de la operación de transporte de material es el indicador Petróleo como una variable de suma relevancia en las actividades del transporte de material.

Este KCD se escogidos por su impacto en la operación y en el costo total de la misma, cercano al 33% del costo total del transporte.

Las relaciones de estos KCD y riesgos asociados con la operación son las siguientes:

- **Neumáticos**, tienen relación directa con el tamaño de la flota, rendimiento de los neumáticos, volumen de material movido.

- **Contratistas**, el aumento de tarifa de movimiento por arriendo de equipos de carguío o de apoyo según estrategia para dar cumplimiento a los planes de movimientos mina.
- **Petróleo**, está relacionado con el rendimiento de los camiones, movimiento de la mina, el uso adecuado de los equipos de transporte de material camiones mina o camiones de extracción.

La identificación a tiempo de los factores causales del costo, relación existente e impacto de cada uno en el mismo permite gestionar. Separando entre costos fijos y variables, se tiene que los factores causales para los costos fijos son las decisiones de las personas responsables de hacer gestión (vicepresidentes, Gerentes, Superintendentes, entre otros), estas relaciones, generalmente, son fáciles de identificar.

Por otro lado, para los costos variables, los factores causales son variables del proceso. Para establecer las relaciones se debe estimar los costos en función de los factores causales, obteniendo una adecuada aproximación y así poder gestionar el proceso al controlar los inductores de costos.

El análisis de costos pretende responder los drivers que gatillan con mayor impacto en el costo mina, para luego presentar las definiciones de cada uno de ellos y como se apalancará la gestión y control de estos. Con la finalidad de verificar en qué, dónde y quién es el responsable de los gastos.

Se procede a priorizar las actividades con mayor influencia en el costo y se escrudina hasta los insumos o actividades secundarias más relevantes para tener control en virtud de hacer gestión y lograr los compromisos de cumplimiento de costos para el año fiscal 2018.

Imagen 28: Distribución de gastos según procesos.

Fuente: Elaboración propia

3.1.5 Distribución de Gastos

Para el año fiscal 2022 se tiene la siguiente distribución de costos para las unidades operativas referentes a la mina. Se presentan como sigue:

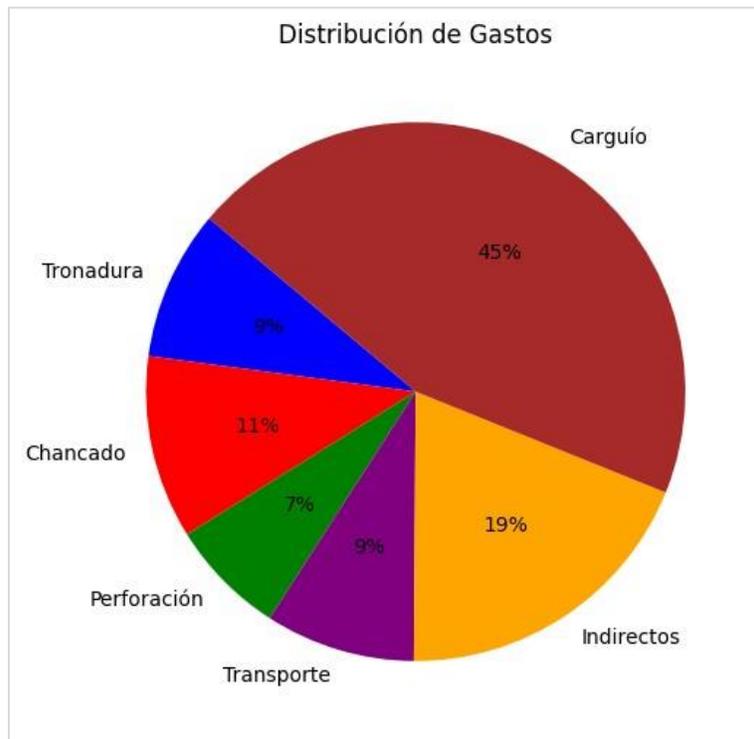


Gráfico 3 : Distribución de gastos, según procesos. Fuente: Elaboración propia

3.1.6 Distribución de Costos

Para el año fiscal 2022 se tiene la siguiente distribución de costos para las unidades operativas referentes a la mina. Se presentan como sigue:

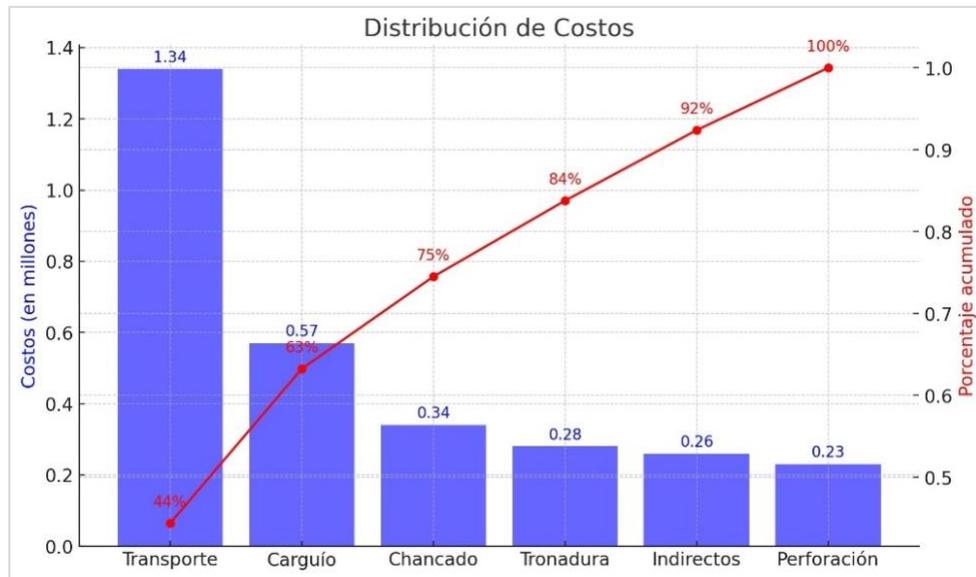


Gráfico 4 Distribución de costos, según procesos. Fuente: Elaboración propia

3.1.7 Análisis de Pareto

De acuerdo con los gráficos previamente analizados, se observa que el 80% de los esfuerzos en términos de gastos y costos se concentran en tres áreas principales: Transporte, Carguío y Chancado. Dada esta distribución, el estudio actual se centra específicamente en el Transporte de materiales dentro de la mina, por sí sola representa el 45% de los costos totales de la operación. Se reconoce que cualquier mejora en esta área podría traducirse en ahorros significativos para la compañía.

En continuación del estudio, se detallarán los costos relevantes vinculados con la hipótesis planteada. Se destaca especialmente el transporte, no solo por su peso en los costos totales, sino también por su relevancia en términos de gestión operativa y su impacto en la generación de valor.

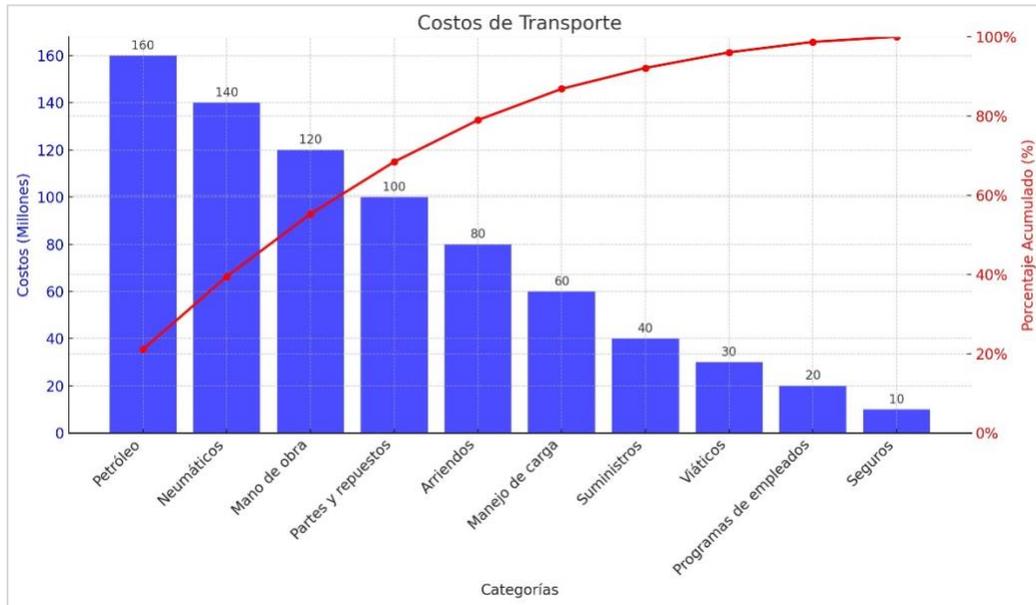


Gráfico 5 Distribución de costos, según procesos. Fuente: Elaboración propia

Entre los cuales se visualiza fácilmente que el 80% está conformado por Petróleo, Neumáticos y Mano de Obra. De acuerdo con las distintas bases de datos y accesos a la información en línea para Reportabilidad se decidirá si se implementa una solución para control y gestión o generación de reportes.

3.2 Análisis de la información

En la sección previa, se identificaron los intervalos de tiempo críticos que aportan un valor significativo a los "Key Cost Drivers", o factores principales de costo. Estos periodos son esenciales para orientar la dirección de este estudio. Acorde a las características de los "Key Value Drivers" y los "Key Cost Drivers", se ha delineado un enfoque específico para nuestra investigación.

En el marco de este estudio, disponemos de datos suministrados por la herramienta Jigsaw correspondientes a la operación minera en Antucoya. Este conjunto de datos engloba un registro completo de un año de actividades, incluyendo carga, transporte, formación de colas en puntos de carguío y descarga, acumulación, y los tiempos de viaje, tanto vacíos como cargados, a diversos puntos de interés como chancadores, almacenes y vertederos. Este registro abarca el periodo de enero a diciembre de 2019, sumando un total de 160,242 filas y 23 columnas, con más de 3.6 millones de registros que abarcan todos los orígenes y destinos dentro de la mina.

Cada entrada en la base de datos proporciona información detallada, incluyendo la fecha, los equipos utilizados, los operadores involucrados y una descomposición de los tiempos de ciclo. En consonancia con los objetivos del estudio, y para delimitar el alcance de la

investigación, se ha optado por centrarse exclusivamente en el proceso de descarga en el chancador primario y en la carga de unidades que operan en la fase 3. Este enfoque se elige deliberadamente ya que la fase 3 se encuentra en una ubicación relativamente aislada en comparación con otros puntos de la mina, lo que reduce la probabilidad de tráfico de camiones y, por ende, minimiza la posibilidad de que los datos se vean afectados por la congestión vehicular.

3.2.1 Proceso de extracción de los datos.

Se diseña un diagrama físico de la base de datos existente de Jigsaw, con las tablas de interés para el presente estudio, con ellos se puede determinar la extracción de los datos para proceder con la limpieza y normalización de los datos. Esto corresponde a las tablas de la base de datos de Jigsaw.

- by_custom_truck_cycle_time
- enum_tables
- equipment
- locations
- operadores_el_Antucoya

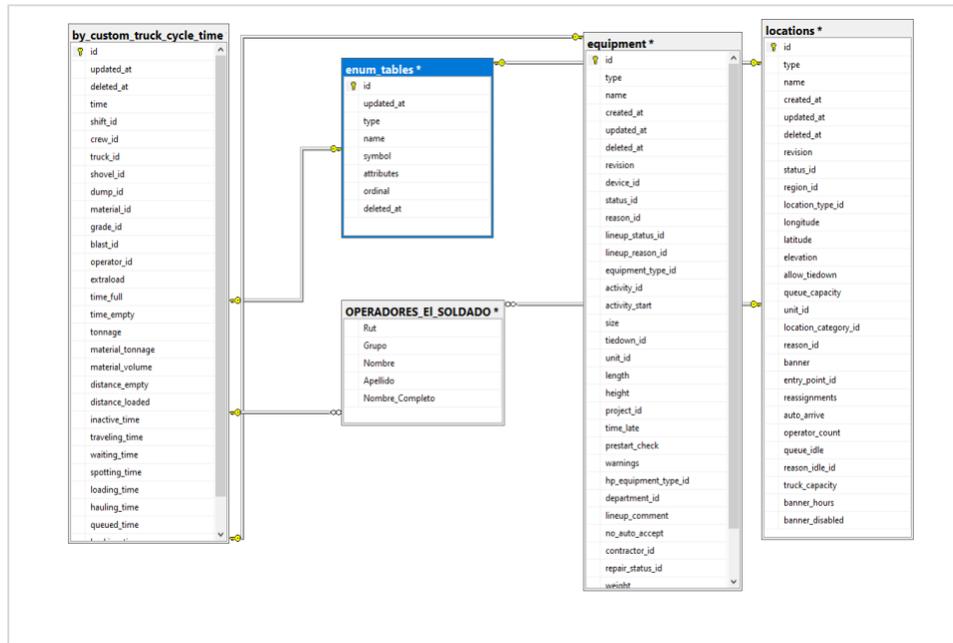


Ilustración 20 Diagrama físico de base de datos. Fuente: Sacado de una base de datos real

Basado en el diagrama físico de las tablas claves, se procede a diseñar la consulta para la obtención de los datos necesarios para esto se inicia seleccionando las tablas a consultar e identificando las relaciones entre ellas (PK y FK) con la finalidad de generar las uniones (JOINS) en la consulta. Para luego seleccionar las columnas desde donde se obtendrán los datos de interés y realizando las conversiones necesarias de segundos a minutos para poder visualizar de mejor manera los datos y realizar los filtros necesarios de la consulta, como el periodo del 01 de enero del 2022 al 31 de octubre del 2023.

Finalizando la consulta para luego realizar al diseñar la consulta se expondrá la información más claramente para poder manipular la data y poder extraer los resultados esperados del estudio.

Para que el lector entienda la información que se hablará en las pagina siguientes, se hace necesario aclara un concepto que se manejará en los siguientes capítulos como son la descripción y uso del lenguaje estructurado de SQL.

3.2.2 SQL (por sus siglas en inglés Structured Query Language)

Para el presente estudio se procederá a ejecutar consultas en SQL. (Lenguaje de consultas estructurados)

```
DECLARE @FECHA_1 DATETIME = '2023-01-01';
DECLARE @FECHA_2 DATETIME = '2023-11-27';

-- Tabla temporal ASARCO_CAEX
CREATE TABLE #ASARCO_CAEX (Fecha DATETIME, Turno VARCHAR(5), Efectivo DECIMAL(18, 4), PerdidasOp DECIMAL(18, 4), DP DECIMAL(18, 4), DNP DECIMAL(18, 4));

-- Índice para mejorar el rendimiento del JOIN
CREATE INDEX idx_asarco_fecha_turno ON #ASARCO_CAEX (Fecha, Turno);

INSERT INTO #ASARCO_CAEX
SELECT TIME AS Fecha, shift AS Turno, SUM(machine_activity - waiting - queued) / 3600.00 AS Efectivo, SUM(waiting + queued) / 3600.00 AS PerdidasOp, DP AS DP, DNP AS DNP
FROM jmineops.dbo.hour_equipment_times
WHERE deleted_at IS NULL
AND TIME BETWEEN @FECHA_1
AND @FECHA_2
AND equipment_type LIKE 'Truck'
GROUP BY TIME, shift;

-- Tabla temporal ASARCO_SHOVEL
CREATE TABLE #ASARCO_SHOVEL (Fecha DATETIME, Turno VARCHAR(5), Efectivo2 DECIMAL(18, 4), PerdidasOp DECIMAL(18, 4), DP DECIMAL(18, 4), DNP DECIMAL(18, 4));

-- Índice para mejorar el rendimiento del JOIN
CREATE INDEX idx_asarco_fecha_turno ON #ASARCO_SHOVEL (Fecha, Turno);

INSERT INTO #ASARCO_SHOVEL
SELECT TIME AS Fecha, shift AS Turno, SUM(machine_activity - waiting - queued) / 3600.00 AS Efectivo2, SUM(waiting + queued) / 3600.00 AS PerdidasOp, DP AS DP, DNP AS DNP
FROM jmineops.dbo.hour_equipment_times
WHERE deleted_at IS NULL
AND TIME BETWEEN @FECHA_1
AND @FECHA_2
AND equipment_type LIKE 'SHOVEL'
GROUP BY TIME, shift;
```

Ilustración 21 Diseño de consulta SQL. Fuente: Elaboración propia

Tras un análisis detallado de los datos, se seleccionó una muestra representativa desde el ciclo de fases hasta los distintos destinos. Esta muestra comprende un total de 468.920 ciclos, equivalentes a un tonelaje de 143.478.838 toneladas. El objetivo inicial es realizar un análisis exploratorio descriptivo para obtener una primera comprensión de los datos.

Al examinar las estadísticas básicas de los datos sin procesar, se detectaron ciertas anomalías en los tiempos registrados que son incoherentes con las actividades laborales reales. Por ejemplo, se encontraron tiempos de acuatamiento (espera o demora) nulos o extremadamente bajos, lo cual es físicamente improbable, ya que estos tiempos representan el desplazamiento del camión de un punto a otro. Ante esto, se hace necesario establecer un criterio razonable y justificado para excluir estos valores erróneos. Este mismo principio se aplica a otros tiempos registrados, como los tiempos de carga, descarga, viajes de ida y vuelta, y las distancias recorridas.

Sin una limpieza adecuada de los datos, indicadores estadísticos como la media o la desviación estándar resultan poco fiables, debido a la presencia significativa de datos atípicos.

Otro aspecto crucial identificado durante el análisis es la variabilidad en la captura de datos de los operadores. Se observó que no existe una comprensión uniforme de los conceptos del ciclo operativo, lo que resulta en diferencias en el registro de datos en el sistema Jigsaw (efectivo, llegada, carga/descarga, etc.). Esta variabilidad se hizo evidente al comparar los registros de diferentes camiones manejados por distintos operadores, incluso cuando operaban en el mismo circuito, lo que conduce a inconsistencias en los tiempos registrados de un vehículo a otro.

Este análisis preliminar destaca la importancia de una depuración y estandarización meticulosa de los datos para obtener mediciones precisas y fiables que reflejen la realidad operativa y faciliten una interpretación y toma de decisiones informadas..

Por otra parte, sin una limpieza apropiada de los datos, estadísticos como la media o la desviación estándar no tienen utilidad alguna ya que poseen cantidades no menores de datos aberrantes.

La primera observación que llama la atención al momento de medir los tiempos de ciclo es que los operadores no tienen claro los conceptos del ciclo de operación e ingresan los datos al Jigsaw cuando ellos estiman necesario hacerlo (efectivo, llegada, carga/descarga, etc.). Al estar en diferentes camiones con diferentes operadores, se apreció que los operadores tenían diferentes criterios para ingresar los datos, lo que, al estar en un mismo circuito, los tiempos difieren de un camión a otro.

3.2.3 Utilización de herramientas de análisis

La clasificación en los tiempos del ciclo de operación de camiones incluye la suma de varios componentes: tiempo en cola, tiempo de carguío, aculatamiento, cargando, tiempo de viaje con carga, cola en la descarga, descargando y tiempo de viaje vacío. El tiempo total de ciclo representa el periodo en que el camión está operativo y realizando actividades efectivas, como esperar en el chancado mientras otro camión está descargando. Para analizar estos tiempos, se utilizan las mismas combinaciones de pala y camión previamente definidas, añadiendo la categoría de 'Destino', que incluye los posibles puntos de descarga (chancador primario, botadero y stocks). Este análisis se efectúa con el objetivo de explorar si existe una correlación significativa entre la combinación pala-camión y el lugar de descarga.

| Variables | Descripción Resumida |
|------------------------|---|
| Velocidad Promedio | Velocidad media de vehículos mineros en transporte. |
| Esperando en Carguío | Número de camiones esperando para cargarse en mina. |
| Aculatando | Posicionamiento de camiones para carguío eficiente. |
| Cargando | Tiempo o estado de carguío de mineral o lastre en camiones. |
| Tiempo Viaje Cargado | Duración del transporte de mineral cargado a destino. |
| Esperando en Descarga | Camiones en espera para descargar mineral. |
| Descargando | Proceso o tiempo de descarga de mineral o lastre de camiones. |
| Tiempo Viaje Vacío | Tiempo de retorno de camiones vacíos a mina. |
| Aculatando en Descarga | Alineación de camiones para descarga eficiente. |

Tabla 4 Variables de ciclo operativo. Fuente: Elaboración propia

.2.3.1 Velocidad promedio

La velocidad promedio se calcula como la relación entre la distancia recorrida y el tiempo que tarda un equipo en completar un tramo. Este indicador es esencial para comprender la eficiencia y el rendimiento operativo de los equipos. El análisis revela que las variaciones en la velocidad promedio pueden deberse a múltiples factores, incluyendo las condiciones ambientales, la carga del equipo y las características específicas del trayecto.

Una investigación más detallada de estas variables y su impacto en la velocidad promedio se desarrollará en las secciones siguientes de este proyecto. Este análisis no solo nos permitirá identificar patrones clave y áreas potenciales de mejora para optimizar el rendimiento de los equipos, sino que también tendrá un impacto significativo en la reducción del consumo de combustible. Al mejorar la eficiencia operativa de los equipos, podemos esperar una disminución en el uso de combustible, lo que resulta en beneficios tanto económicos como ambientales. Este enfoque integral garantiza una operación más sostenible y económicamente viable a largo plazo.

Datos estadísticos par lograr entender de mejor manera cual es la variación que existe entre las variables de velocidad.

```
Estadísticas de Velocidad Promedio [km/h]:  
count    365.000000  
mean     24.066712  
std      1.497266  
min      20.064018  
25%      23.093264  
50%      24.090503  
75%      25.040956  
max      28.556342  
Name: Velocidad Promedio [km/h], dtype: float64
```

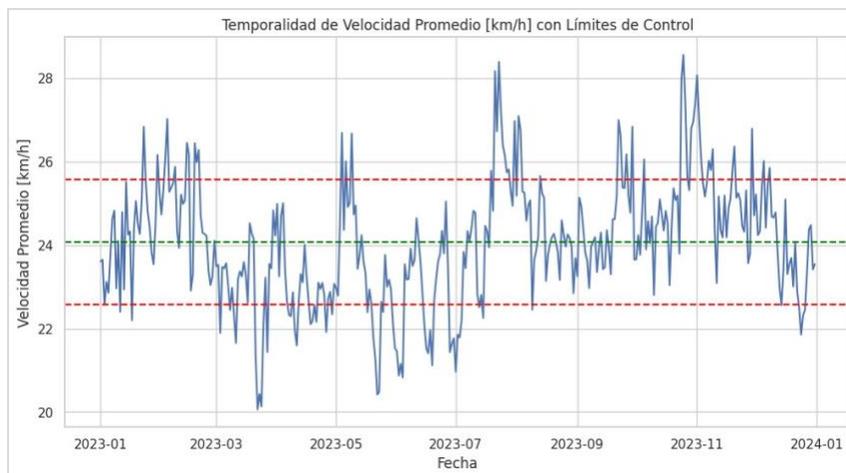


Gráfico 6 Gráfico de temporalidad con barra de control. Fuente: Elaboración propia

Dentro del siguiente gráfico se aprecia que la media de velocidad esta por los 23.5 Km/h, es por esta razón que se hace necesarias acciones para subir esta velocidad promedio de los camiones de extracción.

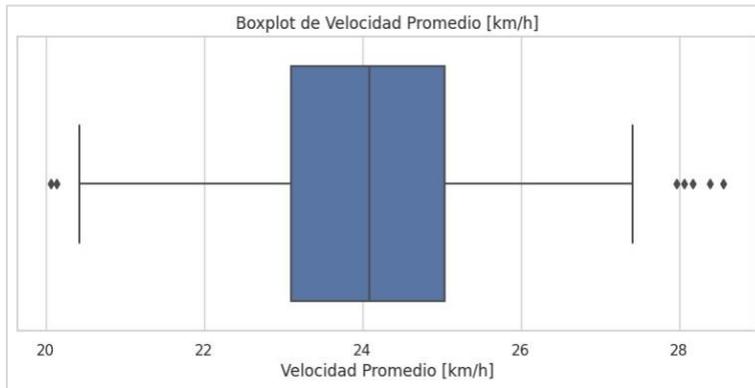


Gráfico 7 Gráfico de Boxplot . Fuente: Elaboración propia

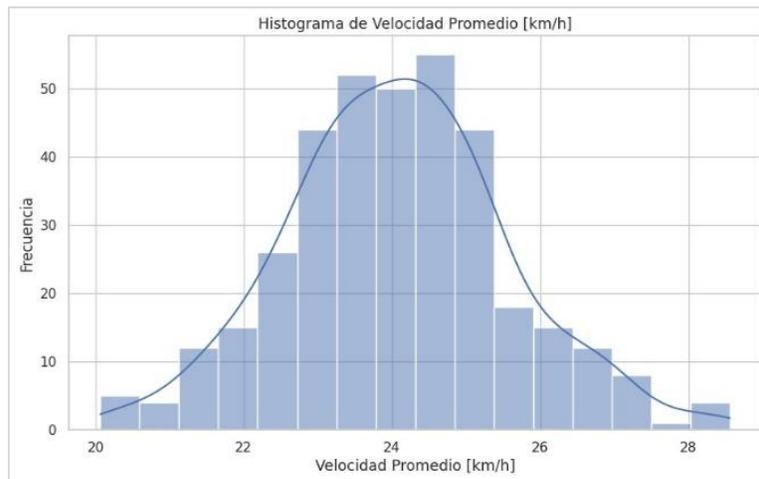


Gráfico 8 : Gráfico de histograma. Fuente: Elaboración propia

.2.3.2 Esperando en Carguío

En el contexto de la gestión de operaciones mineras, la 'Esperando en Carguío' se refiere al punto físico donde un vehículo de transporte se sitúa detrás de otro antes de ser cargado. Este concepto es crucial en la técnica de emparejamiento entre palas y camiones, como se detalla en el Capítulo III del marco teórico. Según esta técnica, lo ideal es mantener un tiempo de espera de un minuto por camión, lo que constituye un 'match' efectivo en la cola de carguío.

```
Estadísticas de Esperando en Carguío [min]:  
count      365.000000  
mean       2.415611  
std        0.702319  
min        1.141856  
25%       1.962109  
50%       2.254765  
75%       2.744399  
max        5.624983  
Name: Esperando en Carguío [min], dtype: float64
```

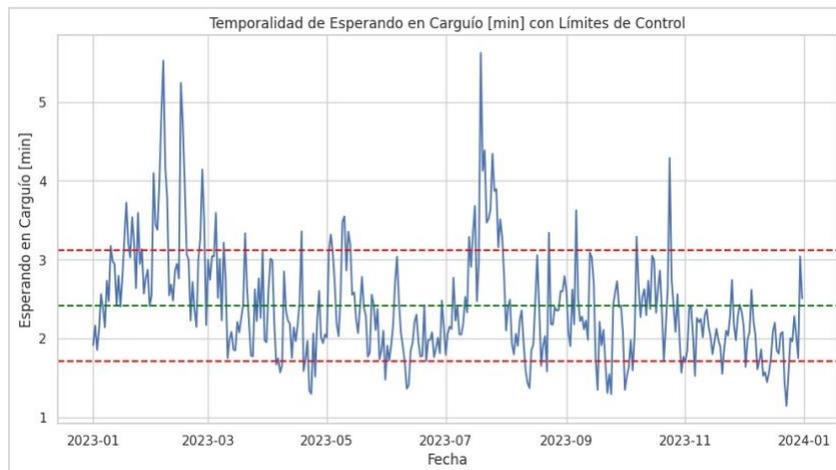


Gráfico 9 Gráfico de temporalidad con barra de control. Fuente: Elaboración propia

A partir del análisis realizado, se identifica que ciertos equipos presentan tiempos de espera más prolongados en la cola. Para un análisis exhaustivo y una trazabilidad adecuada de los datos, se utiliza el software de control estadístico Python. Los datos ingresados en este software permiten evaluar la eficacia del sistema de control implementado por Jigsaw. Una observación crítica de este análisis es la falta de coherencia en la normalización de los datos, evidenciada por las variaciones diarias mostradas en el gráfico de control adjunto.

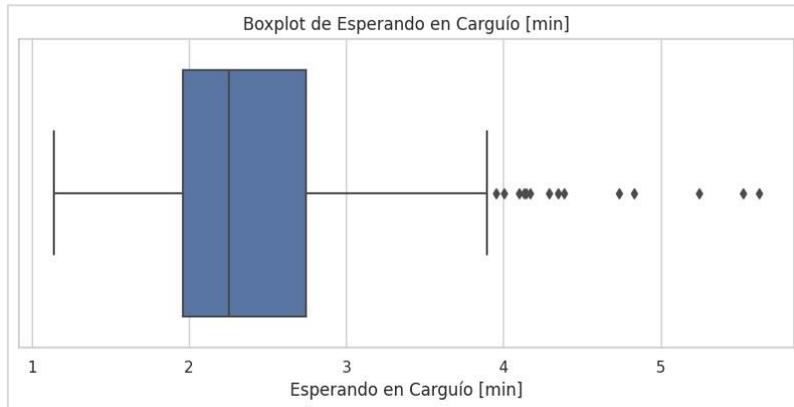


Gráfico 10 Gráfico de Boxplot . Fuente: Elaboración propia

Este enfoque permite no solo identificar los cuellos de botella en el proceso de carguío sino también implementar mejoras basadas en datos para optimizar la eficiencia de la operación minera.

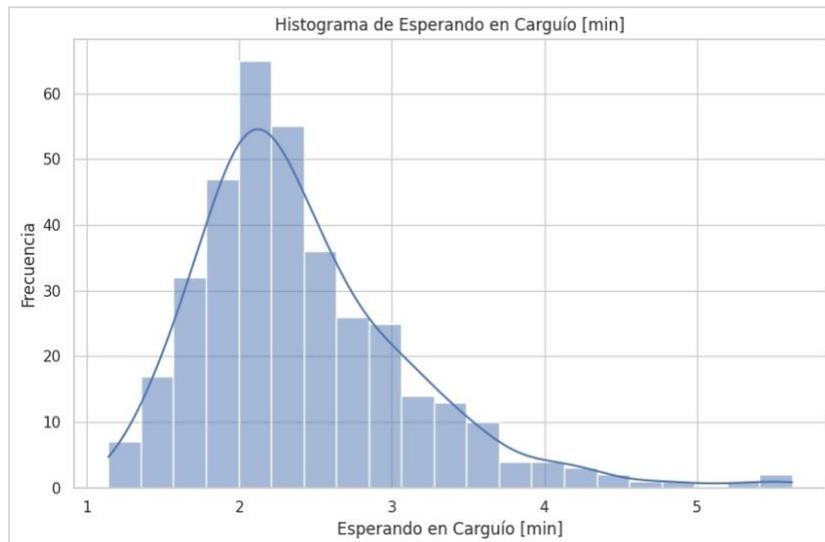


Gráfico 11 Gráfico de histograma. Fuente: Elaboración propia

.2.3.3 Aculatando en Carguío

El análisis de las estadísticas del tiempo dedicado a la maniobra de aculataado en equipos de carguío revela varios puntos clave a considerar:

1. **Consistencia Operacional:** Con una media de aproximadamente 0.355 minutos y una desviación estándar de 0.052959 minutos, los datos sugieren que hay una consistencia en las operaciones de aculataado día a día. Esto implica que los procedimientos están estandarizados y que el personal está bien entrenado en la realización de esta tarea.
2. **Variabilidad:** La diferencia entre el valor máximo (aproximadamente 0.525 minutos) y mínimo (aproximadamente 0.228 minutos) es relativamente pequeña. Esta baja variabilidad es positiva, ya que indica que no hay fluctuaciones extremas en el tiempo dedicado a aculatar, lo cual es favorable para la previsibilidad de las operaciones.
3. **Distribución de Datos:** Los valores de los percentiles (25%, 50% y 75%) proporcionan una vista de la distribución de los datos. Observando que la mediana (0.357 minutos) es muy cercana a la media, se puede inferir que la distribución de los tiempos de aculataado es simétrica y posiblemente se asemeje a una distribución normal, lo cual es ideal para la aplicación de controles estadísticos.
4. **Tendencia:** La mención de una tendencia a la baja durante el año 2022 es un indicador de mejora en el proceso. Esto podría ser el resultado de optimizaciones en las operaciones, mejor entrenamiento, o la introducción de mejoras técnicas en los equipos.

```
Estadísticas de Aculataando Carguío [min]:
count      365.000000
mean       0.355185
std        0.052959
min        0.227673
25%        0.321226
50%        0.356553
75%        0.390677
max        0.524741
Name: Aculataando Carguío [min], dtype: float64
```

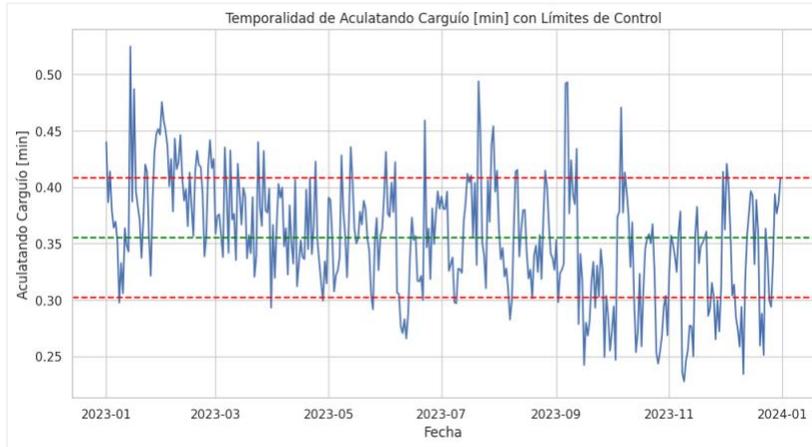


Gráfico 12 Gráfico de temporalidad con barra de control. Fuente: Elaboración propia

- **Impacto en la Productividad:** Analizar cómo estos tiempos de aculatado afectan la productividad general y el tiempo de ciclo de los equipos de carguío.

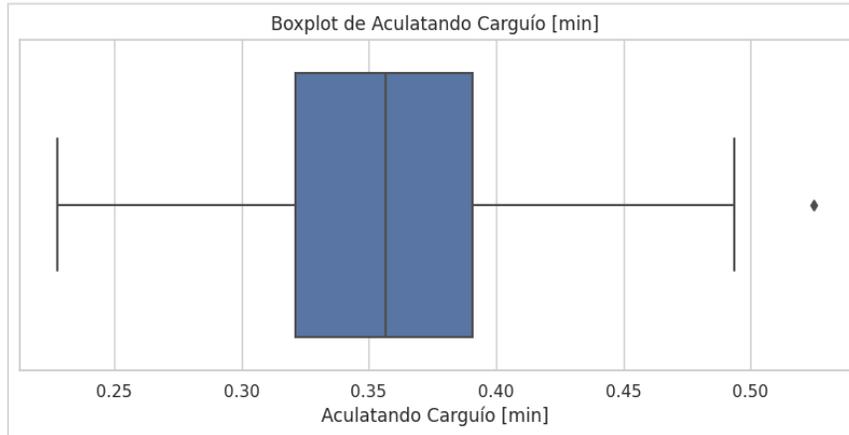


Gráfico 13 Gráfico de Boxplot . Fuente: Elaboración propia

- **Efecto de las Mejoras:** Si se han implementado mejoras durante el año 2022, sería adecuado analizar el impacto directo de estas acciones en la reducción de los tiempos de acuatado.

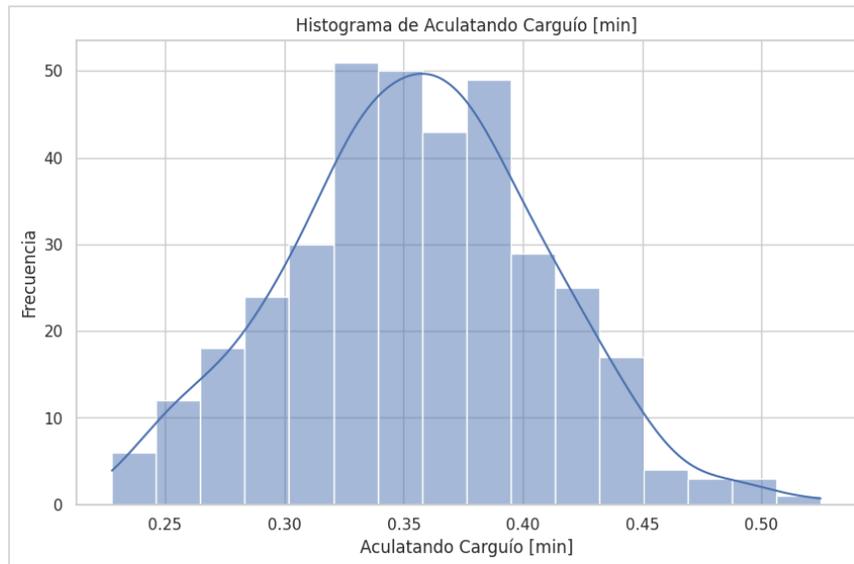


Gráfico 14 Gráfico de histograma. Fuente: Elaboración propia

- Utilizando software como Python para el control estadístico, es posible no solo monitorear la trazabilidad de los datos sino también identificar patrones y señales de alerta tempranas para la toma de decisiones proactivas y la mejora continua del proceso de acuatado.

.2.3.4 Cargando

Es el momento cuando el equipo de carguío y el equipo de transporte están uno es el lugar físico y proceden a tener contactos entre los 2 equipos uno cargando a otro lo ideal es hacer ser Mach.

Según el análisis se puede determinar que los equipos que cuentan con menor capacidad del balde es el que demora mayor tiempo en el proceso de carga de los equipos de transporte:

```
Estadísticas de Cargando [min]:  
count    365.000000  
mean     3.115550  
std      0.535949  
min      2.072385  
25%     2.738681  
50%     3.029385  
75%     3.408020  
max      5.523197  
Name: Cargando [min], dtype: float64
```

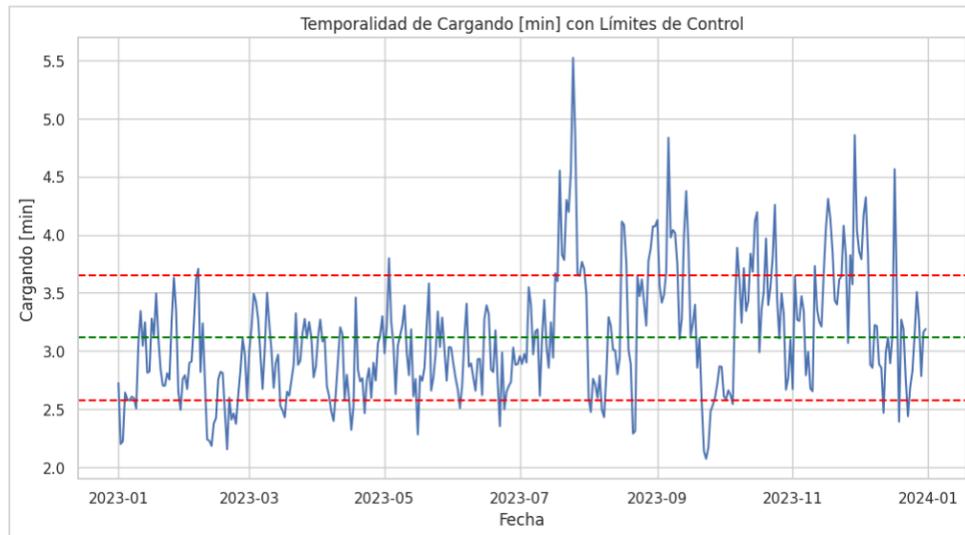


Gráfico 15 : Gráfico de temporalidad con barra de control. Fuente: Elaboración propia

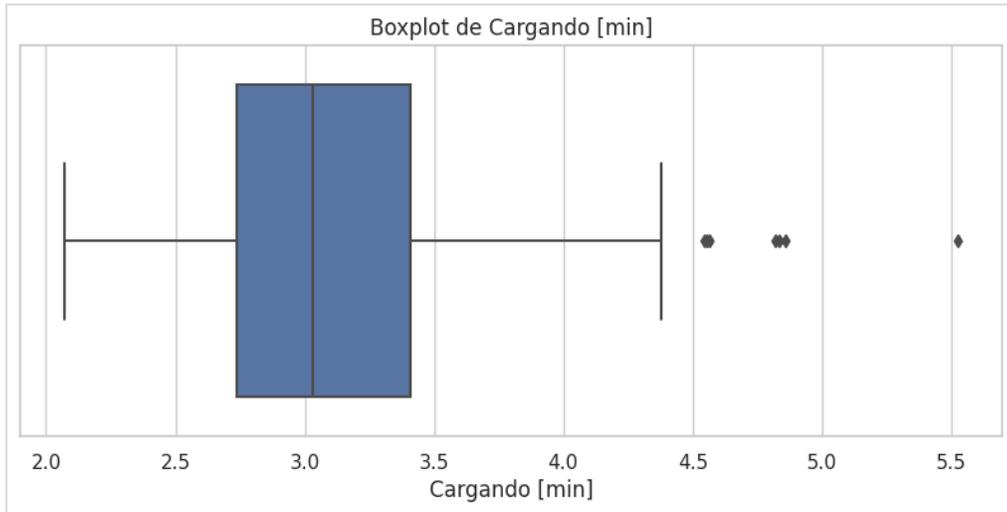


Gráfico 16 Gráfico de Boxplot . Fuente: Elaboración propia

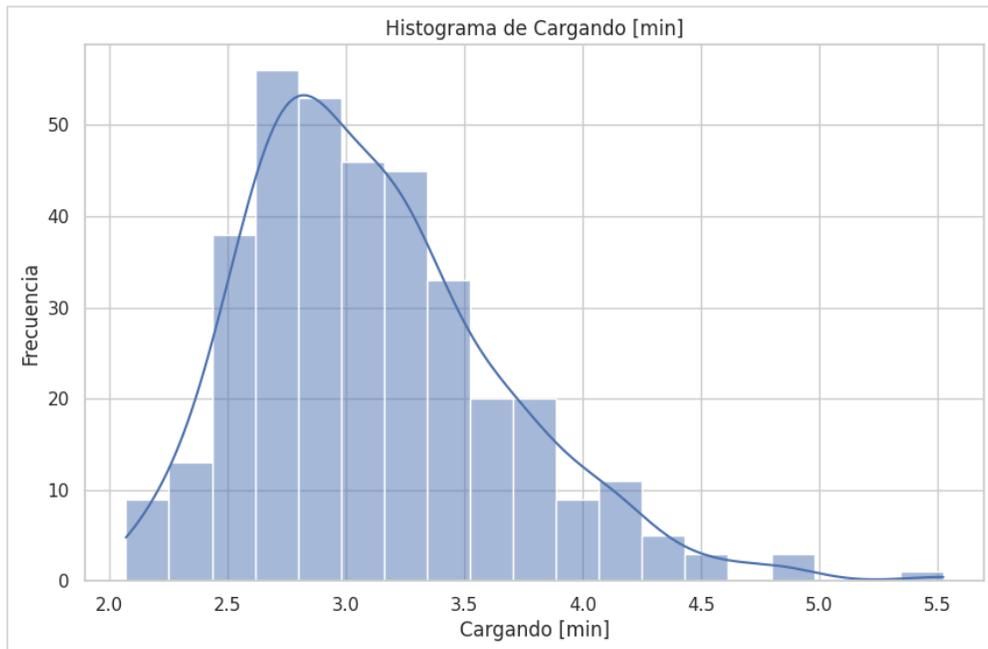


Gráfico 17 : Gráfico de histograma. Fuente: Elaboración propia

Para determinar el análisis y revisar la trazabilidad de la información, es que se usa Python, se ingresa los datos al software para determinar el control llevado por Jigsaw, donde se aprecia días con tiempo elevados el tiempo promedio de carga en palas y cargadores, los que más tiempo tienen elevado el especial son los cargadores frontales los cuales tienen un

balde de carga más reducido, es por esta razón que en el carguío total utiliza 2 pases para poder cargar un camión.

Dentro de los datos analizado y el control estadístico se notan desviaciones en algunos días, pero mayormente se mantienen dentro de los rangos aceptado.

.2.3.5 Tiempo Viaje Cargado

Este concepto o tiempo, es cuando el equipo de transporte está trasladando el material a un destino previamente asignado. Según el análisis se puede determinar que los equipos que cuentan con un mayor tiempo de viaje cargado cuando recorren circuitos extensos o más largos del promedio.

```
Estadísticas de Tiempo Viaje Cargando [min]:
count      365.000000
mean       10.517764
std        1.840183
min        5.724111
25%        9.402864
50%        10.473486
75%        11.769616
max        15.372831
Name: Tiempo Viaje Cargando [min], dtype: float64
```

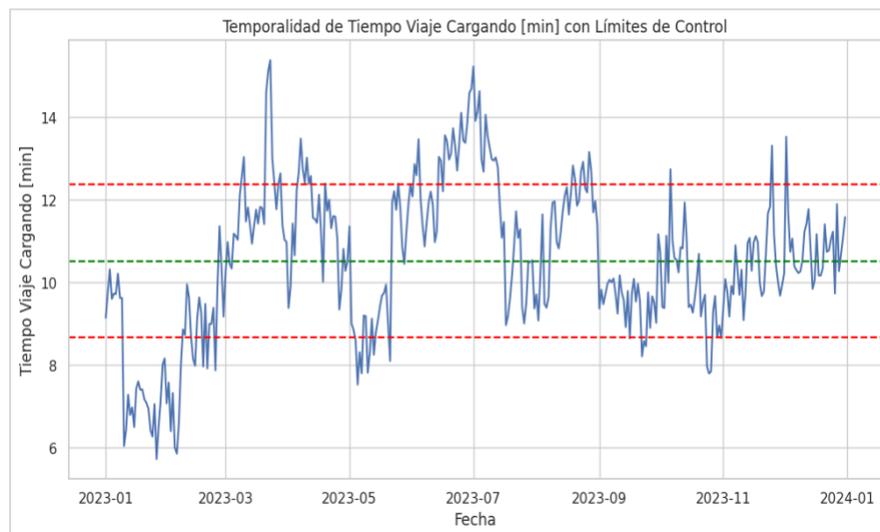


Gráfico 18 : Gráfico de temporalidad con barra de control. Fuente: Elaboración propia

Para determinar el análisis y revisar la trazabilidad de la información, es que se usa el software de control estadístico ChartRunner, se ingresa los datos al software para determinar el control llevado por Jigsaw, solo se considerará el circuito desarrollado entre la fase 3 y chancador, esto es para no distorsionar los datos, estadísticos.

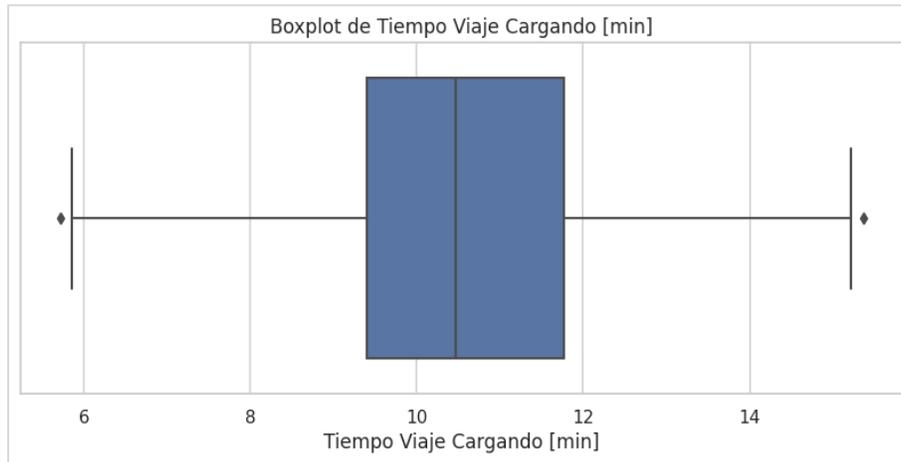


Gráfico 19 Gráfico de Boxplot . Fuente: Elaboración propia

En el histograma se logra apreciar como la distribución que es variable y los datos son entre máximos y mínimos bastantes distantes, a pesar de que es la misma ruta, que se genera diariamente, esto es debido a priori a la interferencia que existe en los circuitos cuando existe mayor cruce de equipos pequeños de trabajo.

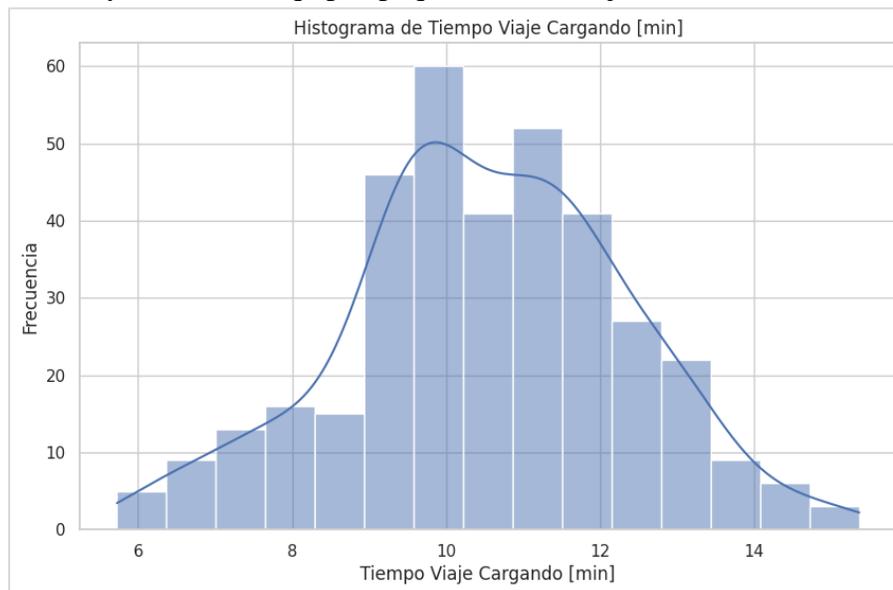


Gráfico 20 Gráfico de histograma. Fuente: Elaboración propia

2.3.6 Esperando en Descarga

Se determina la cola en descarga es el lugar físico de un equipo de transporte que antecede a otro equipo de transporte antes de descargar en botadero, stock o chancador.

Según el análisis se puede determinar que los equipos que cuentan con una cola mayor entre el chancador, SS-CONO-SAG, son los siguientes:

```
Estadísticas de Esperando Descarga [min]:  
count    365.000000  
mean     1.034952  
std      0.346643  
min      0.293925  
25%     0.828340  
50%     1.008745  
75%     1.238568  
max      2.160458  
Name: Esperando Descarga [min], dtype: float64
```

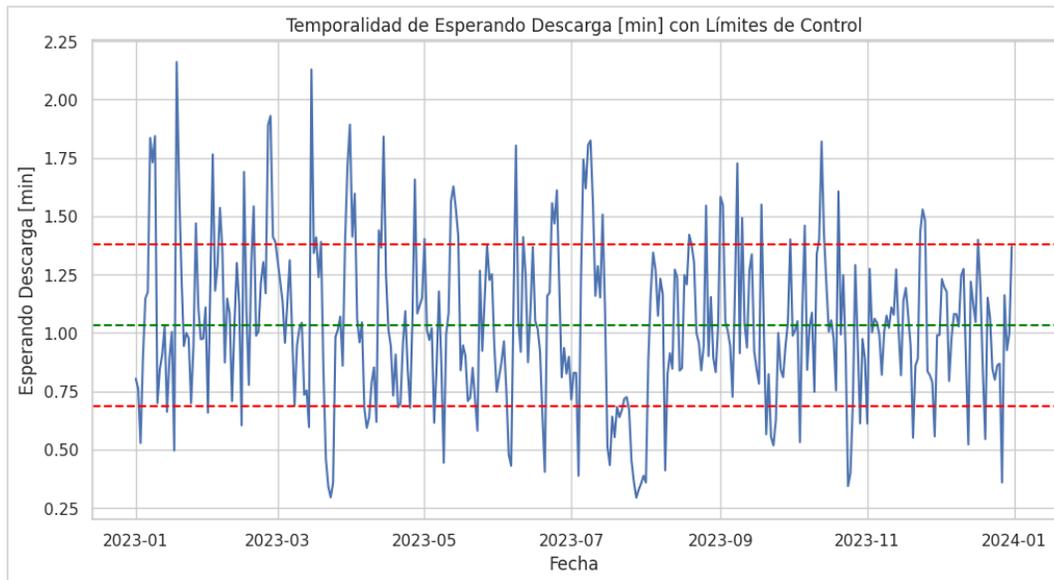


Gráfico 21 : Gráfico de temporalidad con barra de control. Fuente: Elaboración propia

Para determinar el análisis y revisar la trazabilidad de la información, es que se usa el software de control estadístico Python, se ingresa los datos al software para determinar el control llevado por Jigsaw. Se debe considerar que, para el proceso de estudio, solo se consideró el circuito desde fase 3 a Chancador primario como referencia, a la idea es segregación virtual de la información.

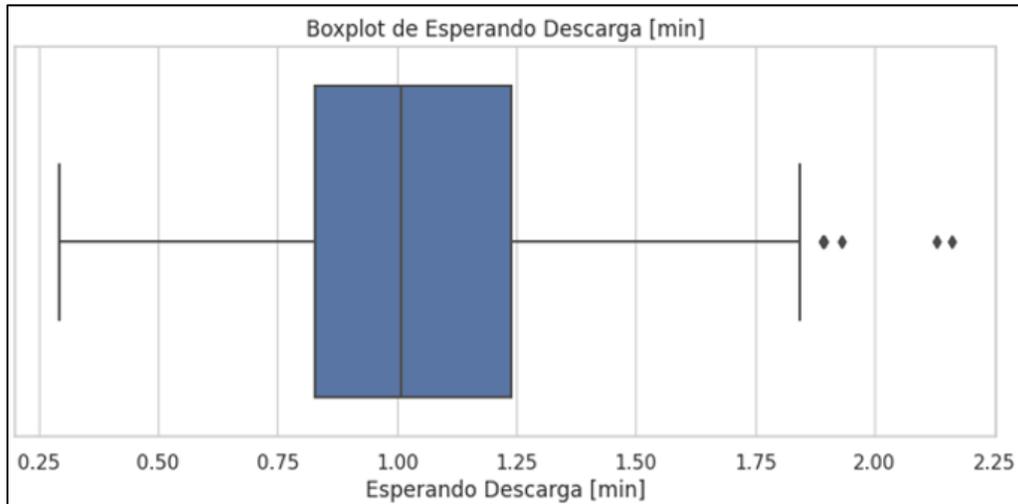


Gráfico 22 Gráfico de Boxplot Fuente: Elaboración propia

Se aprecia una distribución más equitativa a pesar de que la sigma es de 0,444.

Imagen 47: Extracción de datos en R

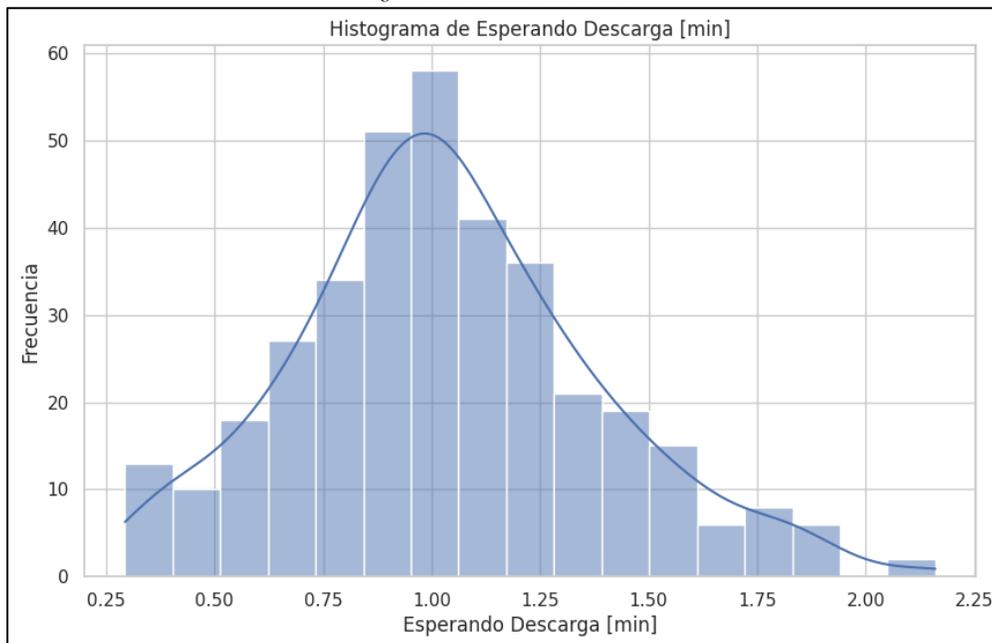


Gráfico 23 Gráfico de histograma. Fuente: Elaboración propia

.2.3.7 Descargando

Se determina descarga cuando el equipo de transporte llega a su destino y este comienza a descargar el material que fue cargado previamente. En el Pareto de descarga se nota claramente que el tiempo más elevado es el chancador primario.

```
Estadísticas de Descargando [min]:  
count      365.000000  
mean       1.190632  
std        0.168761  
min        0.872792  
25%       1.067359  
50%       1.158106  
75%       1.273385  
max        1.675296  
Name: Descargando [min], dtype: float64
```

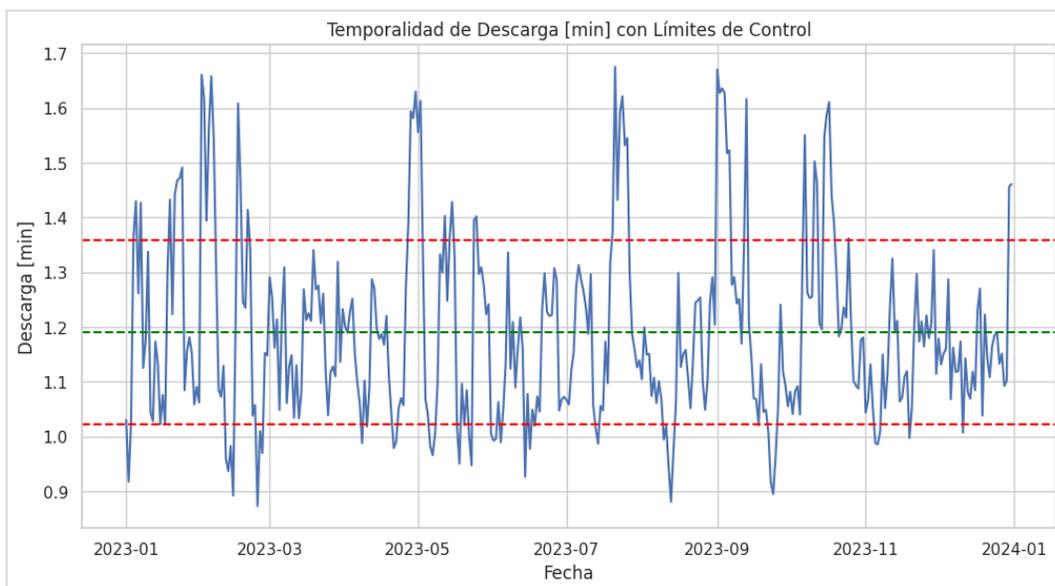


Gráfico 24 Gráfico de temporalidad con barra de control. Fuente: Elaboración propia

Para determinar el análisis y revisar la trazabilidad de la información, es que se usa el software de control estadístico ChartRunner, se ingresa los datos al software para determinar el control llevado por Jigsaw, donde se aprecia que no existe una coherencia en la normalización de los datos durante el año debido al descontrol que existe en la descarga en el chancador.

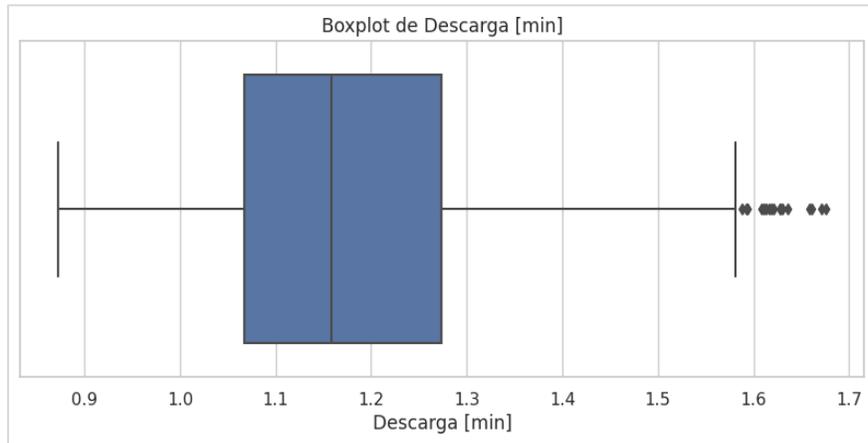


Gráfico 25 Gráfico de Boxplot . Fuente: Elaboración propia

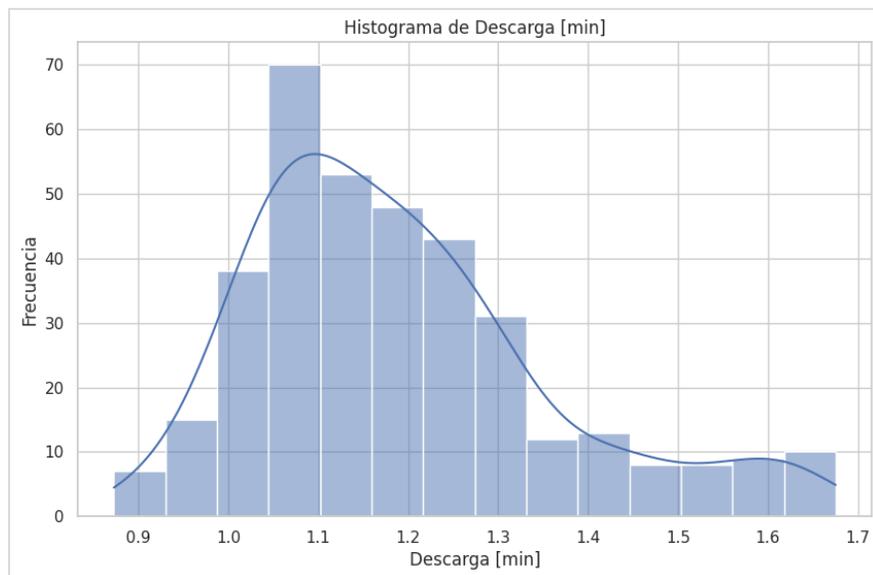


Gráfico 26 Gráfico de histograma. Fuente: Elaboración propia

.2.3.8 Tiempo de Viaje vacío

Se determina la cola en carguío es el lugar físico de un equipo de transporte que antecede a otro equipo de transporte antes de cargar. Según lo especificado en el marco teórico para usar la técnica basa en el Mach pala- camión, lo cual lo óptimo dentro de lo recomendado sería un minuto de espera por camión por un minuto de cola en carguío, para ser Mach. Según el análisis se puede determinar que el tiempo mayor ocupado para el viaje es el siguiente:

```
Estadísticas de Tiempo Viaje Vacío [min]:
count      365.000000
```

```

mean      6.989245
std       0.830630
min       4.852441
25%      6.384118
50%      6.921915
75%      7.459595
max       9.610886
Name: Tiempo Viaje Vacio [min], dtype: float64

```

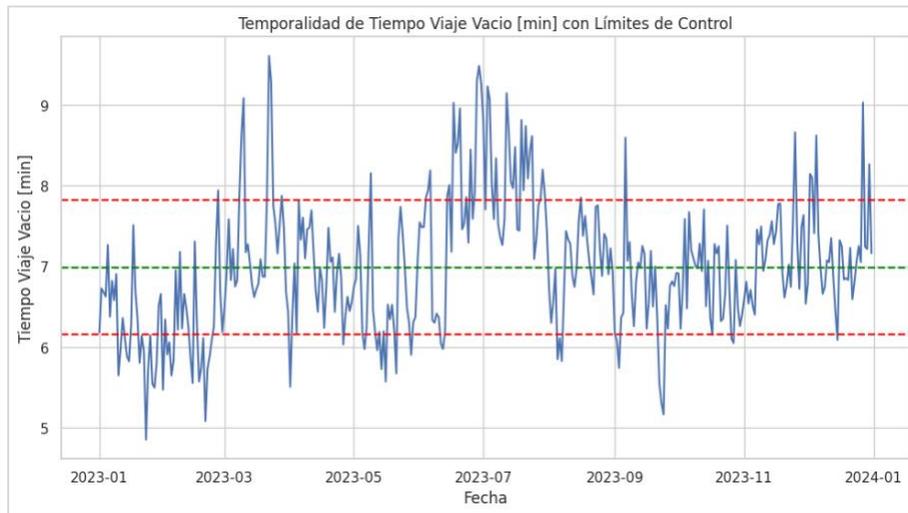


Gráfico 27 : Gráfico de temporalidad con barra de control. Fuente: Elaboración propia

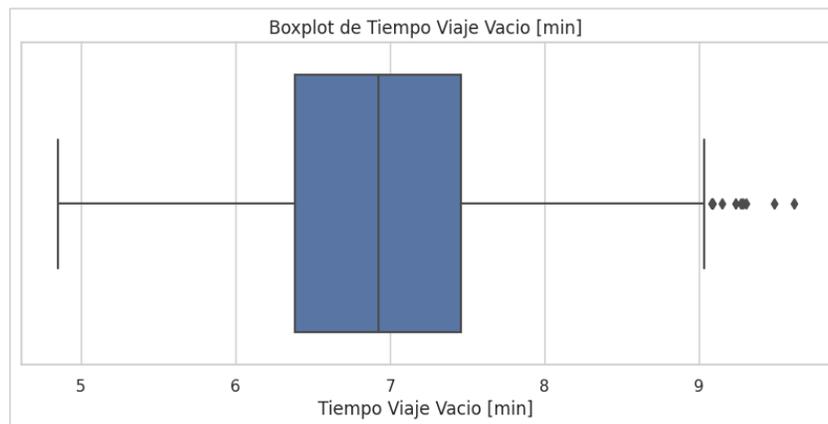


Gráfico 28 Gráfico de Boxplot . Fuente: Elaboración propia

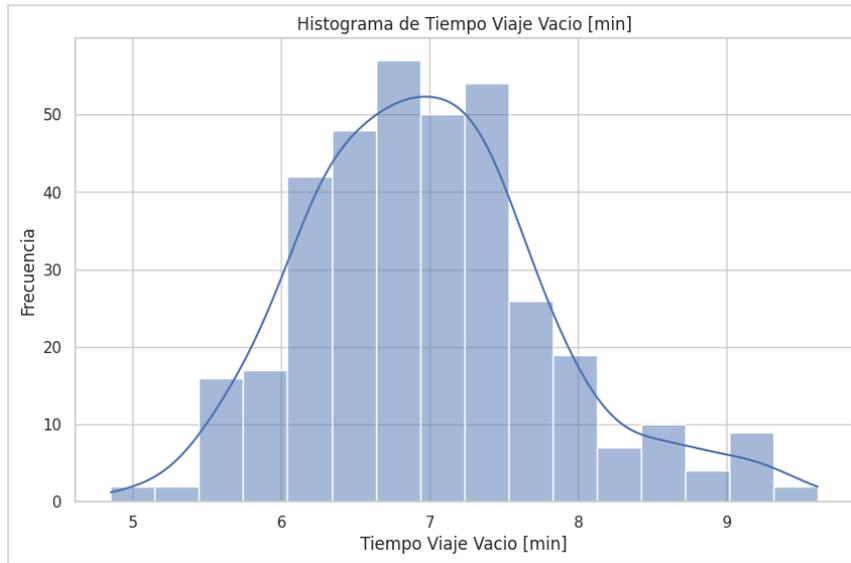


Gráfico 29 Gráfico de histograma. Fuente: Elaboración propia

El chacando es el lugar físico que mayor tiempo lleva en el ciclo del equipo de transporte, para el viaje vacío.

Para determinar el análisis y revisar la trazabilidad de la información, se usa el software de control estadístico ChartRunner, se ingresa los datos al software para determinar el control llevado por Jigsaw, donde se aprecia que no existe una coherencia en la normalización de los datos.

3.2.4 Procesos de normalización de datos en Python

Mediante el software Python, se logra normalizar los datos. Después del diseño de la consulta en SQL. Luego de haber diseñado la consulta, se procede a transformar la información o compilar la información en un archivo CSV, para la posterior carga del archivo en el software, para la manipulación de los datos, el archivo es cargado manualmente. Como se aprecia en la imagen, la dirección de carga del archivo CSV, con las 160.241 filas y más de un millón de datos.

```
1
2 import pandas as pd
3 import matplotlib.pyplot as plt
4 import seaborn as sns
5
6 # Cargar el archivo Excel
7 file_path = '/content/drive/MyDrive/Colab Notebooks/Indicadores.xlsx' # Modificar con la ruta correcta del archivo
8 data = pd.read_excel(file_path)
9
10 # Convertir la columna 'Descripción' a formato de fecha
11 data['Fecha'] = pd.to_datetime(data['Fecha'])
12
13 # Establecer el estilo de los gráficos
14 sns.set(style="whitegrid")
15
16 # Análisis completo para cada variable
17 for columna in data.columns[1:]:
18     # Gráfico de temporalidad con límites de control
19     plt.figure(figsize=(12, 6))
20     sns.lineplot(x=data['Fecha'], y=data[columna])
21     media = data[columna].mean()
22     desviacion = data[columna].std()
23     plt.axhline(media, color='green', linestyle='--')
24     plt.axhline(media - desviacion, color='red', linestyle='--')
25     plt.axhline(media + desviacion, color='red', linestyle='--')
26     plt.title(f'Temporalidad de {columna} con Límites de Control')
27     plt.xlabel('Fecha')
28     plt.ylabel(columna)
29     plt.show()
30
31     # Gráfico de boxplot
32     plt.figure(figsize=(10, 4))
33     sns.boxplot(x=data[columna])
34     plt.title(f'Boxplot de {columna}')
35     plt.xlabel(columna)
36     plt.show()
37
38     # Gráfico de histograma y análisis estadístico
39     plt.figure(figsize=(10, 6))
40     sns.histplot(data[columna], kde=True)
41     plt.title(f'Histograma de {columna}')
42     plt.xlabel(columna)
43     plt.ylabel('Frecuencia')
44
45     # Mostrar datos estadísticos
46     estadisticas = data[columna].describe()
47     print(f'Estadísticas de {columna}:\n{estadisticas}\n\n')
48     plt.show()
49
50
51
```

Ilustración 22 consola Python. Fuente: Elaboración propia

Mediante a la programación en Python se pueden determinar múltiples variables para las cuales trabajaremos más adelante.

| Ctor_Carga | Cola_Cargado | Acuatando | Cargado | Tiempo_Viaje_Cargado | Cola_Descarga | Acuatando_Descarga | Descargando | Tiempo_Viaje_Vacio | Tiempo_Ciclo | Distancia_Cargado | Distancia_Vacio |
|------------|--------------|-----------|----------|----------------------|---------------|--------------------|-------------|--------------------|--------------|-------------------|-----------------|
| 230 | 0.533333 | 0.000000 | 3.216666 | 4.933333 | 0.633333 | 0.000000 | 1.516666 | 4.233333 | 15.066666 | 1.219 | 1.211 |
| 230 | 4.166666 | 0.950000 | 4.866666 | 4.983333 | 1.733333 | 0.466666 | 1.133333 | 5.100000 | 23.400000 | 1.219 | 9.311 |
| 230 | 2.783333 | 0.000000 | 9.033333 | 25.300000 | 2.233333 | 0.000000 | 1.216666 | 7.916666 | 48.483333 | 6.808 | 7.386 |
| 230 | 0.050000 | 0.900000 | 5.350000 | 6.300000 | 0.566666 | 0.000000 | 1.483333 | 8.666666 | 23.316666 | 1.544 | 5.198 |
| 230 | 7.116666 | 0.000000 | 1.733333 | 8.433333 | 2.416666 | 0.750000 | 1.550000 | 3.833333 | 25.933333 | 1.544 | 0.000 |
| 230 | 1.666666 | 0.516666 | 4.283333 | 19.516666 | 0.000000 | 0.000000 | 1.100000 | 4.683333 | 31.766666 | 4.748 | 1.541 |
| 230 | 0.900000 | 0.000000 | 4.950000 | 18.616666 | 0.000000 | 0.000000 | 0.983333 | 15.266666 | 40.716666 | 4.748 | 4.741 |
| 230 | 0.183333 | 0.433333 | 3.766666 | 22.800000 | 0.000000 | 0.016666 | 1.066666 | 7.883333 | 35.950000 | 6.808 | 7.871 |
| 230 | 5.466666 | 0.000000 | 4.466666 | 22.500000 | 0.333333 | 0.000000 | 1.166666 | 25.400000 | 58.533333 | 6.808 | 8.071 |
| 230 | 9.150000 | 0.550000 | 3.883333 | 25.016666 | 0.000000 | 0.000000 | 1.116666 | 15.933333 | 55.450000 | 6.808 | 6.808 |
| 230 | 4.716666 | 0.350000 | 4.866666 | 26.866666 | 0.183333 | 0.483333 | 1.650000 | 16.200000 | 55.516666 | 6.986 | 1.211 |
| 230 | 6.183333 | 0.333333 | 4.850000 | 19.066666 | 0.866666 | 0.450000 | 1.100000 | 3.700000 | 36.550000 | 4.766 | 1.541 |
| 230 | 1.216666 | 0.400000 | 4.133333 | 17.933333 | 0.883333 | 0.350000 | 1.233333 | 12.883333 | 37.433333 | 4.766 | 4.761 |
| 230 | 0.800000 | 0.283333 | 3.516666 | 18.616666 | 0.000000 | 0.000000 | 1.200000 | 9.616666 | 34.033333 | 4.733 | 9.221 |
| 230 | 0.166666 | 0.350000 | 3.583333 | 17.283333 | 1.933333 | 0.633333 | 1.000000 | 3.750000 | 28.700000 | 4.662 | 1.541 |
| 230 | 5.666666 | 0.350000 | 4.050000 | 18.600000 | 0.000000 | 0.000000 | 1.133333 | 11.600000 | 41.400000 | 4.766 | 4.761 |
| 230 | 7.483333 | 0.350000 | 3.566666 | 17.100000 | 0.016666 | 0.286666 | 1.233333 | 3.833333 | 33.650000 | 4.662 | 1.541 |

Ilustración 23 Consola R-studio. Fuente: Elaboración propia

Después de filtrar los datos y volcarlos en R, es donde se para a generar la estadística que incluyan el tiempo de ciclo del transporte, los cuales son los relevantes para el estudio.

3.3 Examinación y Evaluación

El análisis detallado de los resultados obtenidos mediante las metodologías implementadas se basa en una evaluación rigurosa, siguiendo los criterios definidos en la sección de Metodología. Para modelar las velocidades de los camiones en operación, se han empleado datos precisos extraídos del sistema Jigsaw. Estos datos incluyen mediciones realizadas por sistemas de posicionamiento global, tanto GPS como GLONASS, complementadas con algoritmos específicos para calcular la velocidad de los equipos.

Una observación clave derivada de este análisis es la notable variación en las velocidades de los camiones, dependiendo de si están cargados o vacíos. Esta diferencia, identificada tras un minucioso análisis de los datos recopilados, sugiere que existen variaciones significativas en la velocidad que podrían estar relacionadas con interrupciones o ineficiencias en las rutas de transporte.

Esta constatación resalta la importancia crítica de una recolección y análisis precisos de la información. Comprender en profundidad estas variaciones de velocidad es esencial para evaluar el impacto real de distintos factores en la eficiencia del transporte. Además, este entendimiento permite optimizar las rutas y los tiempos de tránsito, lo cual es fundamental para mejorar la operatividad general y la rentabilidad del proceso de transporte en el ámbito minero.

En resumen, este análisis no solo proporciona insights valiosos sobre el comportamiento actual de los camiones en diferentes condiciones, sino que también ofrece una base sólida para futuras mejoras en la planificación y gestión del transporte minero.

3.3.1 Tiempos fijos

El análisis de desempeño de los equipos de transporte se centra en varios indicadores clave, identificados como cruciales en el estudio. Estos incluyen la velocidad promedio, el tiempo en cola durante el carguío y el tiempo empleado en descargar material en el destino. Estos indicadores, que fueron analizados detalladamente en el capítulo anterior, son fundamentales para nuestro enfoque.

En la gráfica subsiguiente, se presentan los tiempos fijos asociados con el ciclo de operación de los camiones. Estos tiempos incluyen el acuatamiento, tiempo en cola, cargando, esperando en descarga, acuatamiento en descarga y el tiempo de descarga. Estos factores tienen un impacto directo en el ciclo operativo del camión. Como objetivo, se establece que estos tiempos no deben superar los 10 minutos, alineándose con la estrategia operativa de cada compañía. Este límite se considera un indicador de eficiencia operacional.

La tabla adjunta demuestra que el tiempo de 'cola en carguío' influye significativamente en los tiempos fijos de los camiones. Es importante destacar que, aunque el tiempo que el camión permanece cargado es un indicador relevante, no es directamente controlable por la flota de camiones, ya que depende del tiempo que el equipo de carguío tarda en cargar un equipo de transporte.

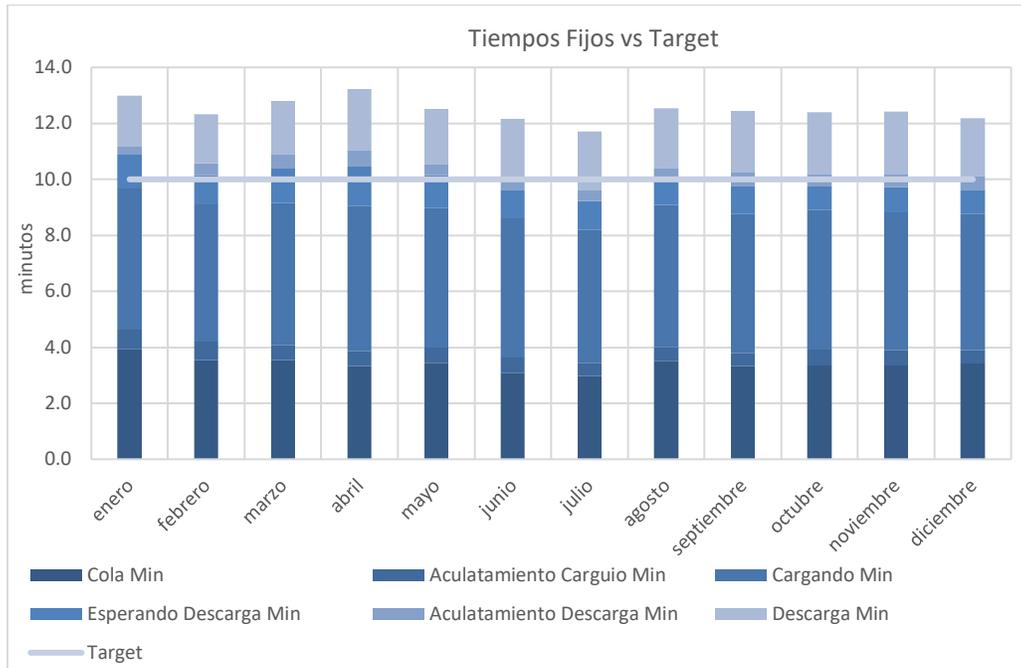


Gráfico 30 gráfico de barra tiempos fijos Fuente: Elaboración propia

En el siguiente gráfico se muestra claramente el desafío de poder lograr el objetivo esperado en los tiempos fijos de 10 minutos promedio.

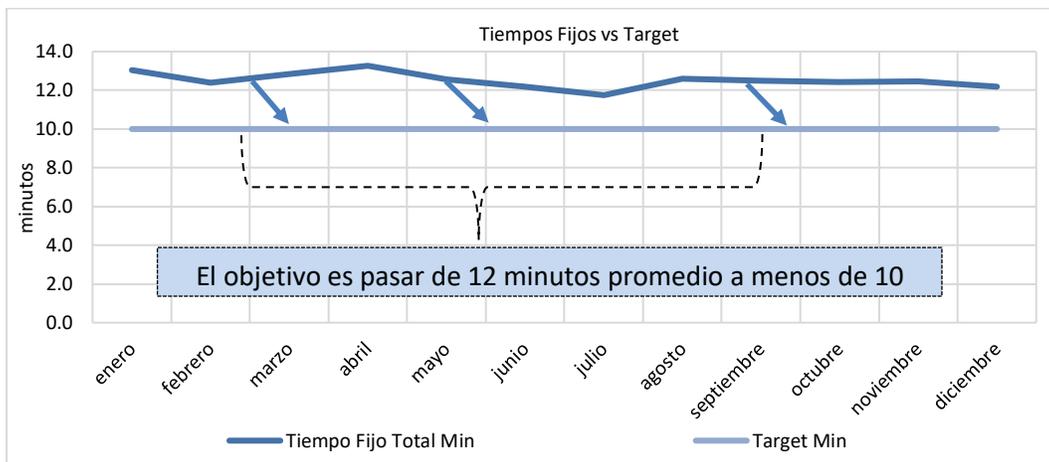


Gráfico 31 gráfico de barra tiempos fijos Fuente: Elaboración propia

3.3.2 Cola en carguío

La implementación de una cola de carguío al inicio de cada turno es una estrategia crucial para mantener la continuidad de las operaciones mineras. Esta práctica no solo sirve para evitar las colas en las palas, sino que también contribuye a la estabilidad y eficiencia del sistema. Al establecer una prioridad uniforme para las palas y conservar la Tasa de Excavación calculada por el sistema, se logra una distribución proporcional de los camiones que permite mantener un régimen operativo constante y eficiente.

Es fundamental reconocer que un exceso de camiones en la ruta puede resultar contraproducente, causando más daño que beneficio. Aunque a primera vista podría parecer que aumentar la cantidad de camiones mejoraría la eficiencia de la operación, en realidad provoca una aglomeración o 'trencito', generando retrasos y disminuyendo la productividad. Esta congestión no solo afecta el flujo de trabajo, sino que también incrementa el riesgo de accidentes y reduce la vida útil del equipo debido al desgaste adicional.

Por tanto, es esencial mantener un equilibrio en la cantidad de camiones en operación. La clave está en una planificación estratégica que permita la asignación óptima de recursos, evitando la saturación de las rutas y asegurando un flujo constante y eficiente de materiales. De esta manera, se maximiza la productividad mientras se minimizan los riesgos y se preserva la integridad de los equipos.

| | Cola | Acuatamiento carguío | Cargando | Esperando Descarga | Acuatamiento Descarga | Descarga |
|------------|------|----------------------|----------|--------------------|-----------------------|----------|
| meses | Min | Min | Min | Min | Min | Min |
| enero | 4,0 | 0,7 | 5,1 | 1,2 | 0,3 | 1,8 |
| febrero | 3,6 | 0,7 | 4,9 | 1,0 | 0,4 | 1,8 |
| marzo | 3,5 | 0,6 | 5,1 | 1,2 | 0,5 | 1,9 |
| abril | 3,3 | 0,6 | 5,2 | 1,4 | 0,6 | 2,2 |
| mayo | 3,5 | 0,5 | 5,0 | 1,2 | 0,4 | 2,0 |
| junio | 3,1 | 0,6 | 5,0 | 1,0 | 0,4 | 2,1 |
| julio | 3,0 | 0,5 | 4,8 | 1,0 | 0,4 | 2,1 |
| agosto | 3,5 | 0,5 | 5,1 | 0,9 | 0,4 | 2,1 |
| septiembre | 3,3 | 0,5 | 5,0 | 1,0 | 0,5 | 2,2 |
| octubre | 3,4 | 0,6 | 5,0 | 0,8 | 0,5 | 2,2 |
| noviembre | 3,4 | 0,6 | 4,9 | 0,9 | 0,5 | 2,2 |
| diciembre | 3,4 | 0,5 | 4,9 | 0,9 | 0,5 | 2,1 |

Tabla 5 Variables de tiempos fijos. Fuente: Elaboración propia

La meta es ir bajando paulatinamente este indicador, hasta llegar a lo óptimo según lo planteado en el marco teórico en el capítulo 2, punto 2.7 factor de acoplamiento

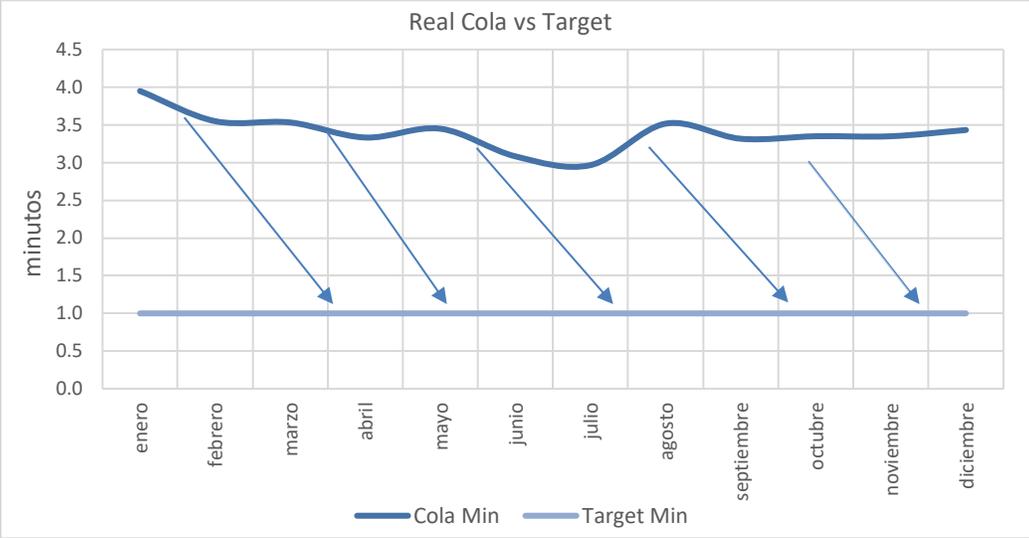


Gráfico 32 gráfico de barra tiempos fijos Fuente: Elaboración propia

Velocidad promedio

Según el presente estudio es que se ve interrumpido producto, de los continuos derramen en las vías, lo cuellos de botella que se generan en los puntos de caminos estrechos y la cantidad de señaléticas las cuales no generan un circuito fluido.

En la siguiente tabla se muestra las velocidades promedio durante el año completo.

| Indice | Velocidades vacío | Velocidades Cargado | Velocidades Promedio |
|------------|-------------------|---------------------|----------------------|
| Unidad | Km/Hrs | Km/Hrs | Km/Hrs |
| enero | 18,6 | 16,9 | 17,7 |
| febrero | 20,2 | 17,4 | 18,7 |
| marzo | 19,8 | 16,8 | 18,2 |
| abril | 21,0 | 16,1 | 18,3 |
| mayo | 20,5 | 15,8 | 18,0 |
| junio | 20,7 | 16,2 | 18,2 |
| julio | 21,2 | 15,9 | 18,2 |
| agosto | 20,8 | 15,6 | 17,9 |
| septiembre | 20,5 | 15,4 | 17,7 |
| octubre | 21,0 | 15,2 | 17,7 |
| noviembre | 21,5 | 15,2 | 17,9 |
| diciembre | 21,2 | 15,2 | 17,8 |

Tabla 6 velocidad vacío, cargado y promedio. Fuente: Elaboración propia

Graficando las velocidades se muestra la diferencia que existe entre el real y el objetivo.

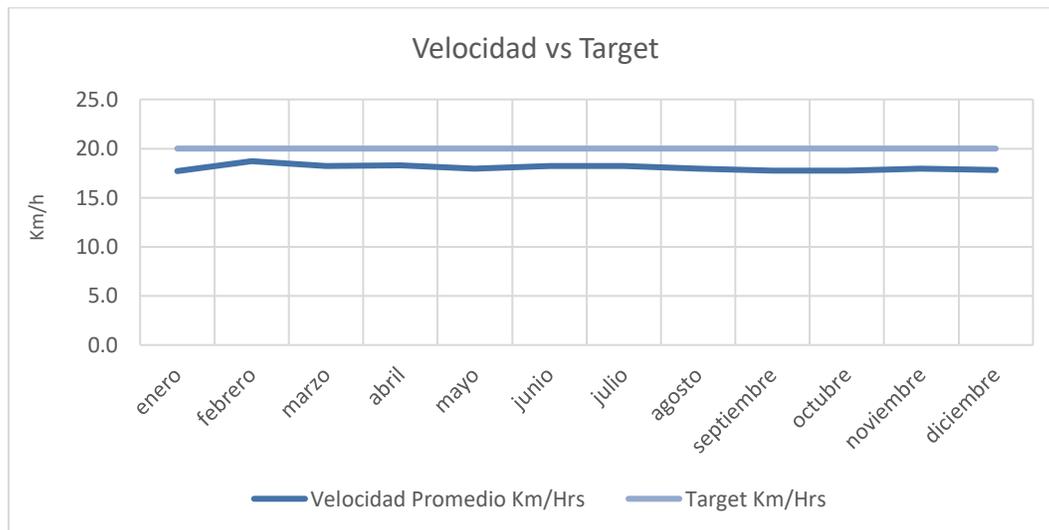


Gráfico 33 gráfico de velocidades Fuente: Elaboración propia

3.3.3 Descarga



Gráfico 34 gráfico descargando Fuente: Elaboración propia

3.4 Propuesta de implementación

El siguiente apartado consta de las propuestas de mejora asociadas a cada desafío que presenta la operación, separadas por área de trabajo. Además, se incluye una sección con los desafíos y necesidades que se presentan en el área de despacho de las cuales se tienen algunas relacionadas a las demás áreas.

En el siguiente recuadro se evidencia la evolución y propuesta para el logro del objetivo que es reducir el tiempo de ciclo de los camiones de extracción y escalar la velocidad promedio, por lo cual más adelante se detallaran labores que llevaran a buen puerto esta proposición.

3.4.1 Transporte

Para el transporte se tienen las siguientes oportunidades de mejora indicadas

- Exceso de equipos en cola de carguío
- Interferencia en caminos angostos
- Demoras por limpieza de caminos
- Desafíos en cantidad de derrames, rampa con pendientes sobre 10%
- Mala estiba o factor de carga excesivo
- Retraso en la maniobra de aculatamiento

3.4.1.1 Priorización de pala

Cola de carguío es por esto por lo que se propone realizar al inicio de turno y como una forma de “Mantener la continuidad de operación del turno saliente”, evitando así las colas en pala, es una buena práctica establecer la prioridad de palas uniryforme, conservando la Tasa de Excavación calculada por el sistema (distribución de camiones en forma proporcional a ésta), lo que mantendría un régimen de operación estable hasta que se normalice totalmente el sistema luego de la detención.

3.4.1.2 Exceso de camiones en el ciclo

Si se tiene un déficit de camiones disponibles es conveniente acortar las rutas de transporte de estéril, sobre la base del desarrollo de botaderos, o bien conservar destinos, pero dejar en reserva la(s) pala(s) de menor prioridad (estéril), por el contrario, si se tiene un déficit de palas disponibles es conveniente alargar las rutas de acarreo de estéril o bien poner en reserva los camiones necesarios para estabilizar el sistema.

3.4.1.3 Plataformas de relevos

Se hace necesario poder coordinar correctamente el cambio de turno, generando plataforma de relevos las cuales se podrá optimizar el proceso de cambio de turno, con esto se logra reducir que los equipos lleguen en forma agrupada a los equipos de carguío al inicio de cada turno.

3.4.1.4 Entrega de frente de carguío

Otra medida a tomar plan de mejora en la entrega de frente de carguío entre los operadores de los equipos de apoyo y equipo de carguío, esta medida necesaria puesto que ayudará a reducir los tiempos de colas de los equipos de transporte en las palas.

3.4.1.5 Carguío por ambos lados

Una zona de carguío por ambos lados permite disminuir el tiempo que los camiones permanecen en la zona de carga, disminuyendo o evitando acomodados o movimientos improvisados por falta de material (en el corte), durante el carguío, por lo que se recomienda, siempre que sea posible, mantener cargando las palas por ambos lados especialmente los equipos de mayor dimensión de manera de aprovechar al máximo su capacidad y alto rendimiento.

3.4.1.6 Caminos angostos

El diseño de los caminos, sobre todo los angostos se debe analizar con el área de planificación corto plazo. Se debe realizar un estudio de los tiempos que toman los CAEX en este tipo de espera, y evaluar cuanto es el beneficio si no se tuvieran. De esa manera se puede desarrollar un diseño acorde con los requerimientos y avance de la mina de acuerdo con los recursos a largo plazo.

3.4.1.7 Limpieza de caminos

El tema de derrame de las rampas de salida de las frentes puede solucionarse de varias maneras dependiendo de la causa que esté generando este inconveniente. En el caso que sea la pendiente muy elevada de las rampas, se debería estudiar y analizar la factibilidad de disminuir la pendiente a una tal que no haya derrames por los camiones. Otro factor para considerar es la estiba del operador de pala, es decir, que el material quede colmado sobre la tolva del camión de tal manera que no haya derrames y no sobrecargue a los camiones (factor de carga). Y el tercer factor es el movimiento del camión, es decir, que el operador de camión no realice movimientos en el traslado de material el cual pueda existir derrames, sobre todo en las pendientes y curvas, lo que tiene por consecuencias en la disminución de velocidad promedio de los camiones de extracción.

3.4.1.8 Capacitación a operadores de carguío

También se debe capacitar a los operadores de las palas, ya que un 35% de la carga no está centrada, lo que provoca desgaste prematuro de los neumáticos y derrames en los caminos los cual genera el llamado camiones.

3.4.1.9 Sobre carga de los equipos

Como se vio en el estudio de factor de carga, se debe tener cuidado con sobrecargar los equipos, puesto que además de provocar derrames, en pendientes pronunciadas puede existir un descontrol del equipo y también las consecuencias de componentes dañados por esta mala práctica.

3.4.1.10 Maniobra de aculatamiento

De acuerdo con la diferencia de la maniobra de aculatamiento, se recomienda hacer una capacitación a los operadores de camiones de extracción de forma estándar pueden realizar esta maniobra en los equipos de carguío. De esta manera se tendrá de forma uniforme los tiempos de ciclo de los CAEX de acuerdo con la optimización y eficiencia esperada. Se pueden realizar charlas al inicio de cada turno para reforzar la correcta forma de aculatamiento. Reforzar este procedimiento de aculatamiento realizando un tríptico con los pasos a seguir para el correcto desarrollo de esta maniobra. Es necesario realizar una marcha blanca y seguimiento de las acciones para que exista una buena administración del cambio.

3.4.2 Área de control y gestión mina

Otra recomendación relacionada a la propuesta anterior es contar con una plataforma de reportabilidad que entregue la información en tiempo real y que sea móvil, una de las herramientas que cumple a cabalidad con esos requerimientos son Reporting service y Power bi, son herramientas de Microsoft que no generarían un impacto económico mayor la razón es que la compañía tiene contrato con esta empresa para la utilización y desarrollo y uso de tecnologías Microsoft.

3.4.2.1 Control estadístico

Una herramienta que serviría para esta propuesta es el uso de Minitab, la cual es eficiente y rápida para el análisis de los datos, lo que permitiría poder revisar a través de histograma la desviación estándar y otros, también permite un gráfico de control a través de los años, días y meses.

3.4.2.2 Gestión de información

Reporting services, es una herramienta que sirve para clasificar y estandarizar la información, porque permite ingresar en su sistema query y procedimientos almacenados, para luego proyectarlos gráficamente, a través de su sistema de descarga lo cual se puede usar como reportes he informes en PDF, Excel, Word.

3.4.2.3 Proyección de reportes en tiempo real

Power BI, es una herramienta de análisis de datos y estadísticos es una herramienta muy completa la cual permite que los usuarios puedan consumir los datos en las diferentes plataformas como Tablet, Smartphone y PC. Lo que da a esta herramienta una versatilidad para la compañía en la toma de decisiones.

3.4.2.4 Capacitación a personal despacho

Otro punto para mejorar o a implementar es la capacitación del ingeniero de despacho, la idea es que genere un aporte al sistema a través de las múltiples decisiones que enfrenta día a día, es por esto que se hace necesario esta capacitación donde el involucramiento de ingeniero sea en forma completa, fortaleciendo las competencias de comunicación especialmente con los operadores de carguío y el jefe de turno, es importante destacar es un puesto clave en la organización, el cual puede generar ganancias como perdidas operacionales indeseables en cada una de la toma de decisiones.

3.5 Resultados

En base a las observaciones actuales del transporte en las secciones 3.1, 3.2, 3.3 y 3.4, se decide resumir los datos fundamentales e importantes para gestionar y generar propuestas de mejora para esta operación unitaria. Algunos de estos datos se obtienen directamente del sistema Jigsaw. Después de un análisis minucioso de la información disponible, se identifican los puntos clave que son necesarios para desarrollar y alcanzar los resultados esperados.

Tabla de horas efectivas

| Sección | Hallazgo | Detalle |
|---------|-------------------------------------|--|
| 3.1 | Horas Efectivas | Clasificación de indicadores para identificar el de mayor impacto en la operación por el volumen de maquinarias. |
| | Petróleo | Análisis del consumo de petróleo como factor gravitante en la operación. |
| 3.2 | Uso de las herramientas de análisis | Evaluación de los tiempos que inciden en las horas efectivas y el consumo de combustible de camiones. |
| | Tiempos de ciclos | Análisis de los tiempos de ciclo de los camiones y su impacto en el indicador general. |
| 3.3 | Cola en carguío | Identificación de la cola en carguío como un indicador crítico por su alto impacto en el ciclo de carguío. |
| | Velocidad media | Estudio de la velocidad media como reflejo de la fluidez del circuito y su impacto en la secuencia del ciclo. |
| | Descarga | Evaluación del impacto de la descarga en el ciclo del equipo, ya sea positivo o negativo. |
| 3.4 | Propuesta en transporte | Conclusiones y recomendaciones para mejorar los tiempos de ciclo de los camiones. |
| | Propuesta en área de gestión | Estrategias dirigidas a optimizar la toma de decisiones en la gerencia minera. |
| | Planificación de actividad | Diseño de un plan para el cumplimiento mensual de objetivos y mejoras propuestas. |

Tabla 7 de desarrollo de resultados. Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO IV: CONCLUSION

4.1 Conclusión

Este trabajo de título se desarrolla con éxito en tiempo presente, gracias a la colaboración activa de la organización, que proporciona los antecedentes esenciales para lograr el objetivo primordial: la reducción del tiempo de ciclo en la flota de transporte. A pesar de los desafíos significativos que surgen, se abordan de manera efectiva y con estrategias adecuadas.

Actualmente, se cumple el objetivo de determinar la situación actual del área en estudio. Se ha identificado con éxito el indicador de gestión y costo más relevante. Aunque el indicador de gestión satisface las necesidades del estudio, es imprescindible estandarizar la información del indicador de valor para su correcta identificación y evaluación.

Respecto al siguiente objetivo, la selección de una alternativa de mejora está en camino de alcanzarse plenamente. Los análisis preliminares facilitan la elección de la mejor alternativa para la reducción del tiempo de ciclo, incidiendo directamente en la eficiencia del consumo de combustible. No obstante, se enfrenta el reto de la demora en el acceso a la información, lo cual motiva la creación de una plataforma para estandarizar y analizar los datos de forma eficiente. Además, es crucial desarrollar un procedimiento almacenado para la recolección y purificación de datos, minimizando los errores operativos y facilitando la comparación interdepartamental de parámetros.

4.2 Recomendaciones

Actualmente, se identifican retos significativos a nivel humano y de gestión que son cruciales para el progreso de la empresa. Mejorar la organización y fortalecer el compromiso entre las distintas áreas, optimizando la reportabilidad y el seguimiento de los diversos procesos, es esencial para el éxito del negocio. Resulta imperativo obtener información detallada sobre las necesidades específicas de cada área para promover la eficacia y productividad en todos los equipos de trabajo.

En el presente, se subraya la importancia del monitoreo exhaustivo de la estiba y el factor de carga de los camiones, así como de la inclinación de las rampas de acceso. Se observa que la frecuencia con la que ocurren derrames en las rutas y el tiempo invertido en su limpieza son considerables. Estos incidentes generan retrasos no planificados que influyen negativamente en la eficiencia operativa de palas y camiones, incrementando los costos operativos de la compañía. Por lo tanto, es crítico atender estos factores para mejorar el rendimiento y disminuir los gastos operacionales.

En resumen, la implementación de estas recomendaciones no solo responde a los desafíos operativos y de gestión identificados, sino que también propiciaría mejoras significativas en la eficiencia y rentabilidad de la operación minera.

La comprensión de las vulnerabilidades o deficiencias en los procesos, revelada por el análisis secuencial de los indicadores que sustentan las operaciones en términos de productividad y costos, ha permitido que este trabajo enfoque y dirija la atención hacia el control de estos indicadores críticos. La consulta y utilización de las herramientas tecnológicas que contribuyen a este estudio han posibilitado la estandarización y normalización de las operaciones en términos de tiempos de ciclo, presentando así un avance significativo en la optimización de los procesos mineros.

Bibliografía

1. Jigsaw, Inc. (2018). *Informe Especificación Funcional Nuevo*. Santiago, Chile.
2. Superintendencia de Operaciones Mina. (n.d.). *Directriz para Reportabilidad de Tiempos e Índices Equipos Mineros Antofagasta Minerals*. Antofagasta, Chile.
3. Sistemas y Despacho, Superintendencia de Operaciones Mina, Antofagasta Minerals. (2016). *Nuevo Modelo Operacional*. Santiago de Chile.
4. Jigsaw, Inc. (2007). *Curso Control de Flota*. Santiago, Chile.
5. Jigsaw, Inc. (2010a). *Curso Avanzado de Administración*. Santiago, Chile.
6. Jigsaw, Inc. (2010b). *Curso Avanzado de Administración SQL y Reportes*. Santiago, Chile.
7. Eyquem, C. (2015, mayo 28). *Dispatch final* [Presentación de Slideshare]. <https://es.slideshare.net/carloseyquem/dispatch-final>
8. Lagos, E. A. (2007). *Gestión Operativa del Sistema de Despacho: Estudio Técnico y Económico* (Tesis de Ingeniería Civil de Minas). Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Departamento de Ingeniería de Minas.
9. Motion Metrics. (2015, julio 29). *Extending Machine Senses: Shovel Solutions, ShovelMetrics*. <http://www.motionmetrics.com/shovels/>
10. Antofagasta Minerals. (n.d.). *Data Técnica Histórica Performance Flota Transporte Komatsu 830-E El Antucoya* [Información interna no pública].

ANEXO A Indicadores mina

| Indicadores Operacionales | | enero | febrero | marzo | abril | mayo | junio | julio | agosto | septiembre | octubre | noviembre | diciembre | enero | febrero | marzo | abril | mayo | |
|------------------------------|---------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--|
| Velocidad Vacio | Km/Hrs | 18,6 | 20,2 | 19,8 | 21,0 | 20,5 | 20,7 | 21,2 | 20,8 | 20,5 | 21,0 | 21,5 | 21,2 | 20,1 | 19,1 | 21,1 | 23,5 | 24,0 | |
| Velocidad Cargado | Km/Hrs | 16,9 | 17,4 | 16,8 | 16,1 | 15,8 | 16,2 | 15,9 | 15,6 | 15,4 | 15,2 | 15,2 | 15,2 | 14,9 | 13,7 | 14,8 | 16,0 | 16,4 | |
| Velocidad Promedio | Km/Hrs | 17,7 | 18,7 | 18,2 | 18,3 | 18,0 | 18,2 | 18,2 | 17,9 | 17,7 | 17,7 | 17,9 | 17,8 | 17,2 | 16,0 | 17,5 | 19,0 | 19,5 | |
| Tiempos Fijos | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Esperando Cargado | Min | 4,0 | 3,6 | 3,5 | 3,3 | 3,5 | 3,1 | 3,0 | 3,5 | 3,3 | 3,4 | 3,4 | 3,4 | 3,0 | 2,9 | 3,1 | 3,2 | 3,6 | |
| Acuitamiento Cargado | Min | 0,7 | 0,7 | 0,6 | 0,6 | 0,5 | 0,6 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,6 | 0,6 | 0,5 | 0,4 | 0,4 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | |
| Cargado | Min | 5,1 | 4,9 | 5,1 | 5,2 | 5,0 | 5,0 | 4,8 | 5,1 | 5,0 | 5,0 | 4,9 | 4,9 | 4,6 | 4,4 | 4,4 | 4,3 | 4,2 | |
| Esperando Descarga | Min | 1,2 | 1,0 | 1,2 | 1,4 | 1,2 | 1,0 | 1,0 | 0,9 | 1,0 | 0,8 | 0,9 | 0,9 | 0,8 | 0,8 | 1,0 | 0,9 | 1,0 | |
| Acuitamiento Descarga | Min | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,4 | 0,4 | 0,5 | 0,4 | |
| Descarga | Min | 1,8 | 1,8 | 1,9 | 2,2 | 2,0 | 2,1 | 2,1 | 2,1 | 2,2 | 2,2 | 2,2 | 2,2 | 2,1 | 2,0 | 1,9 | 2,3 | 2,5 | |
| Tiempo Fijo Total | Min | 13,0 | 12,4 | 12,8 | 13,3 | 12,6 | 12,2 | 11,8 | 12,6 | 12,5 | 12,4 | 12,5 | 12,2 | 11,3 | 10,8 | 11,7 | 11,8 | 12,2 | |
| Tiempo de Viaje | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Tiempo Viaje Vacio | Min | 9,0 | 9,1 | 9,7 | 10,0 | 9,8 | 8,5 | 8,8 | 8,9 | 9,0 | 8,5 | 9,6 | 9,3 | 9,2 | 10,4 | 11,2 | 12,0 | 12,5 | |
| Tiempo Viaje Cargado | Min | 9,3 | 9,9 | 10,7 | 12,4 | 11,7 | 10,3 | 11,4 | 11,0 | 11,1 | 10,9 | 12,7 | 11,9 | 11,6 | 13,8 | 15,2 | 17,3 | 17,8 | |
| Tiempo Viaje Total | Min | 31,3 | 31,3 | 33,2 | 35,7 | 34,1 | 31,0 | 32,0 | 32,5 | 32,5 | 31,8 | 34,8 | 33,4 | 32,1 | 35,0 | 38,1 | 41,1 | 42,5 | |
| Time Model | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Tiempo Total | Hrs | 14.062 | 11.850 | 14.001 | 12.992 | 13.965 | 12.693 | 14.005 | 14.477 | 12.831 | 13.335 | 13.254 | 14.807 | 14.751 | 13.850 | 12.221 | 10.541 | 11.406 | |
| Tiempo Disponible | Hrs | 12.225 | 10.518 | 12.171 | 10.760 | 12.696 | 11.223 | 12.228 | 12.836 | 11.553 | 11.628 | 11.714 | 12.950 | 13.287 | 11.563 | 10.399 | 9.147 | 9.469 | |
| Tiempo Operativo | Hrs | 8.362 | 7.340 | 8.075 | 7.833 | 8.138 | 7.152 | 8.003 | 8.677 | 7.538 | 6.804 | 7.606 | 8.143 | 7.646 | 8.172 | 7.998 | 6.228 | 7.082 | |
| Tiempo Fuera de Servicio | Hrs | 1.837 | 1.332 | 1.830 | 2.233 | 1.269 | 1.470 | 1.777 | 1.641 | 1.278 | 1.708 | 1.540 | 1.857 | 1.464 | 2.287 | 1.822 | 1.394 | 1.937 | |
| Categorías Time Model | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Tiempo Efectivo | Hrs | 8.244 | 7.236 | 7.964 | 7.710 | 7.988 | 7.016 | 7.864 | 8.527 | 7.394 | 6.668 | 7.476 | 7.994 | 7.491 | 8.016 | 7.848 | 6.104 | 6.851 | |
| Tiempo No Productivo | Hrs | 118 | 104 | 111 | 123 | 151 | 136 | 139 | 151 | 144 | 136 | 130 | 148 | 155 | 156 | 150 | 125 | 131 | |
| Tiempo Demoras | Hrs | 2.879 | 2.506 | 2.885 | 1.914 | 3.409 | 3.516 | 3.665 | 3.044 | 2.698 | 3.522 | 2.997 | 3.831 | 4.216 | 2.632 | 1.759 | 2.319 | 2.005 | |
| Tiempo Reservas | Hrs | 0 | 0 | 1 | 2 | 0 | 0 | 24 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0 | 7 | 0 | 0 | 2 | 4 | |
| Tiempo Consecuencial | Hrs | 984 | 671 | 1.210 | 1.010 | 1.148 | 554 | 535 | 1.115 | 1.318 | 1.301 | 1.107 | 976 | 1.418 | 759 | 642 | 598 | 378 | |
| Tiempo Mant Programadas | Hrs | 866 | 897 | 977 | 1.319 | 889 | 1.048 | 899 | 1.105 | 892 | 1.138 | 977 | 1.197 | 917 | 851 | 883 | 954 | 908 | |
| Tiempo Mant No Programadas | Hrs | 658 | 355 | 726 | 714 | 226 | 370 | 665 | 323 | 263 | 404 | 460 | 417 | 473 | 1.238 | 804 | 332 | 771 | |
| Tiempo Det Operacionales | Hrs | 312 | 81 | 128 | 200 | 154 | 52 | 213 | 213 | 123 | 166 | 103 | 242 | 73 | 178 | 135 | 109 | 238 | |
| Tiempo No Programado | Hrs | 2.306 | 2.934 | 2.367 | 1.762 | 1.915 | 1.707 | 1.067 | 1.147 | 2.268 | 2.108 | 1.146 | 73 | 292 | 766 | 4.532 | 5.910 | 4.962 | |

Tabla 8 Indicadores mina. Fuente: reportabilidad de jigsaw

ANEXO B movimientos mina

| Año | Mes_Numero | Mes_Nombre | Equipo | Material | Disponible | Disponible_Clima | Total | Operativo | Efectivo | |
|------|------------|------------|---------|----------|------------|------------------|-------|-----------|----------|-----|
| 2019 | 1 | Enero | PALPC05 | RELLENO | 174 | | 174 | 231 | 132 | 78 |
| 2019 | 1 | Enero | PALPC06 | RELLENO | 118 | | 118 | 123 | 88 | 60 |
| 2019 | 2 | Febrero | PALPC05 | RELLENO | 38 | | 38 | 39 | 30 | 28 |
| 2019 | 2 | Febrero | PALPC06 | RELLENO | 55 | | 55 | 60 | 41 | 24 |
| 2019 | 3 | Marzo | PALPC06 | ROCA | 518 | | 527 | 723 | 373 | 338 |
| 2019 | 4 | Abril | PALPC03 | ROCA | 580 | | 647 | 655 | 455 | 433 |
| 2019 | 5 | Mayo | PALPC03 | RELLENO | 25 | | 25 | 25 | 20 | 20 |
| 2019 | 7 | Julio | PALPC03 | ROCA | 578 | | 623 | 613 | 402 | 395 |
| 2019 | 8 | Agosto | PALPC03 | ROCA | 526 | | 545 | 691 | 382 | 363 |
| 2019 | 10 | Octubre | PALPC05 | RELLENO | 4 | | 4 | 5 | 4 | 3 |
| 2019 | 10 | Octubre | PALPC06 | RELLENO | 95 | | 98 | 102 | 14 | 13 |
| 2019 | 11 | Noviembre | PALPC05 | RELLENO | 4 | | 4 | 4 | 1 | 1 |
| 2019 | 11 | Noviembre | PALPC06 | RELLENO | 200 | | 220 | 232 | 66 | 35 |
| 2019 | 12 | Diciembre | PALPC03 | RELLENO | 98 | | 101 | 102 | 74 | 72 |
| 2019 | 12 | Diciembre | PALPC03 | ROCA | 539 | | 540 | 637 | 387 | 374 |
| 2020 | 1 | Enero | PALPC05 | RELLENO | 13 | | 13 | 21 | 9 | 8 |
| 2020 | 1 | Enero | PALPC06 | RELLENO | 435 | | 445 | 526 | 272 | 181 |
| 2020 | 2 | Febrero | PALPC05 | RELLENO | 7 | | 7 | 7 | 3 | 2 |
| 2020 | 2 | Febrero | PALPC06 | RELLENO | 255 | | 258 | 299 | 160 | 78 |
| 2020 | 3 | Marzo | PALPC05 | RELLENO | | | | | | |
| 2020 | 3 | Marzo | PALPC05 | ROCA | 385 | | 711 | 418 | 298 | 256 |
| 2020 | 3 | Marzo | PALPC06 | RELLENO | 165 | | 191 | 235 | 129 | 62 |
| 2020 | 3 | Marzo | PALPC06 | ROCA | 343 | | 380 | 447 | 223 | 183 |
| 2020 | 4 | Abril | PALPC03 | ROCA | 300 | | 331 | 425 | 233 | 218 |
| 2019 | 1 | Enero | PALPC03 | RELLENO | 119 | | 119 | 157 | 82 | 77 |
| 2019 | 2 | Febrero | PALPC03 | RELLENO | 162 | | 165 | 165 | 132 | 125 |
| 2019 | 3 | Marzo | PALPC05 | ROCA | 524 | | 529 | 659 | 380 | 333 |
| 2019 | 4 | Abril | PALPC03 | RELLENO | | | | | | |
| 2019 | 5 | Mayo | PALPC03 | ROCA | 411 | | 456 | 674 | 249 | 230 |
| 2019 | 6 | Junio | PALPC03 | ROCA | 451 | | 539 | 622 | 331 | 310 |
| 2019 | 7 | Julio | PALPC03 | RELLENO | 85 | | 85 | 86 | 62 | 60 |
| 2019 | 7 | Julio | PALPC05 | ROCA | 381 | | 408 | 543 | 268 | 140 |
| 2019 | 7 | Julio | PALPC06 | ROCA | 561 | | 607 | 605 | 364 | 287 |
| 2019 | 8 | Agosto | PALPC05 | ROCA | 441 | | 447 | 709 | 333 | 190 |
| 2019 | 8 | Agosto | PALPC06 | ROCA | 453 | | 468 | 549 | 321 | 262 |
| 2019 | 9 | Septiembre | PALPC06 | ROCA | 389 | | 418 | 416 | 235 | 174 |
| 2019 | 10 | Octubre | PALPC03 | RELLENO | 64 | | 66 | 75 | 35 | 30 |
| 2019 | 12 | Diciembre | PALPC06 | RELLENO | 73 | | 73 | 113 | 46 | 25 |
| 2020 | 1 | Enero | PALPC05 | ROCA | 489 | | 498 | 713 | 350 | 310 |
| 2020 | 1 | Enero | PALPC06 | ROCA | 189 | | 189 | 208 | 101 | 19 |
| 2020 | 2 | Febrero | PALPC05 | ROCA | 505 | | 505 | 689 | 373 | 341 |
| 2020 | 2 | Febrero | PALPC06 | ROCA | 373 | | 373 | 394 | 234 | 76 |
| 2020 | 4 | Abril | PALPC06 | RELLENO | 89 | | 101 | 102 | 47 | 25 |
| 2020 | 5 | Mayo | PALPC03 | RELLENO | 391 | | 429 | 467 | 318 | 300 |
| 2019 | 1 | Enero | PALPC03 | ROCA | 526 | | 526 | 586 | 440 | 422 |
| 2019 | 2 | Febrero | PALPC03 | ROCA | 387 | | 401 | 491 | 313 | 296 |
| 2019 | 3 | Marzo | PALPC03 | RELLENO | 42 | | 42 | 42 | 35 | 34 |
| 2019 | 3 | Marzo | PALPC03 | ROCA | 444 | | 451 | 695 | 332 | 315 |
| 2019 | 4 | Abril | PALPC05 | RELLENO | 5 | | 5 | 5 | 4 | 4 |
| 2019 | 4 | Abril | PALPC06 | RELLENO | 1 | | 1 | 4 | 0 | 0 |
| 2019 | 5 | Mayo | PALPC05 | RELLENO | 66 | | 66 | 67 | 50 | 41 |
| 2019 | 5 | Mayo | PALPC05 | ROCA | 527 | | 592 | 611 | 395 | 297 |
| 2019 | 5 | Mayo | PALPC06 | RELLENO | 11 | | 24 | 11 | 8 | 8 |
| 2019 | 5 | Mayo | PALPC06 | ROCA | 489 | | 515 | 694 | 382 | 279 |
| 2019 | 6 | Junio | PALPC05 | RELLENO | 70 | | 79 | 73 | 55 | 47 |
| 2019 | 6 | Junio | PALPC05 | ROCA | 448 | | 524 | 562 | 334 | 236 |
| 2019 | 6 | Junio | PALPC06 | RELLENO | 63 | | 78 | 127 | 42 | 37 |
| 2019 | 8 | Agosto | PALPC05 | RELLENO | 26 | | 26 | 29 | 20 | 15 |
| 2019 | 8 | Agosto | PALPC06 | RELLENO | 147 | | 161 | 167 | 99 | 78 |
| 2019 | 9 | Septiembre | PALPC03 | RELLENO | 227 | | 245 | 289 | 169 | 159 |
| 2019 | 9 | Septiembre | PALPC05 | ROCA | 411 | | 458 | 453 | 261 | 225 |
| 2019 | 10 | Octubre | PALPC03 | ROCA | 422 | | 559 | 529 | 269 | 253 |
| 2019 | 11 | Noviembre | PALPC03 | RELLENO | 20 | | 20 | 22 | 12 | 11 |

Tabla 9 Movimientos mina. Fuente: reportabilidad de jigsaw

ANEXO C Árbol de valor de indicadores mina

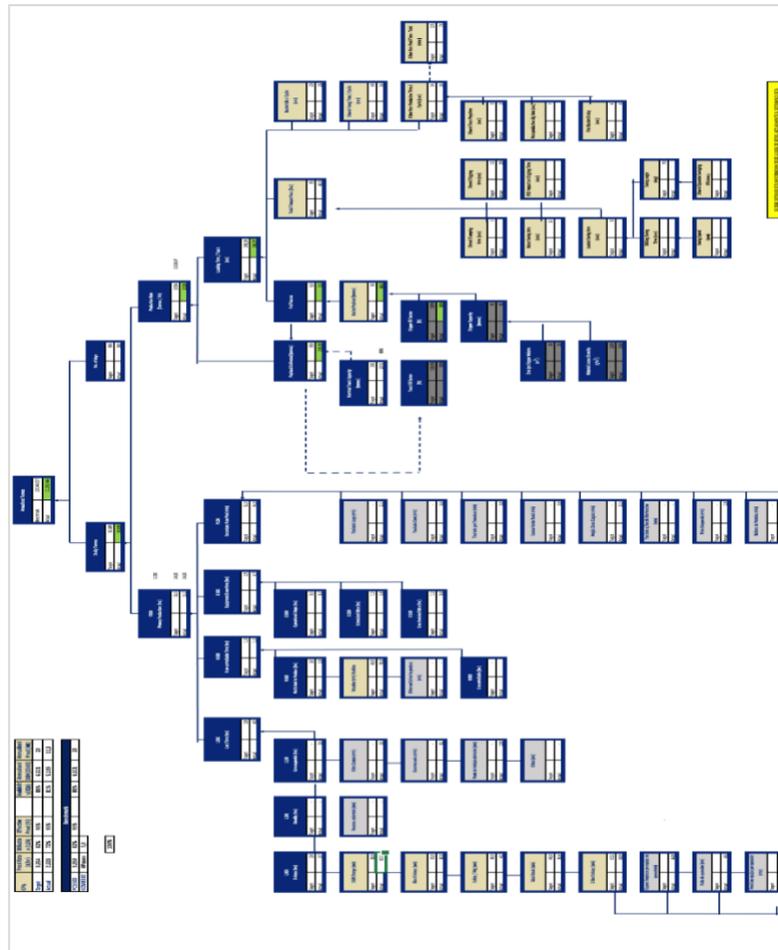


Tabla 10 árbol de valor. Fuente: modelos usados por reportes mina