



DEPARTAMENTO DE
INGENIERIA COMERCIAL
UNIVERSIDAD TECNICA
FEDERICO SANTA MARIA

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERIO SANTA MARÍA

Departamento de Ingeniería Comercial

MBA, Magíster en Gestión Empresarial

**MODELO DE DESEMPEÑO OPERACIONAL (OEE) PARA
AUMENTAR LA PRODUCTIVIDAD EN LA INDUSTRIA MINERA EN
LOS PROCESOS DE MOLINEDA DE PLANTAS
CONCENTRADORAS**

Tesina de Grado presentada por

Lorena Paz Pizarro Osorio

Como requisito para optar al grado de

MBA, Magíster en Gestión Empresarial

Guía de Tesina Mg. Jose Luis Andías

Abril 2026



CONSTANCIA DE VALIDACIÓN Y CONFIDENCIALIDAD DE MONOGRAFÍA A REPOSITORIO ACADÉMICO

1.- IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO ACADÉMICO

Tipo de monografía (marcar una opción): ☐ Memoria o trabajo de título ☒ Tesis de Postgrado

Título del trabajo: Modelo de Desempeño Operacional para Aumentar la Productividad en la Industria Minera específicamente en Plantas Concentradoras - Proceso Molienda

Nombre del candidato(a): Lorena Paz Pizarro Osorio

Carrera / Grado: Magister en Gestión Empresarial, MBA

Campus: Santiago – Vitacura Departamento: Industrias

2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, José Luis Andías Pantoja, en mi calidad de profesor(a) guía/director(a) del trabajo académico mencionado anteriormente **DEJO CONSTANCIA** que:

- He revisado esta versión del documento y corresponde a la versión final aprobada del trabajo.
- El trabajo cumple con los requisitos académicos y de formato establecidos por la institución.

3.- EVALUACIÓN DE CONFIDENCIALIDAD POR PROPIEDAD INDUSTRIAL (marcar una opción)

☒ El trabajo **NO contiene** información que amerite confidencialidad y puede ser publicado de inmediato en repositorio con acceso abierto.

☐ El trabajo **CONTIENE** información con potenciales implicancias de propiedad industrial o intelectual y requiere un periodo de confidencialidad (**embargo**) por (marcar una opción):

☐ 6 meses ☐ 12 meses ☐ 2 años ☐ 3 años ☐ 5 años ☐ 10 años

Fundamentación de la necesidad de confidencialidad (obligatorio si se solicita embargo):

4.- FIRMAS

Profesor(a) guía o director(a) de memoria o tesis:

Fecha: 07/05/2026 Firma: 

Estudiante o Candidato(a):

Fecha: 07-05-2026 Firma: 

Este formulario debe ser insertado como página 2 de la memoria o tesis, completado y firmado por estudiante y profesor(a) antes de la entrega en portal PRISMA de Biblioteca USM.

TITULO DE TESINA: **“MODELO DE DESEMPEÑO OPERACIONAL PARA
AUMENTAR LA PRODUCTIVIDAD EN LA INDUSTRIA
MINERA ESPECIFICAMENTE EN PLANTAS
CONCENTRADORAS – PROCESO MOLIENDA”**

AUTOR: **Lorena Paz Pizarro Osorio**

TRABAJO DE TESINA, presentando en cumplimiento parcial de los requisitos para el Grado de MBA, Magíster en Gestión Empresarial de la Universidad Técnica Federico Santa María.

OBSERVACIONES: _____

COMISIÓN DE TESINA:

Mg. José Luis Andías Pantoja, **Profesor Guía**

Patricio Mansilla, **Correferente Externo**

Lionel Valenzuela, **Correferente Interno**

Santiago, Abril 2026

Todo el contenido, análisis, conclusiones y opiniones vertidas en este estudio son de mi exclusiva responsabilidad.

Nombre: Lorena Paz Pizarro Osorio

Fecha: 22-04-2026

RESUME EJECUTIVO

El presente trabajo de investigación aplicada tiene como objetivo principal proponer un modelo de medición del desempeño operacional basado en el indicador OEE (Overall Equipment Effectiveness), adaptado a la realidad de la industria minera, específicamente en los procesos de molienda de plantas concentradoras de cobre.

En el contexto actual de la minería chilena, caracterizado por la disminución de las leyes de mineral, el incremento sostenido de los costos operacionales y mayores exigencias de productividad, se hace imprescindible contar con herramientas que permitan gestionar de manera eficiente los activos productivos y maximizar la generación de valor. En este escenario, el OEE surge como un indicador ampliamente utilizado en industrias manufactureras, pero cuya aplicación en minería presenta desafíos metodológicos relevantes debido a la naturaleza continua de sus procesos y a la complejidad de sus sistemas productivos.

La investigación se estructura en cinco fases metodológicas que incluyen la definición de objetivos e hipótesis, revisión del marco teórico, análisis de modelos existentes, desarrollo de una propuesta metodológica y su validación mediante datos reales de operación. A partir de este análisis, se identifican brechas significativas entre el modelo tradicional de uso de tiempos en minería y el modelo teórico de OEE, principalmente en la ausencia de variables asociadas al rendimiento y calidad, así como en diferencias en la conceptualización de disponibilidad.

Como principal aporte, se propone un modelo de OEE adaptado que integra el modelo de tiempos existente en minería con la lógica conceptual del OEE, incorporando ajustes clave como la inclusión del tiempo no controlable, la redefinición de la disponibilidad bajo una mirada gerencial, la incorporación de un cálculo explícito del rendimiento basado en producción real versus nominal, y el

entendimiento que la calidad no es variables que se pueda medir a ser un proceso continuo.

La validación del modelo, utilizando datos reales de detenciones de una planta concentradora, permitió evidenciar que el OEE es una herramienta efectiva para identificar oportunidades de mejora, especialmente en la dimensión de rendimiento, donde se concentran las principales pérdidas productivas. Asimismo, se identificaron brechas en la calidad de los datos y en la estandarización de la clasificación de detenciones, lo cual constituye un factor crítico para la correcta aplicación del modelo.

Finalmente, se propone un modelo de implementación basado en cinco pilares: gobernanza organizacional, estandarización técnica, gestión del cambio, sistema estructurado de mejora continua y control multinivel de indicadores. Este enfoque permite no solo implementar el OEE como indicador, sino integrarlo como un sistema de gestión del desempeño operacional, alineado con los principios de excelencia operacional y mejora continua.

En síntesis, el modelo desarrollado contribuye a transformar la gestión del tiempo y las pérdidas operacionales en una herramienta estratégica para la toma de decisiones, fortaleciendo la productividad, la confiabilidad de los activos y la competitividad de la industria minera.

ABSTRACT

This applied research proposes an operational performance measurement model based on the Overall Equipment Effectiveness (OEE) indicator, adapted to the mining industry, specifically for grinding processes in copper concentrator plants. In the context of declining ore grades, increasing operational costs, and rising productivity demands, mining companies require robust tools to optimize asset performance and enhance value generation.

The study follows a structured methodological approach, including theoretical review, analysis of existing mining time models, identification of gaps with respect to the traditional OEE framework, and the development and validation of a proposed model using real operational data. The findings reveal significant limitations in the conventional mining time model, particularly regarding the absence of performance and quality variables, as well as inconsistencies in the definition of availability.

The proposed model integrates the mining time structure with OEE logic, incorporating key adaptations such as the inclusion of non-controllable time, a managerial approach to availability, and a performance calculation based on actual versus nominal production. Additionally, it recognizes that quality is not directly measurable in continuous processes such as grinding.

Validation results demonstrate that the adapted OEE model effectively identifies productivity losses, particularly in performance. Overall, the model provides a practical framework to support decision-making, improve operational discipline, and enhance productivity and competitiveness in the mining industry.

INDICE

RESUME EJECUTIVO	5
ABSTRACT	7
1. INTRODUCCIÓN	11
2. DESCRIPCIÓN Y JUSTIFICACIÓN DEL TEMA.....	13
2.1. Justificación del Tema	13
2.2. Definición del Tema	16
3. ALCANCES DEL DESARROLLO DE LA TESIS.....	18
3.1. Procesos a Analizar.....	18
4. DESARROLLO METODOLÓGICO DE LA TESIS	20
4.1. FASE 1: DEFINICIÓN DE OBJETIVOS.....	20
4.2. FASE 2: HIPÓTESIS	21
4.3. FASE 3: MARCO TEÓRICO.....	21
4.3.1. ¿Qué es el OEE?.....	21
4.3.2. Ventajas de utilizar el indicador OEE	23
4.3.3. Composición del indicador OEE	25
4.3.4. Tipos de Pérdidas.....	26
4.4. FASE 4: DESARROLLO O APORTE AL CONOCIMIENTO	29
4.4.1. ETAPA 1: Revisión del modelo de cálculo del desempeño operacional (OEE) aplicado en empresas productivas, como estándar a nivel mundial.	31
4.4.2. ETAPA 2: Revisión de un Modelo de Tiempo de Detenciones de una Planta Concentradora que Permita Medir el Desempeño Operacional.....	38
4.4.3. ETAPA 3. Análisis e identificación de brechas del Modelo Actual Aplicado en Planta Concentradora v/s Modelo de Cálculo del OEE Aplicado a Empresas Productivas	48
4.4.4. ETAPA 4: Modelo propuesto de medición de Desempeño Operacional (OEE) para una Planta Concentradora – Procesos de Molienda.....	59
4.5. FASE 5: APLICACIÓN y VALIDACIÓN DEL MODELO PROPUESTO	72
4.5.1. Definición de procesos y equipos a medir con este modelo propuesto:	72
4.5.2. Descripción de la Base de Datos Utilizada.....	73

4.5.3.	Categorización de las Detenciones según modelo propuesto	73
4.5.4.	Cálculo del OEE según modelo propuesto.....	75
4.5.5.	Cálculo del OEE	79
4.5.6.	Identificación de Oportunidades de Mejora	80
4.5.7.	Validación de la aplicación del Modelo Propuesto.....	81
5.	IMPLEMENTACIÓN y ADOPCIÓN DEL MODELO PROPUESTO	83
6.	CONCLUSIONES	88
7.	BIBLIOGRAFÍA	90
8.	ANEXOS	91
8.1.	Anexo 1	91

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Definición de Tiempos	40
Tabla 2: Definición de asignación de tiempos en detenciones de equipos	44
Tabla 3: Indicadores según los tiempos definidos	46
Tabla 4: Identificación de brechas de Tiempo de Carga	53
Tabla 5: Identificación de brechas de Tiempo de Operación	55
Tabla 6: Identificación de brechas de Tiempo Neto	57
Tabla 7: Identificación de brechas de Tiempo Agregando Valor	59
Tabla 8: Modelo propuesto para Tiempo de Carga.....	62
Tabla 9: Modelo propuesto para Tiempo de Operación	64
Tabla 10: Modelo propuesto para Tiempo Neto.....	67
Tabla 11: Modelo propuesto para Tiempo Agregando Valor	70
Tabla 12: Categorización de las detenciones	74
Tabla 13: Valores en horas de las detenciones	75
Tabla 14: Valores de variables OEE – Tiempo Operativo y Productivo.....	76
Tabla 15: Valores variables OEE - Tiempo Efectivo.....	77
Tabla 16: Detenciones	79
Tabla 17: Identificación de oportunidades	81
Tabla 18: Tabla con duración de la detención por línea	96
Tabla 19: Tabla con comentario asociado a la detención y horas planta	101
Tabla 20: Tabla con los modos de falla.....	107
Tabla 21. Tabla con descripción de la detención	115

INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Tabla histórica de Ley en los yacimientos mineros.....	13
Ilustración 2: Principales etapas de una Planta Concentradora	19
Ilustración 3: Proceso Molienda	19
Ilustración 4: Formato gráfico del cálculo del OEE.....	37
Ilustración 5: Modelo de Tiempo de una compañía minera	38
Ilustración 6: Cálculo Teórico del OEE	49
Ilustración 7: Modelo grafico propuesto	71
Ilustración 8: Proceso del modelo propuesto	73
Ilustración 9: Gráfico de OEE.....	80

1. INTRODUCCIÓN

En la minería del cobre, la disminución progresiva de las leyes de los yacimientos y el incremento sostenido de los costos operacionales han generado un escenario altamente desafiante para la industria. El aumento del movimiento de mineral requerido para mantener los compromisos productivos anuales de cobre fino ha presionado los márgenes de rentabilidad, haciendo indispensable la búsqueda de nuevas estrategias orientadas al aumento de la productividad y la reducción de costos.

En este contexto, los indicadores de eficiencia operacional adquieren un rol estratégico, destacando entre ellos el OEE (Overall Equipment Effectiveness) como una herramienta clave para medir y gestionar la efectividad global de los activos productivos.

El OEE es un indicador porcentual que integra tres dimensiones fundamentales del desempeño productivo: la disponibilidad de los equipos, el rendimiento del proceso y la calidad del producto final. En el caso de una planta concentradora de cobre, este producto corresponde al concentrado de cobre fino, cuya estabilidad y pureza definen la eficiencia integral del proceso.

El propósito principal de este trabajo es proponer un modelo de desempeño operación en base al cálculo de OEE estandarizado para una planta concentradora de cobre, específicamente en el área de molienda, reconociendo que no existe en la literatura una fórmula universalmente aceptada que permita aplicar este indicador de manera exacta en contextos mineros complejos.

Asimismo, se propondrá una implementación autónoma del OEE, que sea capaz de entregar recomendaciones en tiempo real o minuto a minuto que facilite la toma de decisiones operativas por parte de la primera línea de producción junto con una visualización de tiempo mayor (semanal o mensual) para decisiones tanto tácticas y estratégicas de la organización.

Finalmente, se desarrollará una propuesta de incorporación del OEE como práctica integrada dentro del Sistema de Gestión de Excelencia, la cual incluirá lineamientos

orientados al comportamiento y disciplina operacional de las personas, buscando fortalecer la adopción sostenida del OEE como herramienta de gestión para la toma de decisiones.

Como parte de esta propuesta, se presentarán indicadores complementarios que faciliten su implementación y seguimiento.

El propósito final es contribuir al fortalecimiento de una cultura de mejora continua, promoviendo valores de eficiencia, confiabilidad y disciplina operacional, que permitan a la organización operar de manera sostenida bajo estándares de clase mundial contribuyendo al negocio minero para ser una empresa año a año más competitivos.

2. DESCRIPCIÓN Y JUSTIFICACIÓN DEL TEMA

2.1. Justificación del Tema

En la actualidad, la minería del cobre en Chile enfrenta un escenario de mayor complejidad y exigencia competitiva. Los tiempos de “abundancia” en que los presupuestos se elaboraban con holgura y las metas de producción eran fácilmente alcanzables han quedado atrás. Hoy, las compañías mineras deben operar bajo condiciones cada vez más restrictivas. Las leyes de los yacimientos disminuyen progresivamente, observar ilustración 1 de Cochilco de los últimos años, los costos operacionales aumentan, y los presupuestos de inversión y gasto son cada vez más limitados, mientras se mantienen las exigencias de rentabilidad y retorno para los accionistas.

TABLA / TABLE 50

LEY PROMEDIO DE MINERAL DE COBRE EN LAS OPERACIONES MINERAS EN CHILE POR TIPO DE PROCESO ⁽¹⁾

Average Copper Mining Grades in Chile, by Process Type ⁽¹⁾

(%)

	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Concentradora / Concentrator Plant	0,90	0,87	0,81	0,80	0,78	0,77	0,78	0,73	0,69	0,71
Lixiviación Heap / Heap Leach	0,67	0,64	0,60	0,61	0,51	0,58	0,55	0,54	0,50	0,43
Lixiviación Dump y/o ROM / ROM and/or Dump Leach	0,43	0,40	0,39	0,35	0,34	0,33	0,32	0,33	0,30	0,33
Promedio Chile / Chile Average	0,72	0,69	0,65	0,65	0,61	0,64	0,64	0,63	0,59	0,59

(1) Calculado como promedios ponderados por tratamiento de mineral. / Calculated as weighted averages of mineral processing.

Datos de 2024 no disponibles a la fecha de publicación de este Anuario. / Data for 2024 are not available as of the publication date of this Yearbook.

fuente / Source: - Elaborado por Cochilco sobre la base de información de las principales empresas mineras, las cuales representan el 99,7% de la producción total (año 2023). / Chilean Copper Commission based on information of the main mining companies, which represent the 99.7% of total production (year 2023).

Ilustración 1: Tabla histórica de Ley en los yacimientos mineros

Frente a este contexto, el desafío estratégico del sector se centra en aumentar la productividad y reducir los costos unitarios de producción, garantizando simultáneamente la seguridad, sostenibilidad y continuidad operacional. Para ello, las metodologías de mejora continua y excelencia operacional adquieren un rol protagónico, especialmente aquellas que permiten identificar pérdidas, priorizar oportunidades de mejora y optimizar la eficiencia de los activos productivos.

Existe un indicador que ha sido adoptado a nivel mundial en las empresas productivas para medir el desempeño operacional en los procesos productivos, este indicador corresponde al Overall Equipment Effectiveness (OEE), o Efectividad Global de los Equipos, este indicador mide de manera objetiva la productividad real de los procesos productivos, considerando tres dimensiones fundamentales:

disponibilidad, rendimiento y calidad (Nakajima, 1988; Elevli & Elevli, 2010). Sin embargo, en la industria de la minería, aún no se aplica a los procesos productivos, con lo cual este trabajo de investigación aplicada tiene como objetivo generar un modelo que permita a la Minería, adoptar este indicador, estandarizando los criterios de medición según la base metodológica que exige este indicador, para medir la productividad real de los procesos.

El OEE cuantifica el porcentaje de tiempo en que los equipos operan de forma plenamente eficiente dentro del tiempo planificado, revelando pérdidas ocultas que impactan la producción y los costos.

En el caso de la minería del cobre, y particularmente en el área de molienda de una planta concentradora, el OEE permite evaluar la eficiencia de los equipos de conminución, molinos SAG, molinos de bolas, bombas y ciclones, los cuales traducen la productividad del proceso y determinan la estabilidad metalúrgica del proceso.

Aplicar el OEE en esta etapa crítica no solo permite detectar las causas raíz de ineficiencia operacional, sino también diseñar estrategias de mantenimiento, control y mejora continua, alineadas con los principios del Total Productive Maintenance (TPM), el Lean Mining y Sistemas de Gestión de Excelencia que han estado implementado todas las compañías mineras en la última década.

Pese a los avances tecnológicos en automatización e instrumentación, aún persisten brechas significativas de eficiencia en las plantas concentradoras, derivadas de paradas no programadas, operación bajo capacidad nominal, variabilidad del mineral y fallas en la planificación del mantenimiento. Estas pérdidas afectan directamente la disponibilidad de los equipos, la tasa de procesamiento y la producción de cobre fino.

Por lo tanto, la elección de este tema se justifica por su relevancia técnica, económica y organizacional, ya que el OEE:

- Cuantifica las pérdidas productivas de forma estructurada y medible, entregando una visión integral del desempeño.
- Prioriza acciones de mejora en función del impacto en disponibilidad, rendimiento y calidad.
- Integra la gestión de mantenimiento, confiabilidad y operaciones, favoreciendo la toma de decisiones informadas.
- Fomenta la cultura de mejora continua, al establecer un lenguaje común entre las áreas operativas y de gestión.
- Contribuye al fortalecimiento de un Sistema de Gestión de Excelencia con datos fidedignos, alineando los resultados operacionales con los objetivos estratégicos de productividad y sostenibilidad.

Por tanto, contar con un modelo estandarizado de OEE para una planta concentradora en el proceso de molienda representa una oportunidad de alto valor técnico y económico para gestionar dichas brechas ya que constituye una herramienta clave para alcanzar estándares de clase mundial, al promover una cultura organizacional basada en la eficiencia, la confiabilidad y la disciplina operativa, pilares esenciales para la sostenibilidad de la minería del siglo.

2.2. Definición del Tema

El OEE (Eficiencia Global de los Equipo) es un indicador integral de desempeño que evalúa la eficiencia real de los equipos productivos, considerando tres dimensiones fundamentales: disponibilidad, rendimiento y calidad. Su propósito es cuantificar el tiempo efectivamente productivo dentro del tiempo planificado, identificando pérdidas ocultas y oportunidades de mejora.

En el contexto de una planta concentradora de cobre, donde los equipos de molienda representan una etapa crítica en términos de consumo energético, continuidad operacional y estabilidad metalúrgica, la aplicación del OEE adquiere una relevancia estratégica.

Permite medir de manera objetiva la efectividad de los equipos de conminución (molinos SAG, molinos de bolas, bombas, ciclones y cintas transportadoras) y convertir los datos operacionales en información estratégica para la toma de decisiones.

El trabajo contará con de la estandarización del cálculo de OEE para una planta concentradora en el proceso de molienda, que permita poder integrar el OEE como una práctica transversal en los 2 niveles de gestión:

- Nivel operativo, orientado al control diario del proceso y la respuesta inmediata ante desviaciones, considerando disminuir las pérdidas no planificadas.
- Nivel gerencial, enfocado en el análisis de tendencias de pérdidas y productividad para tomar decisiones de mejoras a nivel operacional y de planificación, para asegurar que la mejora en productividad se refleje en un ahorro en costos.

Finalmente se hará una prueba del modelo estandarizado de OEE propuesto y recomendaciones de implementación de OEE a través de un modelo de gestión de cambio que integre la desarrollo de la herramienta en el nivel operativo y ejecutivo con el fin de poder adoptar el indicador.

En síntesis, este estudio busca proponer un modelo estandarizado de OEE adaptado al contexto minero, que permita mejorar la productividad, reducir pérdidas y fortalecer la cultura de excelencia operacional, contribuyendo así a la sostenibilidad y competitividad de la planta concentradora.

3. ALCANCES DEL DESARROLLO DE LA TESIS

3.1. Procesos a Analizar

Como se indicó anteriormente, el alcance de este trabajo de investigación aplicada se centrará en analizar los procesos productivos del área de Molienda de una planta Concentradora de cobre convencional, perteneciente a una compañía minera dedicada al procesamiento de minerales sulfurados; que tiene como objetivo aumentar la concentración de cobre presente en la roca y separar los minerales estériles (sin valor económico), y tiene como objetivo principal la producción de concentrado de cobre.

Las principales etapas de una planta concentradora se observan en la ilustración 2 y ellas son:

- *Chancado (Trituración):* El mineral proveniente de la mina se reduce de tamaño mediando chancadores primarios, secundarios y terciarios, hasta alcanzar un tamaño adecuado para la molienda, generalmente menor a 1 pulgada.
- *Molienda:* Compuesta por molinos SAG y de bolas, este proceso tiene como objetivo reducir el tamaño del mineral a muy fino, por ejemplo, a 4.0 mm, liberando las partículas de cobre del mineral rocoso.
- *Flotación:* Proceso donde se mezcla el mineral molido con agua y reactivos químicos (colectores, espumantes y modificadores) y se inyecta partículas de aire al fluido. Las burbujas de aire capturan las partículas de cobre y las separan del material estéril, generando una espuma rica en cobre llamado concentrado.
- *Espesamiento:* El concentrado que se obtiene de la flotación, se apila en grandes espesadores donde se separa el agua del concentrado de cobre mediante sedimentación por gravedad.

Finalmente, el concentrado es derivado a puerto o fundición y los materiales estériles son enviados al tranque.

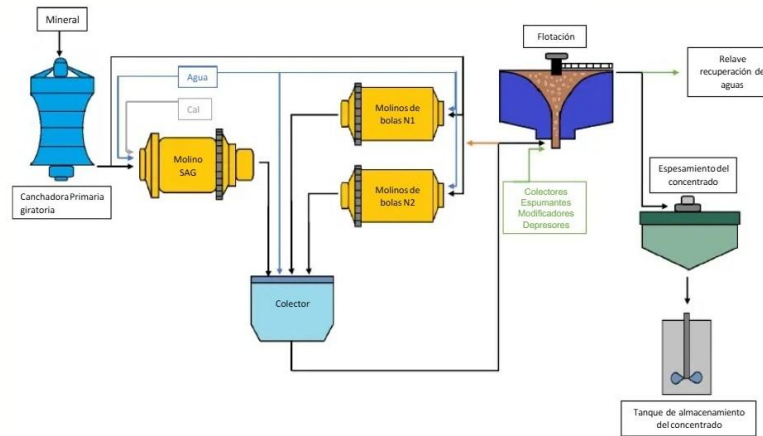


Ilustración 2: Principales etapas de una Planta Concentradora

Tomando las consideraciones definidas en el papper “Performance Measurement of Mining Equipments by Utilizing OEE” de Sermin y Birol Elevli, el Cálculo de OEE (Eficiencia Global de los Equipo) en la industria minera debe ser separado por equipos.

Según la definición de los alcances de estudio del tema se analizarán los procesos del área de molienda de una planta concentradora de cobre, ya que son los procesos críticos que definen el desempeño y productividad de la producción de cobre; ella está compuesta, como se dijo anteriormente, por molinos SAG y Molinos de bolas como se observan en la ilustración 3.

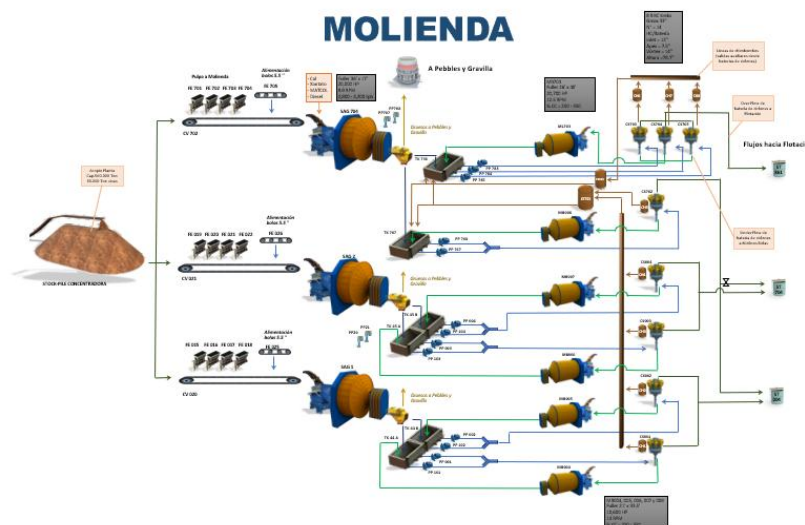


Ilustración 3: Proceso Molienda

4. DESARROLLO METODOLÓGICO DE LA TESIS

Esta tesina tendrá una estructura que va a seguir las siguientes fases metodológicas:

- Fase 1: Definición de los Objetivos
- Fase 2: Hipótesis
- Fase 3: Estado del Arte
- Fase 4: Desarrollo o Aporte al Conocimiento
- Fase 5: Aplicación y Validación del Modelo Propuesto

4.1. FASE 1: DEFINICIÓN DE OBJETIVOS

Objetivo General

- Proponer un modelo de aplicación del OEE (Eficiencia Global de los Equipo) para aumentar la productividad en una planta concentradora de cobre fino en los procesos de molienda en la industria Minera.

Objetivos Específicos

1. Revisar las definiciones y criterios de medición actual del desempeño operacional aplicado en empresas productivas.
2. Revisar un modelo de Tiempo de Detenciones de una Planta Concentradora que permita medir el Desempeño Operacional.
3. Analizar e identificar brechas del Modelo Actual Aplicado en Planta Concentradora v/s Modelo de Cálculo del OEE Aplicado a Empresas Productivas

4. Proponer un modelo de medición de Desempeño Operacional (OEE) factible de aplicar para los procesos de Molienda de una Planta Concentradora, considerando los estándares a nivel mundial de medición en empresas productivas.
5. Proponer etapas de un modelo de gestión de cambio que permita realizar la implementación del OEE y la adopción de la herramienta en el tiempo.

4.2. FASE 2: HIPÓTESIS

El OEE (Eficiencia Global de los Equipo) como indicador aplicado y validado en los procesos productivos, es factible de aplicar a los procesos de molienda en una planta concentradora de la Minería, aplicando definiciones y criterios de medición acorde a la realidad operacional de los procesos de molienda, lo cual permita medir la productividad real de los procesos.

4.3. FASE 3: MARCO TEÓRICO

4.3.1. ¿Qué es el OEE?

El OEE (Overall Equipment Effectiveness) es un indicador porcentual que mide la efectividad global de los equipos de una planta o un proceso productivo. Este método permite medir la efectividad productiva que integra datos como la disponibilidad de los equipos, rendimiento del proceso y la calidad del producto generado. Es la multiplicación simple de las tres sub - indicadores que lo componen: Disponibilidad, Rendimiento y Calidad.

El concepto de OEE tiene su origen en Japón durante la década de 1.970, en el contexto del desarrollo del Total Productive Maintenance (TPM) impulsado por el Japan Institute of Plant Maintenance (JIPM).

El TPM surgió como una evolución del mantenimiento preventivo tradicional, buscando no solo evitar fallas, sino también maximizar la eficiencia total de los equipos productivos a través de la participación de todos los trabajadores, desde operadores hasta supervisores y gerentes, con lo cual busca una mirada operativa y gerencial.

En este marco, Seiichi Nakajima, considerado el padre del TPM, introdujo el indicador OEE como una herramienta cuantitativa para medir el grado de aprovechamiento real de un equipo frente a su potencial máximo de operación, para identificar mejoras que generaran impacto en la productividad.

Nakajima publicó en 1988 su obra fundamental “Introduction to TPM: Total Productive Maintenance”, donde formalizó la metodología del TPM y definió el OEE como un indicador compuesto por tres factores:

- Disponibilidad, afectada por paradas.
- Rendimiento (Performance), influido por la velocidad o ritmo de producción.
- Calidad, afectada por defectos, reprocesos o material fuera de especificación.

El JIPM promovió la adopción de este enfoque en industrias manufactureras japonesas como Toyota, Nippon Denso y Komatsu, logrando notables incrementos de productividad y confiabilidad. Con el tiempo, el OEE se convirtió en un estándar mundial para medir eficiencia operacional, especialmente dentro del movimiento Lean Manufacturing y los sistemas de Excelencia Operacional (Operational Excellence).

Durante las décadas de 1990 y 2000, el OEE se difundió globalmente como indicador clave de desempeño (KPI) en sectores industriales intensivos en capital: manufactura, energía, petróleo, celulosa y minería. En esta última, su aplicación permitió cuantificar pérdidas productivas en plantas concentradoras y equipos móviles, integrando gestión de mantenimiento, disponibilidad de activos y desempeño metalúrgico.

En la actualidad, el OEE forma parte esencial de las estrategias de mantenimiento basado en confiabilidad (RCM), Lean Mining y Sistemas de Gestión de Excelencia siendo una herramienta que combina rigor técnico y enfoque sistémico para la mejora continua.

4.3.2. Ventajas de utilizar el indicador OEE

El indicador OEE es una práctica recomendada de fabricación, que mediante su medición y las pérdidas subyacentes ofrece una visión objetiva del desempeño de los procesos y equipos productivos, permitiendo cuantificar la eficiencia real del proceso y detectar pérdidas ocultas que limitan la productividad.

Entre sus principales ventajas se destacan:

- **Medición integral del desempeño:** Combina la medición de la disponibilidad, rendimiento y calidad, lo cual genera una medición de desempeño real y no sólo basada en el cumplimiento de la cantidad producida.
- **Medición objetiva y estandarizada:** el OEE proporciona una métrica cuantitativa universal, lo que facilita la comparación entre equipos, turnos, plantas o periodos operativos.

- **Identificación de pérdidas:** permite distinguir con precisión las fuentes de ineficiencia (tiempo, velocidad, calidad), orientando las acciones correctivas hacia los factores de mayor impacto. Esto exige que se deban definir parámetros de tiempos de ejecución del proceso productivo, velocidad óptima de producción y % máximos de mermas de fabricación.
- **Identificación de pérdidas ocultas:** permite detectar ineficiencias invisibles en la operación, tales como microdetenciones o funcionamientos a menor velocidad de producción, difíciles de capturar con métricas tradicionales.
- **Integración entre áreas:** favorece la colaboración entre operaciones, mantenimiento, planificación y gestión de procesos, generando un lenguaje común basado en datos.
- **Soporte para la Mejora Continua (TPM/Lean):** su descomposición en causas o motivos de pérdidas facilita priorizar acciones correctivas de alto impacto.
- **Priorización de mejoras:** al expresar la eficiencia global en porcentaje, permite evaluar rápidamente el retorno esperado de las iniciativas de mejora continua.
- **Soporte a la toma de decisiones:** los análisis de OEE alimentan dashboards y tableros de control, facilitando la gestión de la producción, la planificación de la operación y la evaluación de desempeño de activos críticos.
- **Benchmarking y estandarización:** establece referencias “World Class” ($A \geq 90\%$, $P \geq 95\%$, $Q \geq 99\%$ y $OEE \geq 85\%$) que permiten comparar desempeño entre compañías.

- **Contribución a la sostenibilidad operacional:** al reducir pérdidas operacionales y tiempos muertos, el OEE impulsa la aplicación de mejores prácticas operacionales y la sustentabilidad de las operaciones mineras.
- **Integración Tecnológica (Industry 5.0):** al conectarse con sistemas IIoT o SCADA, posibilita monitoreo en tiempo real, análisis de tendencias y gestión predictiva y prescriptiva.

En los procesos de molienda de una planta concentradora de cobre, considerado los procesos críticos, el uso sistemático del OEE permite reducir los costos unitarios de procesamiento, aumentar la disponibilidad de los molinos y mejorar la estabilidad metalúrgica.

4.3.3. Composición del indicador OEE

El OEE busca entender las fuentes de pérdidas en los cuellos de botella de los procesos, considera las fuentes de pérdida de productividad más comunes y relevantes, agrupándolas en tres categorías:

- **Disponibilidad (Availability):** Pérdidas que interrumpen la producción, contemplando las detenciones planificadas y no planificadas. Una disponibilidad del 100% significa que el proceso siempre se está ejecutando durante el tiempo de producción. La disponibilidad se mide en 2 dimensiones, como se definió en su origen en TPM, una operativa que sólo castiga las detenciones o paradas no planificadas y una gerencial que busca el real desempeño independiente la detención, lo cual considera el castigo en el desempeño de las paradas o detenciones del proceso productivo o equipo tanto planificadas, como no planificadas.

- **Rendimiento o Velocidad (Performance):** Pérdidas que provocan un ritmo inferior a la velocidad óptima definida para un proceso productivo o equipo, respecto a la velocidad real del proceso. Un rendimiento del 100% significa que la producción se ejecutó a la velocidad óptima según lo que se definición para la fabricación del Sku y proceso productivo.
- **Calidad (Quality):** Pérdidas derivada por el reproceso que significa el tener que producir nuevamente aquellos Sku o productos que se consideran fuera de norma o defectuosos, es decir que no satisfacen los requerimientos de las especificaciones técnicas del producto, (necesitan un reprocesamiento). Una calidad del 100% significa que no hay defectos en los productos o sku terminados.
- **Desempeño Operacional - OEE:** Tiene en cuenta todas las pérdidas del sistema. Un OEE del 100% significa una medición ideal, no necesariamente la más perfecta, ya que está fabricando sólo piezas buenas, durante un periodo determinado, a la velocidad óptima de producción y sin tiempo perdido de detenciones. El OEE perfecto, es la medición real óptima considerando las restricciones operativas del proceso.

4.3.4. Tipos de Pérdidas

Uno de los beneficios de medir el OEE es el detalle de las razones del por qué el equipo o línea de producción, tuvo pérdidas de productividad durante el turno planificado. Las pérdidas se pueden definir como: pérdidas por disponibilidad, pérdidas por velocidad o rendimiento y pérdidas por calidad.

a) Pérdidas de Disponibilidad

Corresponde a las pérdidas en donde el proceso debería estar en operación, pero no lo esté debido a una detención o parada del proceso productivo o equipo. Por lo tanto, corresponde al tiempo en que el equipo no está disponible para producir, con lo cual, se mide el tiempo de operación real.

En este punto tenemos dos miradas, una operacional y una gerencial, en una mirada operacional, no se consideran las detenciones que son planificadas o programadas durante el turno, por ejemplo, un mantenimiento preventivo o planificado, en cambio al medir un OEE gerencial, se consideran todas las detenciones, independiente si ésta fue planificada o no.

Ejemplos de pérdidas por disponibilidad son:

- Mantenimiento planificado o preventivo
- Mantenimiento correctivo, no planificado.
- Setup y ajustes en el proceso
- Cambios en el proceso
- Falta de material
- Operador ausente
- Detención por ajustes operacionales
- Detención estratégica por planificación

Por lo tanto, la Disponibilidad es el coeficiente ente el Tiempo de Operación y el Tiempo de Carga para la producción en un período de tiempo determinado.

b) Pérdidas de Velocidad o Rendimiento

El segundo tipo de perdida es por velocidad o ciclos de procesamiento.

El equipo funciona, pero la producción de un Sku o producto se ejecutó a una velocidad menor que la óptima definida para la fabricación de ese Sku en la línea de producción. Las causas de las pérdidas de velocidad, también se pueden clasificar, por ejemplo:

- Falta de mantenimiento o desgaste que hace que el equipo comience a funcionar a una velocidad menor que la óptima
- Operación incorrecta o configuración incorrecta por parte del operador: El operador no calibra la producción para lograr el funcionamiento del equipo o línea de producción a una velocidad óptima, y esto se puede reflejar en una baja velocidad como también en sobre exigir el equipo a una velocidad mayor que la óptima, lo que va a generar en el corto plazo mayores fallas o mantenimientos correctivos.

Cabe señalar que el funcionamiento de una línea de producción o equipo no es lineal, existe un período de arranque donde la velocidad es menor, lo mismo antes de terminar el turno o fabricación de un Sku, para apagar el equipo o realizar una detención planificada, también se debe comenzar a disminuir la velocidad, existiendo un período entre que se decide apagar el equipo, hasta que éste se apaga finalmente. Por esta razón es que nunca se cumple una velocidad de 100%, van a existir pérdidas de velocidad menores cuando se requiere una detención planificada.

c) Pérdidas de Calidad

Las pérdidas por calidad corresponden a la estimación del tiempo de reproceso que se genera por cada unidad producida que se considera que no cumplen con las especificaciones técnicas definidas. En resumen, el equipo está produciendo unidades defectuosas que generan merma.

Para definir una pérdida de calidad objetiva, se debe identificar en el proceso la pérdida de calidad aceptable, dado que, según la velocidad de producción, los % de unidades fuera de especificación puede ser mayor, en general se cumple que a mayor velocidad de producción, se tiende a una mayor pérdida de calidad, con lo cual el definir una velocidad óptima de producción, también depende de disminuir la pérdida de calidad.

4.4. FASE 4: DESARROLLO O APOORTE AL CONOCIMIENTO

De acuerdo con los objetivos específicos declarados en este trabajo de investigación aplicada, los cuales son:

1. Revisar las definiciones y criterios de medición actual del desempeño operacional aplicado en empresas productivas.
2. Revisar un modelo de Tiempo de Detenciones de una Planta Concentradora que permita medir el Desempeño Operacional.
3. Analizar e identificar brechas del Modelo Actual Aplicado en Planta Concentradora v/s Modelo de Cálculo del OEE Aplicado a Empresas Productivas
4. Proponer un modelo de medición de Desempeño Operacional (OEE) factible de aplicar para los procesos de Molienda de una Planta Concentradora, considerando los estándares a nivel mundial de medición en empresas productivas.
5. Proponer etapas de un modelo de gestión de cambio que permita realizar la implementación del OEE y la adopción de la herramienta en el tiempo.

Como desarrollo y aporte al conocimiento de este trabajo de investigación, se realizarán las siguientes etapas:

1. ETAPA 1: Revisión del modelo de cálculo del desempeño operacional (OEE) aplicado en empresas productivas, como estándar a nivel mundial.
2. ETAPA 2: Revisión de un Modelo de Tiempo de Detenciones de una Planta Concentradora que Permita Medir el Desempeño Operacional.
3. ETAPA 3. Análisis e identificación de brechas del Modelo Actual Aplicado en Planta Concentradora v/s Modelo de Cálculo del OEE Aplicado a Empresas Productivas.
4. ETAPA 4: Modelo propuesto de medición de Desempeño Operacional (OEE) para una Planta Concentradora – Procesos de Molienda.

4.4.1. ETAPA 1: Revisión del modelo de cálculo del desempeño operacional (OEE) aplicado en empresas productivas, como estándar a nivel mundial.

A continuación, se describe el modelo de cálculo del desempeño operacional (OEE), el cual permite comparar el desempeño por Sku o producto fabricado, por línea de producción o equipo, por grupo de líneas o equipos, por turno, planta o derivadas de estas clasificaciones. Para los cálculos de OEE se deben medir 3 indicadores claves:

1. **Disponibilidad:** ¿Funciona o no el equipo?, que corresponde al tiempo real de operación versus el tiempo planificado.

- **En un OEE operativo**, el tiempo planificado será el tiempo de turno – detenciones planificadas, lo cual se llama tiempo de carga, con lo cual para calcular el % de disponibilidad se calcula el tiempo planificado menos detenciones no planificadas y se divide por el tiempo planificado (tiempo de carga).
- **En una mirada más estratégica de OEE gerencial**, el tiempo de operación real, será el tiempo de turno, menos tiempo sin programa de producción, menos tiempo de detenciones planificadas y menos tiempo de detenciones o paradas no planificadas, con lo cual el tiempo planificado de producción, corresponde al tiempo de turno y la disponibilidad se calcula dividiendo el tiempo de operación real por el tiempo de turno.

2. **Rendimiento o Velocidad:** corresponde a la pérdida de tiempo que se genera porque un sku o producto se fabricó a una velocidad menor que la óptima definida, con lo cual el rendimiento se calcula como tiempo de operación menos

tiempo por pérdida de velocidad, esto respecto al tiempo planificado. Cabe señalar que, si el operador sobre exige la línea de producción o equipo, significa que la velocidad real de producción será mayor que la velocidad óptima definida de producción para el Sku o producto a fabricar, en este caso podrá dar una pérdida positiva en vez de negativa, pero su consecuencia será que va a desgastar el equipo, generando fallas en el corto plazo que se traducirá en mayores detenciones por concepto de falla.

3. **Calidad:** ¿Cuántos productos cumplieron con las especificaciones? El cual corresponde el tiempo que se pierde de reproceso, es decir, una unidad que está fuera de especificación se debe fabricar nuevamente. Con lo cual para calcular el % de pérdida de calidad, se calcula el tiempo de operación menos tiempo de pérdida de velocidad menos tiempo de reproceso por pérdida de calidad y se calcula el porcentaje de este valor sobre el tiempo planificado.

- **En Minería,** la Calidad corresponde a la proporción de la producción total que cumple con los requisitos técnicos, metalúrgicos y operacionales definidos por el proceso, sin necesidad de reprocesos, retrabajos o generación de pérdidas de valor.

El cálculo del OEE se expresa mediante la siguiente fórmula matemática:

$$OEE = Disponibilidad * Rendimiento * Calidad$$

En donde la Disponibilidad se calcula de la siguiente manera:

$$Disponibilidad = \frac{Tiempo\ de\ Operación}{Tiempo\ de\ Carga}$$

Donde,

Tiempo de Carga

$$= \text{Tiempo de Turno} - \text{Tiempo de Paradas Programadas} \\ - \text{Tiempos Sin Producción}$$

Y,

Tiempos de Operación

$$= \text{Tiempo de Carga} - \text{Tiempo de Paradas No Programadas}$$

Donde,

- *Tiempo de Carga:* Corresponde al tiempo que se planifica que la línea debiera funcionar, por ello al tiempo de turno se descuenta el tiempo de las paradas programadas y el tiempo sin producción de la línea, esto calculando un OEE operativo.
- *Tiempo de Turno:* Total de horas asociadas al turno operacional.
- *Tiempo Paradas Programadas:* Corresponde al tiempo planificado para hacer paradas programadas en la línea.
- *Tiempo Sin Producción:* Corresponde al tiempo en el cual no se programó producción a la línea.
- *Tiempos de Operación:* Corresponde al tiempo real de operación descontando las paradas no programadas. El tiempo que se planifica que la línea debiera funcionar corresponde al tiempo de carga, a este tiempo se descuenta el tiempo de las paradas no programadas y se obtiene el tiempo de operación.
- *Tiempo de Paradas No Programadas:* Se define al tiempo detenciones que no están planificadas y se observa una detención imprevista.

Quedando finalmente la expresión de la siguiente manera:

Disponibilidad

$$= \frac{\text{Tiempo de Carga} - \text{Tiempo de Paradas No Programadas}}{\text{Tiempo de Turnon} - \text{Tiempo Paradas Programadas} - \text{Tiempo sin Producción}}$$

- *En el caso de medición de disponibilidad en un OEE Gerencial que tiene una mirada estratégica más que operacional: el tiempo de operación real como numerador se debe calcular como tiempo de turno- tiempo de paradas planificadas – menos tiempo sin producción – tiempo de paradas no programadas y se divide directamente por el tiempo de turno.*

Por lo otro lado, la segunda variable Rendimiento tiene la siguiente fórmula:

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Tiempo Neto}}{\text{Tiempo de Operación}}$$

Donde,

$$\begin{aligned} \text{Tiempo Neto} &= \text{Tiempo de Operación} \\ &\quad - \text{Tiempos por Pérdidas de Velocidad} \end{aligned}$$

Y,

$$\begin{aligned} \text{Tiempo por Pérdida de Velocidad} \\ &= \frac{\text{Diferencia de Producción por la Pérdida de Velocidad}}{\text{Velocidad Estándar de SKU (VSS)}} \end{aligned}$$

Y,

$$\begin{aligned} \text{Diferencia de Producción por la Pérdida de Velocidad} \\ &= \text{Producción Teórica} - \text{Producción Real} \end{aligned}$$

Donde,

$$\text{Producción Teórica} = \text{Velocidad Estándar (VSS)} * \text{Tiempo de Operación}$$

Las variables se entienden de la siguiente manera:

- *Tiempo Neto*: Corresponde al tiempo de operación, descontando el tiempo asociado a las pérdidas de velocidad.
- *Tiempos por Pérdidas de Velocidad*: Se definen como el coeficiente entre la diferencia de producción generada por la pérdida de velocidad y la velocidad estándar de SKU.
- *Diferencia de Producción generada por la pérdida de velocidad*: Corresponde a la producción teórica menos la producción real de la planta.
- *Producción Teórica*: Corresponde a la producción o capacidad máxima que puede realizar el equipo o planta en un periodo de tiempo establecido. Por ejemplo, si un equipo puede realizar una producción máxima de 2 ton/hora, entonces la producción máxima teórica en ese día será de 48 ton/día (2 ton/hora x 24 horas/día).
- *Producción Real*: Se define como el resultado total de producción generada por el equipo o planta en estudio en un periodo de tiempo establecido. Esta cantidad es la cantidad de producción sin descontar la calidad, dado que posteriormente al calcular la pérdida de calidad se considera las unidades o volumen de producción fuera de especificación.
- *Velocidad Estándar de SKU*: Velocidad definida como la velocidad óptima de producción del SKU en la línea de producción o equipo.

Quedando finalmente la expresión de la siguiente manera:

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Tiempo de Operación} - \text{Tiempos por Pérdida de Velocidad}}{\text{Tiempo de Operación}}$$

En el caso de la Calidad es el coeficiente entre el Tiempo Agregado Valor sobre Tiempo Neto.

$$Calidad = \frac{Tiempo\ Agregando\ Valor}{Tiempo\ Neto}$$

Siendo,

$$Tiempo\ Agregando\ Valor = Tiempo\ Neto - Tiempo\ por\ Pérdida\ de\ Calidad$$

Donde,

$$Tiempo\ Pérdida\ por\ Calidad = \frac{Unidades\ Malas}{Velocidad\ Estándar\ de\ SKU}$$

- *Tiempo Agregando Valor:* Corresponde al tiempo neto descontando el tiempo asociado a la pérdida de calidad.
- *Tiempo Pérdidas de Calidad:* Corresponde a las unidades malas sobre la velocidad estándar de SKU.
- *Unidades o volumen de producción fuera de especificación:* Se define como la producción no conforme, a la producción realizada que se encuentra fuera de la especificación según los criterios de cada planta productiva.

Quedando finalmente la expresión de la siguiente manera:

$$Calidad = \frac{Tiempo\ Neto - Tiempo\ por\ Pérdida\ Calidad}{Tiempo\ Neto}$$

Finalmente podremos calcular el OEE de la siguiente Manera:

$$OEE = \frac{\text{Tiempo Agregando Valor}}{\text{Tiempo de Carga}} * 100$$

De manera gráfica podemos observar que el cálculo de OEE con sus diferentes especificaciones de pérdidas se ve en la siguiente ilustración número 4:



Ilustración 4: Formato gráfico del cálculo del OEE

4.4.2. ETAPA 2: Revisión de un Modelo de Tiempo de Detenciones de una Planta Concentradora que Permita Medir el Desempeño Operacional

Se realizó el levantamiento de un modelo de tiempo de una compañía minera que tiene como objetivo estandarizar la captura y correcta imputación de los tiempos de los equipos y establecer el cálculo de los indicadores de desempeño de los diferentes activos de una operación minera.

Este modelo de tiempo descompone de manera estructurada todas las categorías de tiempo en que las detenciones del activo pueden estar asignadas ya sea a causa de operación o mantenimiento, y sin repeticiones ni elementos faltantes como se observa en la ilustración

Tiempo Calendario (T1)									
Tiempo Controlable (T2)								Tiempo NO Controlable (T3)	
Tiempo Disponible (T4)						Tiempo NO Disponible (T5)		Tiempo Eventos NO Controlables(T16)	Tiempo NO Programado para Producir (T17)
Operativo (T6)					Reserva (T13)	Mantencción No Programada (T14)	Mantencción Programada (T15)		
Productivo (T7)		Tiempo Demoras (T8)							
Tiempo Efectivo (T9)	Tiempo Pérdidas Operacionales (T10)	Tiempo Demoras Programadas (T11)	Tiempo Demoras No Programadas (T12)						

Ilustración 5: Modelo de Tiempo de una compañía minera

A continuación, se hará una descripción de los estados de tiempo definidos en la ilustración 5.

a) Descripción de los tiempos definidos en el modelo actual

Variables definidas a medir en el modelo		Descripción
T1	T. Calendario	Tiempo total basado en el calendario gregoriano. Anual = 24[h] x 356 [día]=8760 [h] *Se considera año bisiesto y 31 días en el mes.
T2	T. Controlable	Tiempo atribuible a cualquier factor controlable por la operación.
T3	T. No Controlable	Tiempos en que los equipos no están en condiciones de agregar valor por factores fuera del alcance de gestión de la operación. Los equipos y operaciones están detenidas por eventos externos mayores, no es requerido por el plan de producción o esta indisponible debido a causas fuera del control de la compañía.
T4	T. Disponible	Tiempo en que el equipo se encuentra disponible físicamente para cumplir con su función de diseño.
T5	T. No Disponible	Tiempo en que el equipo no está disponible por un mantenimiento programado o no programado.
T6	T. Operativo	Tiempo en que el equipo está habilitado para cumplir función de diseño y se encuentra a disposición de la gestión del proceso.
T7	T. Productivo	Tiempo en que el equipo está operando según el plan que fue asignado, ejecutando su función de diseño y realizando actividades que agregan o no valor directamente a la producción.
T8	T. Demoras	Tiempo en que el equipo está operativo, pero temporalmente detenido o impedido de realizar el trabajo debido a retrasos inherentes al ciclo de la operación de equipo.
T9	T. Efectivo	Tiempo en que el equipo se encuentra desarrollando las actividades según su diseño y llevando a cabo actividades que contribuyen directamente a la producción.
T10	T. Pérdidas Operacionales	Corresponde cuando el equipo se detiene por razones operacionales y/o funciona según su función prevista, pero

		con una capacidad reducida debido a deficiencias funcionales, configuraciones ineficientes u otras ineficiencias operativas.
T11	T. Demoras Programadas	El equipo está operativo, pero temporalmente detenido o impedido de realizar el trabajo debido a retrasos programados que son inherentes al ciclo de la operación del equipo y se tiene certeza del momento y la duración de su ocurrencia.
T12	T. Demoras No Programadas	El equipo está operativo, pero temporalmente detenido o impedido de realizar el trabajo debido a retrasos no programados que son inherentes al ciclo de la operación y no se tiene certeza del momento y la duración de su ocurrencia.
T13	T. en Reserva	Tiempo que implica inactividad del equipo de manera voluntaria o planificada (al momento de ser requerido el equipo debe encontrarse inmediatamente disponible para ser utilizado, de lo contrario no puede considerarse como reserva).
T14	T. Mantenimiento No Programada	Detenciones del equipo a causa de daño, falla de un equipo y extensión de un mantenimiento programado.
T15	T. Mantenimiento Programada	Detenciones del equipo a causa de actividades de mantenimiento incorporadas en un programa anterior a la detención.
T16	T. Evento No Controlable	Tiempo de detención atribuibles a factores externos a la capacidad de gestión de la operación, afectándose transversalmente en sus procesos productivos. Se consideran externos, tales como el sistema interconectado de energía eléctrica, sistemas de alimentación de agua, toma de caminos, desastres medioambientales, atentados terroristas, entre otros. Los eventos externos deben superar las 12 horas. Para su aplicación son requisitos que la operación completa se vea afectada y contar con aprobación.
T17	T. No Programado para Producir	Tiempo de detención en el que el equipo no está considerado en el plan de producción por más de 60 días.

Tabla 1: Definición de Tiempos

b) Definición de asignación de tiempo de detenciones de equipos.

Normalmente las asignaciones de las detenciones de equipos las realizan los Operadores de las Sala de Control de forma inmediata, y 1 vez al día los Jefe de turno de Operaciones y Mantenimiento realizan una reunión de conciliación donde revisan las imputaciones y llegan a un acuerdo. Muchas veces ambos equipos no tienen los mismos criterios para la clasificación de la detención y no se llega a acuerdo; para evitar estas situaciones el modelo entrega algunos alineamientos para la clasificación de la detención con el propósito unificar criterios en los casos que se presenten esas disyuntivas en los equipos. Para una planta ellos son:

Variables Definidas a medir en el modelo	Criterios que debe aplicar el operador para asignar los tiempos a las detenciones de los equipos	Validaciones que realizar para asegurar la correcta asignación de tiempos de parte del operador
T1: T. Calendario	NA	NA
T2: T. Controlable	NA	NA
T3: T. No Controlable	1. Tiempo Eventos No Controlables 2. Tiempo No Programado para Producir	NA
T4: T. Disponible	1. Tiempo Operativo 2. Reserva	NA
T5: T. No Disponible	1. Mantenimiento No Programado 2. Mantenimiento Programado	NA
T6: T. Operativo	1. Tiempo Productivo 2. Tiempo en Demoras	NA
T7: T. Productivo	1. Tiempo Efectivo 2. Tiempo Pérdidas Operacionales	NA

T8: T. Demoras	1. Tiempo Demoras Programadas 2. Tiempo en Demoras No Programadas	NA
T9: T. Efectivo	1. Equipos en Producción	NA
T10: T. Pérdidas Operacionales	1. Rendimiento Reducido Equipos Planta 2. Detenciones Operacionales Equipos Planta	NA
T11: T. Demoras Programadas	1. Ajuste Programado de Equipos o Componentes 2. Calibración / Prueba Operacional 3. Colación con Relevó < 10 min 4. Detención / Retraso Programado en Procesos Aguas Abajo 5. Detención / Retraso Programado Aguas Arriba 6. Detención / Retrasos Programado en línea de proceso 7. Inspección de Equipos por el Operador < 10 min 8. Puesta en Servicio y Comisionamiento Programado 9. Muestreos y Medidas Programadas 10. Traslado de Equipos Programados	Validar con Jefe de Turno de Operación y Mantenimiento
T12: T. Demoras No Programadas	1. Activación de Sistema de Seguridad y Protección	Validar con Jefe de Turno de Operación y Mantenimiento

	2. Ajuste No Programado de Equipos y Componentes 3. Aseo y Limpieza No Programado 4. Corte de Energía Operacional (No programado) 5. Calibración / Prueba Operacional 6. Desalineamiento en Correas Transportadoras 7. Detención / Retraso No Programado En Procesos Aguas Abajo 8. Detención / Retraso No Programado en Procesos Aguas Arriba 9. Detención / Retraso No Programado en línea de proceso 10. Inspección / Chequeo No Programado en Equipos 11. Muestreos y Mediciones No Programadas 12. Puesta en Servicio y Comisionamiento No Programado 13. Trabajo No Productivo	
T13: T. Reserva	1. Aseo y Limpieza > 1 hora 2. Atollo y/o Elemento Extraño 3. Cambio de Turno sin Relevo 4. Capacidad Limitada / Copada AA o AB 5. Colación Plan sin Relevo	Validar con Jefe de Turno de Operación y Mantenión

	6. Detención por MP10 7. Equipo No Requerido menos a 60 días 8. Evento Externo < 12 horas 9. Evento de Seguridad y Emergencias 10. Falta de Insumos 11. Reflexión de Seguridad 12. Sin Operador 13. Tecnologías: Falla de Red de Comunicación 14. Tecnologías: Falla Hardware o Software	
T14: T. Mantenimiento No Programada	1. Mantenimiento No Programado de Equipos 2. Mantenimiento No Programado Origen Operacional	Validar con Jefe de Turno de Operación y Mantenimiento
T15: T. Mantenimiento Programada	1. Mantenimiento Programado de Equipos 2. Mantenimiento Programado Origen Operacional	Validar con Jefe de Turno de Operación y Mantenimiento
T16: T. Evento No Controlable	1. Emergencia Sanitaria 2. Evento Climático > 12 horas 3. Evento Mayor Externo > 12 horas	Validar con Jefe de Turno de Operación y Mantenimiento
T17: T. No Programado para Producir	1. Equipo Fuera del Plan +60 días	Validar con Jefe de Turno de Operación y Mantenimiento

Tabla 2: Definición de asignación de tiempos en detenciones de equipos

➤ Consideraciones para una correcta asignación

- Mantenimientos por Oportunidad: Si producto de una detención operacional, el equipo es intervenido por mantenimiento, dicho tiempo de

la detención se define como operacional. En el caso que la detención operacional finalice y mantenimiento aún se encuentra interviniendo el equipo, el delta de tiempo posterior al tiempo operacional se cataloga como mantenimiento no programado.

- Aseo y Limpieza: En el caso de mantenimiento programados, el tiempo asociado a limpiezas se asigna a operaciones, una vez esta termina, comienza el tiempo de mantenimiento programado (PM). En el caso de mantenimientos no programados, el tiempo asociado a limpieza se asigna a mantenimiento.

➤ Consideración para un correcto proceso de conciliación

En el proceso de conciliación el modelo de tiempo sugiere implementar el siguiente proceso de validación y conciliación de las imputaciones, y es:

1. En forma diaria, los jefes de turno de mantenimiento y operaciones deben revisar las imputaciones de los equipos.
2. Si identifican tiempos mal asignados deberán ser corregidos durante el turno. En caso de identificar una detención y no alcanzar un acuerdo entre ambas áreas, se debe informar al ingeniero senior de ejecución de mantenimiento y el ingeniero senior de operaciones.
3. Si entre ingenieros seniors no se obtiene un consenso para la detención, debe ser escalado al ingeniero de confiabilidad / procesos y sistemas e ingeniero de gestión operativa correspondientes, ellos deben acordar la asignación correcta.

c) Descripción de Indicadores según la medición de tiempos definidos.

El modelo también indica los indicadores que miden el desempeño productivo, y ellos son:

Indicador	Cálculo	Unidad de Medida
Tiempo Controlable	Tiempo Controlable / Tiempo Calendario	%
Utilización General	Tiempo Efectivo / Tiempo Calendario	%
Disponibilidad Física (DF)	Tiempo Disponible / Tiempo Controlable	%
Disponibilidad Mecánica (DM)	(Tiempo Disponible + Tiempo Eventos Origen Operacional) / Tiempo Controlable	%
Utilización Efectivo en Base Disponible (UEBD)	Tiempo Efectivo / Tiempo Disponible	%
Utilización Operativa en Base Disponible (UOBD)	Tiempo Operativo / Tiempo Disponible	%
Coeficiente de Marcha (CM)	Tiempo Efectivo / Tiempo Controlable	%
Eficiencia Operacional (EO)	Tiempo Efectivo / Tiempo Operativo	%
Rendimiento	Rendimiento Real / Rendimiento Nominal	%
Rendimiento Efectivo	Unidades Productivas / Tiempo Efectivo	Unidades productivas / horas
Rendimiento Operativo	Unidades Productivas / Tiempo Operativo	Unidades productivas / horas
% Trabajo Programado	Tiempo Mntto Programado / (Tiempo Mntto programado + Tiempo Mntto No programado)	%
Tiempo Medio Entre Fallas (MTBF)	Tiempo Operativo / Número de Fallas	Horas
Tiempo Medio de Reparación (MTTR)	Tiempo Mntto No Programado / Número de Fallas	Horas

Tabla 3: Indicadores según los tiempos definidos

Nota 1: Para cálculo de indicadores de MTBF y MTTR se considerarán las siguientes condiciones:

- Solo detenciones mayores a 5 minutos. En caso de que exista una serie de detenciones menores a 5 minutos con el mismo modo de detenciones serán agrupadas.
- Una detención en un cambio de turno se considera como una.
- Si entre detenciones existe un tiempo efectivo menos a 5 minutos, se deben agrupar las detenciones en una sola.
- Para el conteo de detenciones solo se consideran imprevistos de mantenimientos (MSM, MCE, MCI, etc), no considerar mantenimiento correctico operacional (MCO, MIO) o desviaciones de mantenimiento (DM).

Nota 2: Para el cálculo de métricas de planta se utilizará el enfoque sistémico, es decir, que la detención de cualquiera de los equipos de la planta impacta el desempeño de acuerdo con el peso del equipo en el rendimiento nominal de la planta y de su configuración (serie, paralelo, stand-by, fragmentación, etc). Esto implica que se debe configurar el diagrama lógico funcional de la planta y mantenerlo actualizado de manera de obtener la representación más confiable del desempeño de la planta.

4.4.3. ETAPA 3. Análisis e identificación de brechas del Modelo Actual Aplicado en Planta Concentradora v/s Modelo de Cálculo del OEE Aplicado a Empresas Productivas

El modelo de uso de tiempo de la compañía minera en cuestión constituye un sistema corporativo de clasificación y gobernanza del tiempo que asegura exhaustividad, consistencia y trazabilidad de las detenciones de activos en mina, planta y puerto. Su propósito central es estandarizar la captura e imputación de tiempos, habilitando el cálculo confiable de indicadores de desempeño y el benchmarking entre operaciones; este modelo existe para asegurar la calidad y consistencia del dato, comparabilidad corporativa, gestión y accountability entre las áreas de operación y mantenimiento. También resuelve las diferencias de criterio al imputar las detenciones, sesgos (culpa operación versus mantenimientos), inconsistencias entre faenas y la alta complejidad sistémica.

En contraste, el OEE es un modelo conceptual de desempeño, cuyo objetivo es interpretar la eficiencia del uso del tiempo, es decir, medir cuánto tiempo planificado termina agregando valor; mediante la descomposición de pérdidas en disponibilidad, rendimiento y calidad. Cuyo propósito es entregar un valor que traduzca el desempeño operacional (síntesis ejecutiva), priorizar las oportunidades localizando si el problema dominante es parada, velocidad o calidad, y finalmente comparar y seguir el comportamiento entre turnos, periodos, etc.

En conclusión. el modelo de uso de tiempo de la compañía minera opera como la infraestructura de datos y reglas de imputación que hace posible un cálculo de OEE robusto; mientras que el OEE entrega una síntesis estratégica orientada a la identificación y priorización de oportunidades de productividad; pero para que ambos modelos puedan coexistir es necesario estandarizar el lenguaje de ambos, clasificar las detenciones según las variables del OEE y entender finalmente si existen variables para cada múltiplo del OEE con el propósito de entregar un modelo

de cálculo de OEE para una planta concentradora, específicamente en molinos SAG, bajo la estandarización de un modelo de uso de tiempos.

4.4.3.1. Identificación de Brechas en modelo actual de medición de tiempos en compañía mineras v/s Modelo aplicado de medición de OEE en empresas productivas

Ya con ambos modelos descritos y un análisis de alto nivel, el siguiente paso es identificar las brechas existentes y proponer un modelo que logre estandarizar el cálculo del OEE en una planta concentradora con el fin identificar oportunidades de mejora que apalanquen la productividad o el ahorro de costos de la compañía.

Para comenzar el análisis, recordemos el cálculo teórico del OEE descrito en el marco teórico a través de la siguiente ilustración 6.



Ilustración 6: Cálculo Teórico del OEE

A continuación, se identificarán las brechas de ambos modelos y finalmente se propondrá un modelo que mantenga la estandarización de la asignación de los

tiempos pero que también permita calcular el OEE como base del mejoramiento continuo.

4.4.3.2. Análisis de Brechas del Modelo de Cálculo Utilizado en Empresas Productivas v/s Modelo Actual Planta Concentradora

La identificación de brechas se realizará por cada componente del OEE:

- Tiempo de Carga
- Tiempo de Operación + Disponibilidad
- Tiempo Neto + Rendimiento
- Tiempo Agregando Valor + Calidad

En cada punto se realiza una analogía entre los tiempos asociados al modelo de la compañía minera con las definiciones teóricas del OEE con el fin de ir identificando cada una de las variables y las faltantes; adicionando un comentario en la brecha identificada.

a. Tiempo de Carga

En la siguiente tabla se observa la identificación de los tiempos en base a la definición teórica del OEE y la situación actual de la minería, identificando sus brechas o similitudes.

Base Teórica Cálculo OEE			Situación Actual Minería		Brechas identificadas
Tiempo de carga	Tiempo que se planifica que la línea	=	Tiempo Operativo	Tiempo en que el equipo está habilitado para cumplir su	Sin Brecha

	debiera funcionar	=		función de diseño y se encuentra a disposición de la gestión del proceso.	
Tiempo de Turno	Total de horas asociadas al turno operacional	=	Tiempo Calendario	Tiempo total basado en el calendario gregoriano	En minería el tiempo de turno es de 12 horas en turno noche y 12 horas en turno día, por lo tanto, es un horario continuo de trabajo.
Tiempo de Paradas Programadas	Corresponde al tiempo planificado para hacer paradas programadas	=	Mantenimiento Programada	Detenciones del equipo a causa de actividades de mantenimiento incorporadas en un programa anterior a la detención.	En el modelo de tiempo existen 2 tipos de paradas programadas asociadas a las áreas de mantenimiento y operaciones que incluyen en el plan sus horas de detención.
			Demoras Programadas	El equipo este operativo, pero temporalmente detenido o impedido de realizar trabajo debido a retrasos programados inherentes al ciclo de la operación y se	



				tiene certeza del momento y la duración de su ocurrencia.	
Tiempo sin Producción	Corresponde al tiempo en el cual no se programó producción a la línea.	=	Reserva	Tiempo que implica inactividad del equipo de manera voluntaria o planificada (al momento de ser requerido el equipo debe encontrarse inmediatamente disponible para ser utilizado, de lo contrario no puede considerarse como reserva)	Se observan definiciones bastante distintas, pero en el fondo es el mismo objetivo, la programación de equipos sin producción.

	=	No Controlable	Tiempo en que los equipos no están en condiciones de agregar valor por factores fuera del alcance de la operación. Los equipos están detenidos por eventos externos mayores, no es requerido por el plan de producción debido a causas fuera de control de la compañía minera.	En el OEE no se observa ninguna definición donde se haga cargo de los eventos no controlables inherentes a la operación pero que, si detienen la operación, por lo tanto, se propone incluir en la formula este tipo de detenciones
--	---	----------------	--	---

Tabla 4: Identificación de brechas de Tiempo de Carga

Se considera agregar el “Tiempo No Controlable” en esta tabla, ya que según la definición de “Tiempo de Carga” cumple con la definición.

b. Tiempo de Operación

En la siguiente tabla 5 se observa la identificación de los tiempos en base a la definición teórica del OEE y la situación actual de la minería, identificando sus brechas.

Base Teórica Cálculo OEE			Situación Actual Minería		Brechas identificadas
Tiempo de Operación	Tiempo real de operación, descontando las paradas no programadas. El tiempo que se planifica que la línea debiera funcionar, corresponde al tiempo de carga descontando el tiempo de las paradas no programadas.	=	Tiempo Productivo	Tiempo en que el equipo está operando según el plan que fue asignado, ejecutando su función de diseño y realizando actividades que agregan valor o no valor directamente a la producción.	Sin brechas identificadas
Tiempo de Paradas No Programadas	Se define al tiempo de detenciones que no están planificadas y se observa una detención imprevista	=	Mantenimiento No Programado	Detenciones del equipo a causa de daño, falla o extensión de un mantenimiento no programado.	En el modelo de tiempo existen 2 tipos de paradas no programadas asociadas a las áreas de mantenimiento y operaciones, y son imputadas de

			Demoras No Programadas	El equipo está operativo, pero temporalmente detenido o impedido de realizar el trabajo debido a retrasos no programados que son inherentes al ciclo de la operación y no se tiene certeza del momento y duración de su ocurrencia.	diferentes manera pero que finalmente son iguales, detenciones no programadas.
Disponible	Corresponde al Tiempo en que el equipo está disponible para producir	=	Disponible	Tiempo en que el equipo se encuentra disponible físicamente para cumplir con su función de diseño.	La disponibilidad observada en el modelo no considera las detenciones asociadas al área de operación.

Tabla 5: Identificación de brechas de Tiempo de Operación

Se observa que la Disponibilidad en modelo minero tiene una definición distinta a la de OEE, ya que lo separa de las detenciones “operacionales” o correspondientes al área de operación.

c. Tiempo Neto

En la siguiente tabla se observa la definición de los tiempos en base a la definición teórica del OEE y la situación actual de la minería, identificando sus brechas o similitudes para el tiempo neto.

Base Teórica de Cálculo OEE			Situación Actual Minería		Brechas identificadas
Tiempo Neto	Tiempo de Operación menos el tiempo asociado a las pérdidas de velocidad.	=	Tiempo Efectivo	Tiempo en que el equipo se encuentra desarrollando las actividades según su diseño y llevando a cabo actividades que contribuyen directamente a la producción.	Se observan definiciones diferentes, pero con el mismo objetivo: Tiempo de Operación Efectivo del equipo sin considerar las pérdidas por velocidad
Tiempo por Pérdidas de Velocidad	Coeficiente entre la diferencia de producción generada por la pérdida de velocidad y la velocidad estándar de SKU.	=			No se Observa ninguna definición similar en el modelo de tiempo la cual la podamos asociar a las pérdidas por velocidad de forma tan directa

			Pérdidas Operacionales es	Corresponde cuando el equipo se detiene por razones operacionales y/o funciona según su función prevista, pero con una capacidad reducida debido a deficiencias funcionales, configuraciones ineficientes u otras ineficiencias operativas.	En el modelo de tiempo existe una última asignación de tiempo que se hace cargo de la reducción de capacidad del equipo en base a detenciones operacionales
Rendimiento	Velocidad o flujo de procesamiento	=	No tiene definición en el Modelo		En el modelo de tiempo no se observa de forma directa un tiempo asignado al Rendimiento, por lo tanto, la primera conclusión es que el modelo de tiempo por sí solo no logra calcular el OEE del equipo, ya que no hay una definición para Rendimiento.

Tabla 6: Identificación de brechas de Tiempo Neto

d. Tiempo Agregando Valor

En la siguiente tabla 7 se observa la definición de los tiempos en base a la definición teórica del OEE y la situación actual de la minería, identificando sus brechas o similitudes para el tiempo agregando valor.

Base Teórica de Cálculo OEE			Situación Actual Minería	Brechas identificadas
Tiempo Agregando Valor	Corresponde el tiempo neto menos el tiempo asociado a las pérdidas por calidad	=		En el modelo de tiempo no se identifica ningún tiempo que tenga como resultado el descuento por pérdidas de calidad
Tiempo por Pérdidas de Calidad	Corresponde a las unidades malas sobre la velocidad estándar de SKU, donde las unidades malas se definen como la producción no conforme.		El Modelo No considera tiempos por pérdidas de calidad	En el modelo de tiempo en la minería no se identifica ninguna definición de tiempo asociado a la calidad del producto.
Calidad	Tiempo entre el tiempo agregando valor y el tiempo neto, entendiendo que es la		El Modelo No considera la Calidad	El modelo de tiempo no considera la calidad como procesos

	producción que cumple con los requisitos técnicos.			
--	--	--	--	--

Tabla 7: Identificación de brechas de Tiempo Agregando Valor

4.4.4. ETAPA 4: Modelo propuesto de medición de Desempeño Operacional (OEE) para una Planta Concentradora – Procesos de Molienda

4.4.4.1 Tiempo de Carga

El tiempo de carga se calcula de la siguiente forma según la base teórica del OEE:

Tiempo de Carga

$$= \text{Tiempo de Turno} - \text{Tiempo de Parada Programadas} \\ - \text{Tiempos Sin Producción}$$

Base Teórica Cálculo OEE			Situación Actual Minería		Modelo propuesto
Tiempo de carga	de	Tiempo que se planifica que la línea debiera funcionar	=	Tiempo Operativo	Tiempo en que el equipo está habilitado para cumplir su función de diseño y se encuentra a disposición de la gestión del proceso.
					Utilizar Tiempo Operativo

Tiempo de Turno	Total de horas asociadas al turno operacion al	=	Tiempo Calendario	Tiempo total basado en el calendario gregoriano	Utilizar Calendario	Tiempo
Tiempo de Paradas Programadas	Corresponde al tiempo planificado o para hacer paradas programadas	=	Mantenimiento Programada	Detenciones del equipo a causa de actividades de mantenimiento incorporadas en un programa anterior a la detención.	Tiempo de Paradas Programadas	=
			Demoras Programadas	El equipo este operativo, pero temporalmente detenido o impedido de realizar trabajo debido a retrasos programados inherentes al ciclo de la operación y se tiene certeza del momento y la duración de su ocurrencia.	Mantenimiento Programada + Demoras Programadas	

Tiempo sin Producción	Corresponde al tiempo en el cual no se programó producción a la línea.	=	Reserva	Tiempo que implica inactividad del equipo de manera voluntaria o planificada (al momento de ser requerido el equipo debe encontrarse inmediatamente disponible para ser utilizado, de lo contrario no puede considerarse como reserva)	Reserva
		=	No Controlable	Tiempo en que los equipos no están en condiciones de agregar valor por factores fuera del alcance de la operación. Los equipos están detenidos por eventos externos mayores, no es requerido por	Tiempo No Controlable

			el plan de producción debido a causas fuera de control de la compañía minera.	
--	--	--	---	--

Tabla 8: Modelo propuesto para Tiempo de Carga

Por lo tanto, quedan las siguientes definiciones e igualdades.

- *Tiempo de Carga = Tiempo Operativo*
- *Tiempo de Turno = Tiempo Calendario*
- *Tiempo de Paradas Programadas = Mantención Programada + Demoras Programadas*
- *Tiempo sin Producción = Reserva*
- Se adhiere a la fórmula el Tiempo No Controlable.

Finalmente, si la fórmula de Tiempo de Carga o Tiempo Operativo queda de la siguiente manera:

Tiempo Operativo

$$\begin{aligned}
 &= \textit{Tiempo Calendario} - \textit{Mantención Programada} \\
 &\quad - \textit{Demoras Programadas} - \textit{Reserva} \\
 &\quad - \textit{Tiempo No Controlable}
 \end{aligned}$$

Cabe señalar que, según esta definición, se consideró aplicar un desempeño operacional – OEE, con una mirada de OEE gerencial o estratégico, con el objetivo de vincular el aumento de desempeño operacional e identificación de oportunidades de mejoras a un ahorro en costos y un aumento real de la productividad.

4.4.4.2 Tiempo de Operación

El Tiempo Operacional se calcula de la siguiente manera:

Tiempo Operacional

= Tiempo de Carga – Tiempo de Paradas No Programadas

Base Teórica Cálculo OEE			Situación Actual Minería		Modelo propuesto
Tiempo de Operación	Tiempo real de operación, descontando las paradas no programadas. El tiempo que se planifica que la línea debiera funcionar, corresponde al tiempo de carga descontando el tiempo de las paradas no programadas.	=	Tiempo Productivo	Tiempo en que el equipo está operando según el plan que fue asignado, ejecutando su función de diseño y realizando actividades que agregan valor o no valor directamente a la producción.	Tiempo Productivo
Tiempo de Paradas No Programadas	Se define al tiempo de detenciones que no están	=	Mantenimiento No Programada	Detenciones del equipo a causa de daño, falla o	Se considera la suma del tiempo de la mantención no programada y

	planificadas y se observa una detención imprevista			extensión de un mantenimiento no programado.	las demoras no programadas como el Tiempo de Paradas No Programadas
			Demoras No Programadas	El equipo está operativo, pero temporalmente detenido o impedido de realizar el trabajo debido a retrasos no programados que son inherentes al ciclo de la operación y no se tiene certeza del momento y duración de su ocurrencia.	
Disponible	Corresponde al Tiempo en que el equipo está disponible para producir	=	Disponible	Tiempo en que el equipo se encuentra disponible físicamente para cumplir con su función de diseño.	Disponible

Tabla 9: Modelo propuesto para Tiempo de Operación

Por lo tanto, quedan las siguientes igualdades:

- *Tiempo de Operación = Tiempo Productivo*
- *Tiempo de Paradas No Programadas = Mantención No Programadas + Demoras No Programadas*

Como se comentó en las brechas la disponibilidad en el modelo actual de minería no considera las detenciones “operacionales”, por lo tanto, en el modelo propuesto se considera la definición de OEE en Disponibilidad.

Finalmente, el Tiempo de Operación sirve para hacer el 1° cálculo del OEE, Disponibilidad:

$$\text{Disponibilidad} = \frac{\text{Tiempo Productivo}}{\text{Tiempo Operativo}}$$

4.4.4.3 Tiempo Neto

Tiempo Neto se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Tiempo Neto} = \text{Tiempo de Operación} - \text{Tiempo por Pérdidas de Velocidad}$$

Base Teórica de Cálculo OEE			Situación Actual Minería		Modelo propuesto
Tiempo Neto	Tiempo de Operación menos el tiempo asociado a las pérdidas de velocidad.	=	Tiempo Efectivo	Tiempo en que el equipo se encuentra desarrollando las actividades según su diseño y llevando a cabo actividades que contribuyen	Tiempo Efectivo

				directamente a la producción.	
Tiempo por Pérdidas de Velocidad	Coeficiente entre la diferencia de producción generada por la pérdida de velocidad y la velocidad estándar de SKU.	=			Se propone el cálculo tal cual el OEE Teórico
			Pérdidas Operacionales	Corresponde cuando el equipo se detiene por razones operacionales y/o funciona según su función prevista, pero con una capacidad reducida debido a deficiencias funcionales, configuraciones	Se propone no considerar en el cálculo del OEE ya que las detenciones operacionales no programadas están en el otro ítem de pérdida y el rendimiento se calculará según OEE Teórico.

				ineficientes u otras ineficiencias operativas.	
Rendimiento	Velocidad o flujo de procesamiento	=	No tiene definición en el Modelo		Se considera una propuesta similar a la definida por el OEE teórico

Tabla 10: Modelo propuesto para Tiempo Neto

Por lo tanto, queda la siguiente igualdad:

- $Tiempo\ Neto = Tiempo\ Efectivo$

Donde el Tiempo Efectivo, es:

$$Tiempo\ Efectivo = Tiempo\ Productivo - Tiempo\ por\ Pérdidas\ de\ Velocidad$$

Donde,

$$Tiempo\ por\ Pérdida\ de\ Velocidad$$

$$= \frac{Diferencia\ de\ Producción\ por\ la\ Pérdida\ de\ Velocidad}{Velocidad\ Estándar\ de\ SKU\ (VSS)}$$

Y,

$$\begin{aligned} & \textit{Diferencia de Producción por la Pérdida de Velocidad} \\ & = \textit{Producción Teórica} - \textit{Producción Real} \end{aligned}$$

donde,

$$\textit{Producción Teórica} = \textit{Velocidad Estándar (VSS)} * \textit{Tiempo de Operación}$$

Entenderemos:

- Producción Teórica como la capacidad nominal del equipo (diseño)
- Producción Real, la producción declarada en los libros de gestión
- Velocidad Estándar, como la velocidad nominal del equipo.
- Tiempo de Operación, igual al tiempo calendario

Finalmente, el Tiempo Efectivo se utiliza para hacer el 2° cálculo del OEE, Rendimiento.

$$\textit{Rendimiento} = \frac{\textit{Tiempo Efectivo}}{\textit{Tiempo Productivo}}$$

4.4.4.4 Tiempo Agregando Valor

El Tiempo Agregando Valor se calcula de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} & \textit{Tiempo Agregando Valor} \\ & = \textit{Tiempo Neto} - \textit{Tiempo por Pérdidas de Calidad} \end{aligned}$$

Base Teórica de Cálculo OEE			Situación Actual Minería	Modelo propuesto
Tiempo Agregando Valor	Corresponde el tiempo neto menos el tiempo	=		Se propone considerar Tiempo agregando Valor con la misma fórmula de cálculo que tiene el OEE Teórico

	asociado a las pérdidas por calidad			
Tiempo por Pérdidas de Calidad	Corresponde a las unidades malas sobre la velocidad estándar de SKU, donde las unidades malas se define como la producción no conforme.		El Modelo No considera tiempos por pérdidas de calidad	Desde la perspectiva de la planta concentradora, el P80 es un indicador clave de granulometría que debe ser cumplido tanto por el concentrado como por los desechos enviados al relave. Su relevancia es especialmente crítica en la construcción del muro de relaves, ya que las arenas generadas deben cumplir con una granulometría específica para asegurar una adecuada compactación. El incumplimiento de este requisito ha provocado restricciones y detenciones del proceso aguas arriba, particularmente en molienda. En este contexto, el control del P80 se consolida como un factor crítico para la continuidad operacional y la gestión de la calidad del proceso.
Calidad	Tiempo entre el tiempo agregando valor y el tiempo neto, entendiendo que es la producción		El Modelo No considera la Calidad	Se propone utilizar el mismo modelo de cálculo que OEE Teórico

	que cumple con los requisitos técnicos.			
--	--	--	--	--

Tabla 11: Modelo propuesto para Tiempo Agregando Valor

Desde la perspectiva de la planta concentradora, el P80 constituye un indicador fundamental de granulometría, el cual debe ser cumplido por el mineral tanto en el concentrado como en los desechos destinados al depósito de relaves.

Diversos análisis operacionales han permitido identificar que el P80 adquiere una relevancia crítica en la etapa de construcción y estabilidad del muro de relaves, dado que las arenas generadas deben cumplir con una granulometría específica que asegure condiciones adecuadas de compactación y estabilidad geotécnica. El incumplimiento de estos requisitos granulométricos ha derivado en restricciones operacionales y detenciones del proceso aguas arriba, particularmente en la etapa de molienda, como consecuencia de limitaciones impuestas por el sistema de manejo de relaves.

En este contexto, el control de la calidad del proceso medido a través del P80 se posiciona como un factor crítico para la continuidad operacional y la integración del desempeño del proceso productivo, consolidándose como una variable clave dentro de la gestión de la calidad y del desempeño operacional, especialmente en su vinculación con el indicador de Efectividad Global del Equipo (OEE) en la etapa de molienda.

Por lo tanto, se ratifica que Tiempo Agregando Valor se puede calcular tal cual como se defina al inicio de este capítulo, pero donde:

$$\text{Tiempo por Péridas de Calidad} = \text{Tiempo por Pérdida de P80}$$

Como nuevo indicador para el modelo de tiempo y la adaptación para el cálculo del OEE.

Finalmente, el Tiempo Agrando Valor sirve para calcular el 3° y último indicador del OEE, Calidad:

$$Calidad = \frac{Tiempo\ Agregando\ Valor}{Tiempo\ Efectivo}$$

4.4.4.5 Gráfica explicativa de cálculo OEE, según Modelo propuesto para una Planta Concentradora – Procesos de Molienda:



Ilustración 7: Modelo grafico propuesto

4.5. FASE 5: APLICACIÓN y VALIDACIÓN DEL MODELO PROPUESTO

En este capítulo se realizará una validación del modelo propuesto a través de la aplicación del cálculo del OEE y la capacidad que pueda tener para identificar oportunidades de mejora enfocadas en aumentar la producción o el ahorro de costos, con una data real de detenciones de una planta concentradora de cobre, específicamente en el proceso de la molienda.

Para realizar la validación del modelo se deben seguir los siguientes pasos:

1. Definición de procesos y equipo a medir con el modelo propuesto
2. Descripción de la base de datos utilizada
3. Categorización de las detenciones
4. Cálculo de las variables del OEE
5. Cálculo del OEE
6. Identificación de oportunidades de mejora

4.5.1. Definición de procesos y equipos a medir con este modelo propuesto:

Para el análisis considerado en este trabajo se consideran:

- Molinos SAG
- Molinos de Bolas

Como se destacan en la ilustración 8.

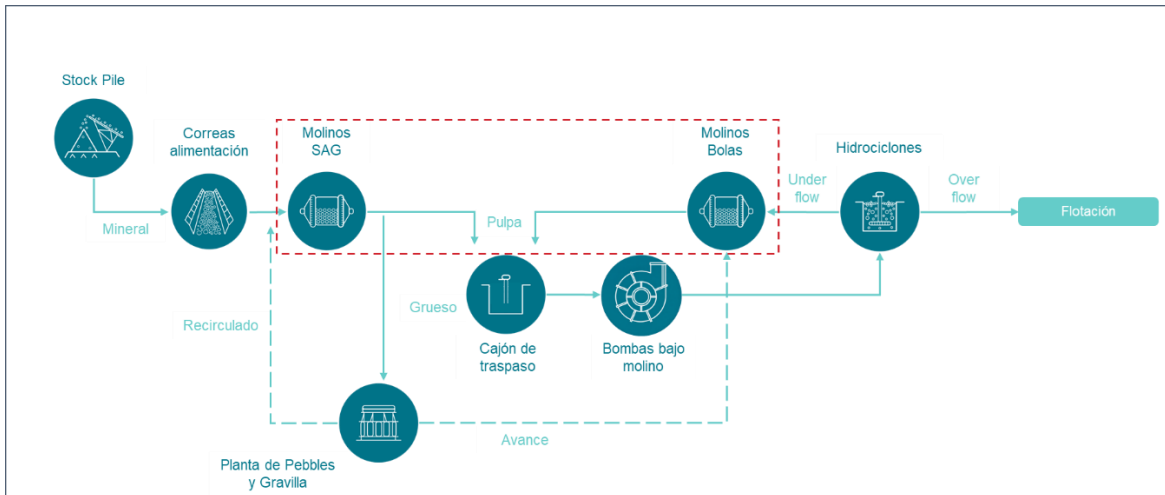


Ilustración 8: Proceso del modelo propuesto

4.5.2. Descripción de la Base de Datos Utilizada

Se utilizará la planilla de detenciones de una planta concentradora de cobre, específicamente del proceso de molienda, Anexo 1.

Esta planilla es alimentada por los operadores de la sala de control de la concentradora, quienes día a día y minuto a minuto van asignando las detenciones de la planta según la causa directa de la detención.

Se utilizará una base de datos de 1 mes de operación con 31 días del año, por lo tanto, el tiempo calendario es el siguientes:

$$\text{Tiempo Calendario} = 31 [\text{dias}] \times 24 [\text{horas}] = 744 [\text{horas}]$$

4.5.3. Categorización de las Detenciones según modelo propuesto

Analizando la data, se puede observar que las detenciones asignadas por los operadores no son tan directas como el modelo de tiempo, por lo que se realizará una asignación de detenciones en base a las definiciones del modelo.

Variables Cálculo OEE Propuesto		Modos de Detención
Tiempo Operativo		
Tiempo Calendario		Mes de 31 días
Tiempo de Paradas Programadas	Mantenión Programada	Mantenión Programada
	Demoras Programadas	-
Tiempo en Reserva		-
Tiempo No Controlable		-
Tiempo Productivo		
Tiempo de Paradas No Programadas	Mantenión No Programada	Mantenión correctiva Eléctrica
		Mantenión correctiva Instrumentación
		Mantenión correctiva Mecánica
	Demoras No Programadas	Detenciones Aguas Arriba
		Detenciones Aguas Abajo
		Detención Operacional
		Detención por Detención de Línea
Tiempo Efectivo		
Tiempo por pérdidas de velocidad		-
Tiempo Agregando Valor		
Tiempo por pérdidas de P80		-

Tabla 12: Categorización de las detenciones

Como podemos observar, la data nos entrega solo alguna de las variables definidas para el cálculo del modelo, como Tiempos de Paradas Programadas y Tiempo de Paradas No Programadas; que nos permite realizar el cálculo hasta Disponibilidad. El tiempo de pérdidas de velocidad se puede realizar en base a la velocidad real de producción y se profundizará en el siguiente capítulo y, finalmente en los tiempos de pérdidas de P80 se observa que no hay ninguna detención asociada a éste punto ya que el proceso es continuo y no hay una reprocesamiento del producto cuando hay una desviación del P80 sólo una detención que esta asociada a la variable

“Aguas Abajo” pero que se asigna a Disponibilidad. Por lo tanto, en el índice de la Calidad, podemos concluir de forma preliminar que será cero.

4.5.4. Cálculo del OEE según modelo propuesto

Para el cálculo de las variables realizaremos primero una suma de las horas de los modos de detenciones descritos en el punto anterior, ellos son:

Tipo de Detención	Suma de Horas Planta
Detención Aguas Abajo	0,15
Detención Aguas Arriba	1,28
Detención Operacional	6,17
Detención por Detención de Línea	9,97
Mantenimiento Correctiva Eléctrica	3,29
Mantenimiento Correctiva Instrumentación	0,04
Mantenimiento Correctiva Mecánica	18,27
Mantenimiento Programada	25,08
Total general	64,26

Tabla 13: Valores en horas de las detenciones

Por lo tanto, el valor de las variables de Tiempo Operativo y Tiempo Productivo queda de la siguiente manera:

Variables Cálculo OEE Propuesto		Modos de Detención	Valor [Horas]
Tiempo Operativo			718,9
Tiempo Calendario		Mes de 31 días	744

Tiempo de Paradas Programadas	Mantenimiento Programada	Mantenimiento Programada	25,1
	Demoras Programadas	-	0
Tiempo en Reserva		-	0
Tiempo No Controlable		-	0
Tiempo Productivo			679,74
Tiempo de Paradas No Programadas	Mantenimiento Programada	No Mantenimiento correctiva Eléctrica	3,29
		Mantenimiento correctiva Instrumentación	0,04
		Mantenimiento correctiva Mecánica	18,27
	Demoras Programadas	No Detenciones Aguas Arriba	1,28
		Detenciones Aguas Abajo	0,15
		Detención Operacional	6,17
		Detención por Detención de Línea	9,97

Tabla 14: Valores de variables OEE – Tiempo Operativo y Productivo

Para el cálculo del Tiempo Efectivo, debemos conocer el valor del Tiempo de Pérdidas de Velocidad que se calcula de la siguiente manera:

Tiempo por Pérdida de Velocidad

$$= \frac{\text{Diferencia de Producción por la Pérdida de Velocidad}}{\text{Velocidad Estándar de SKU (VSS)}}$$

Donde,

$$\begin{aligned} \text{Diferencia de Producción por la Pérdida de Velocidad} \\ = \text{Producción Teórica} - \text{Producción Real} \end{aligned}$$

Y,

$$\text{Producción Teórica} = \text{Velocidad Estándar (VSS)} * \text{Tiempo de Operación}$$

Entonces los valores son los siguientes:

Variables Cálculo OEE	Valor	
Propuesto		
Velocidad Teórica	8750	[ktpd]
Tiempo de Operación	31	[días]
Producción Teórica	271.250	[Kton]
Producción Real	190.000	[Kton]
Diferencia de Producción por Pérdida de Velocidad	81.250	[Kton]
Tiempo por Pérdida de Velocidad	9,3	[días]
Tiempo por Pérdida de Velocidad	222,86	[horas]
Tiempo Efectivo	456,88	[horas]

Tabla 15: Valores variables OEE - Tiempo Efectivo

Y finalmente el Tiempo Agregando Valor se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Tiempo Agregando Valor} = \text{Tiempo Neto} - \text{Tiempo por Pérdidas de Calidad}$$

Donde,

$$\text{Tiempo por Pérdidas de Calidad} = \text{Tiempo por Pérdida de P80}$$

Por lo tanto, buscando en la data si existe alguna detención asociada a Pérdidas por P80, se pudo observar que no existe ningún tiempo asociado ya que el proceso de la minería es un proceso continuo que no detiene para rectificar el tamaño del P80 sino que, ajusta sus parámetros a través de una detención de 1 molino de bola logrando ajustar el diámetro de la partícula en operación del proceso, y este tipo de detención se asocia a disponibilidad en el modelo de OEE. Se puede observar en la tabla 16 que ningún tiempo está asociado a Calidad.

Detenciones	Suma de Horas Planta
Detención Aguas Abajo	0,148
Detención Aguas Arriba	1,285
DETENCION AGUAS ARRIBA	0,195
Restricción Aguas Arriba	0,195
OTROS (ESPECIFICAR EN COMENTARIOS)	1,089
Restricción Aguas Arriba	1,089
Detención Operacional	6,171
ACCIONAMIENTO PULL CORD	0,032
Detención Enclavamiento ML009	0,032
CAMBIO SENTIDO DE GIRO	0,047
Falla Operacional	0,047
DEMORA OPERACIONAL (ESPECIFICAR EN COMENTARIOS)	0,159
Falla Operacional	0,159
DERRAME DE CONCENTRADO	0,038
Detención Enclavamiento Sag	0,038
ESTRATEGIA OPERACIONAL	1,023
Falla Operacional	1,023
FALLA EN LOGICA DE CONTROL	0,032
Falla Operacional	0,032
METALURGIA - GRIND OUT Y MEDICION DE NIVEL DE BOLAS	1,416
Falla Operacional	1,416
OTRAS CAUSAS OPERACIONALES	0,285
Falla Operacional	0,285
OTROS (ESPECIFICAR EN COMENTARIOS)	3,139
Detención Enclavamiento ML009	0,745
Detención Enclavamiento Sag	0,350
Falla Operacional	2,045
Detención por Detención de Línea	9,972
CAUSA OPERACIONAL OTRO EQUIPO	0,511

Detención Enclavamiento M5002	0,184
Falla Operacional	0,326
DET POR DETENCION EN LINEA	0,107
Falla Operacional	0,107
IMPREVISTO ELECTRICO OTRO EQUIPO	2,349
Detención Enclavamiento M5002	0,763
Detención Enclavamiento ML009	0,354
Falla Correa Alimentación	0,199
Falla Eléctrica Bomba	1,034
IMPREVISTO INSTRUMENTACION OTRO EQUIPO	2,146
Detención Enclavamiento M5002	0,208
Falla Correa Alimentación	1,938
IMPREVISTO MECANICO OTRO EQUIPO	4,655
Detención Enclavamiento Sag	1,206
Falla Componente Bomba	1,790
Falla Correa Alimentación	1,660
OTROS (ESPECIFICAR EN COMENTARIOS)	0,204
Falla Correa Alimentación	0,204
Mantenición Correctiva Eléctrica	3,292
Mantenición Correctiva Instrumentación	0,040
Mantenición Correctiva Mecánica	18,269
Mantenición Programada	25,084
Total general	64,260

Tabla 16: Detenciones

Por lo tanto, podemos concluir que esta variable no se puede calcular en los procesos mineros, quedando:

$$Calidad = \frac{Tiempo Agregando Valor}{Tiempo Efectivo}$$

4.5.5. Cálculo del OEE

Con los datos anterior agrupados y variables del OEE calculadas se puede realizar el cálculo de OEE, como se observa en el siguiente gráfico.

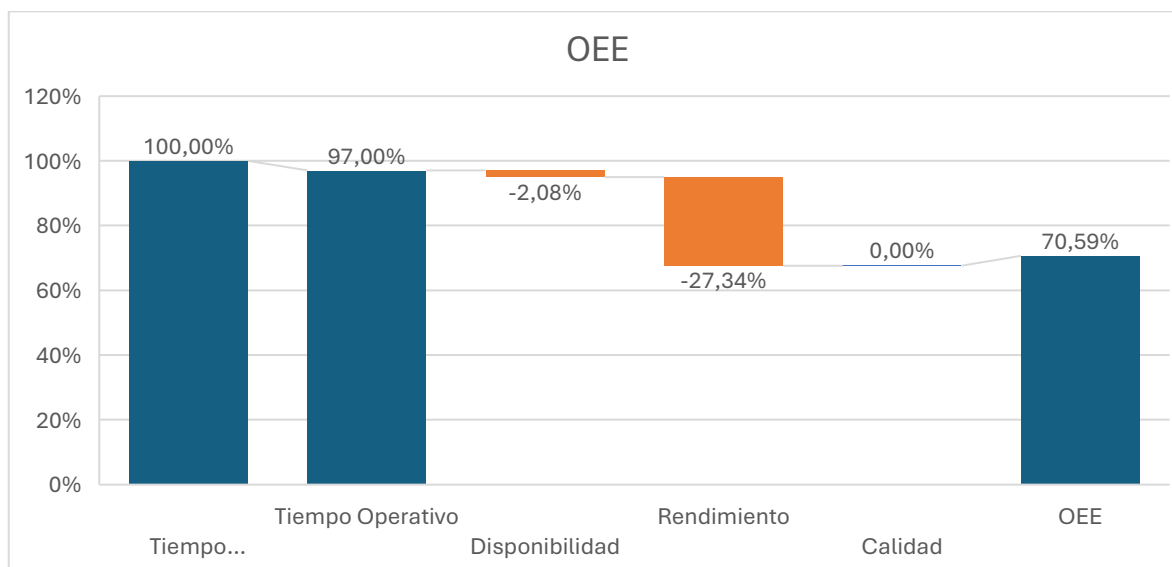


Ilustración 9: Gráfico de OEE

Donde podemos observar con las principales oportunidades en este mes de datos de una planta concentradora se encuentran en Rendimiento.

4.5.6. Identificación de Oportunidades de Mejora

En el gráfico de OEE se puede observar que tenemos oportunidades de mejoramiento tanto en la disponibilidad que está enfocada a las detenciones “Mantenimiento No Programada” y “Demoras No Programadas” como se identifica en la siguiente Tabla:

Variables OEE				Valor Real	Valor Meta
Tiempo de Paradas No Programadas	Mantenimiento No Programada	Mantenimiento correctiva Eléctrica		3,29	0
		Mantenimiento correctiva Instrumentación		0,04	0

		Mantenimiento correctiva Mecánica	18,27	0
	Demoras No Programadas	Detenciones Aguas Arriba	1,28	0
		Detenciones Aguas Abajo	0,15	0
		Detención Operacional	6,17	0
		Detención por Detención de Línea	9,97	0

Tabla 17: Identificación de oportunidades

Las Oportunidades se identifican en ir a realizar acciones que apunten en bajar las horas más altas de los “Tiempos de Paradas No programadas”, a través de metodologías de Excelencia Operaciones como la implementación del RdP (Resolución de Problemas) la cual, busca la causa raíz de la brecha e identifica acciones para la solución.

4.5.7. Validación de la aplicación del Modelo Propuesto

Al desarrollar el cálculo de OEE del modelo propuesto con una data real de detenciones de una planta concentradora podemos concluir de forma preliminar:

- EL OEE es un indicador que sirve para identificar oportunidades de mejora que ayuden a aumentar la producción sobre los planes establecidos o para la identificación de iniciativas de ahorro de costos.
- El OEE puede ser aún más granular si las perdidas asociada a cada indicador se encuentran bien establecidas, una de las principales observaciones que se pudo ver con la data analizada es la granularidad de la asignación de la pérdida ya que no es estandarizada.
- La calidad es una variable del OEE que no se puede calcular ya que el proceso de molienda en una planta concentradora es continuo, es decir, un proceso que no detiene en ninguno hora del año. Lo que si se debe medir de una forma más

específica son las detenciones asociadas al Molino de Bolas que se detiene ante una variación fuera de rango del P80.

- En Rendimiento se debe tener un árbol de KPI que logre identificar las desviaciones asignadas a la pérdida ya que hoy es una bolsa negra de desviaciones en que no se encuentra en la data.
- La disponibilidad está bien identificada, pero aún quedan oportunidades de mejora asociadas a tener detenciones más granulares según los modos de falla, tanto en mantenimiento como en operaciones.
- En detenciones operacionales planificadas se deben incluir las detenciones asociadas a la medición del nivel de bolas (grin out y crash stop) ya que están incluidas en el plan mensual y en la data se encuentran como detenciones operaciones no programadas ensuciando la data.
- La calidad de la data aun es deficiente, se debe hacer un trabajo muy importante con los operadores que asignan las detenciones, para que puedan asignar de forma correcta la detención de la planta, fortalecer la reunión de conciliación entre las áreas; para que finalmente logren identificar las oportunidades de mejora que puedan ir apalancando la producción.

5. IMPLEMENTACIÓN y ADOPCIÓN DEL MODELO PROPUESTO

La implementación del modelo de OEE propuesto para el proceso de molienda no debe entenderse únicamente como la incorporación de un nuevo indicador, sino como la introducción de un modelo integral de gestión del desempeño operacional.

Dado que en los capítulos anteriores se desarrolló la estandarización metodológica entre el modelo de uso de tiempo minero y el OEE teórico, la presente sección tiene como objetivo definir el marco estructurado que permitirá su aplicación efectiva, adopción organizacional y sostenibilidad en el tiempo.

Se propone un modelo de implementación basado en cinco pilares coherentes e interdependientes:

- a) *Gobernanza y estructura organizacional*: El primer pilar establece la estructura formal que asegura propiedad, responsabilidad y coherencia estratégica del modelo.

Para evitar que el OEE se transforme en un indicador aislado sin impacto en la gestión, se propone la siguiente estructura:

- **Dueño metodológico del modelo**: Gerencia de Excelencia Operacional.
- Responsable de implementación técnica: Área de Mejora Continua.
- **Soporte técnico**: Ingeniería de Procesos y Confiabilidad.
- **Responsables de ejecución diaria**: Jefes de turno y operadores de sala de control.

Una Gerencia transversal debe asumir la gobernanza del modelo, garantizando alineación con los objetivos productivos y evitando conflictos de interpretación entre operación y mantenimiento.

Este pilar asegura que el OEE sea reconocido como modelo oficial de desempeño operacional y no como un KPI adicional.

- b) *Estandarización técnica y aseguramiento del dato*: El segundo pilar tiene como objetivo asegurar la consistencia metodológica del cálculo y la confiabilidad de la información utilizada.

El análisis desarrollado previamente evidenció brechas en la clasificación de detenciones y ausencia de imputaciones consistentes en categorías como demoras no programadas.

Por lo tanto, la implementación requiere:

- Homologar formalmente las categorías del modelo de tiempo con las variables del OEE.
- Incorporar el Tiempo No Controlable en la estructura de Tiempo de Carga.
- Definir el cálculo formal de Rendimiento basado en producción nominal versus producción real.
- Generar un árbol de detenciones asociadas a Rendimiento que faciliten la identificación de la causa raíz de la desviación y poder hacer gestión sobre ella.
- Establecer protocolo formal de conciliación diaria entre operaciones y mantenimiento.

Este pilar garantiza que el OEE se construya sobre datos consistentes, comparables y auditables

- c) *Gestión del cambio y adopción cultural*: El tercer pilar reconoce que la implementación del OEE implica modificar la forma en que la organización interpreta el desempeño operacional.

Históricamente, las detenciones han sido analizadas bajo una lógica de asignación de responsabilidad entre áreas. El modelo OEE propone una visión sistémica de pérdidas, lo que requiere un proceso estructurado de gestión del cambio.

Se identifican como actores críticos:

- Operadores de sala de control.
- Jefes de turno.
- Ingenieros de mantenimiento.
- Superintendencia de molienda.
- Gerencia de operaciones.

Los principales riesgos organizacionales son:

- Percepción de aumento de carga administrativa.
- Temor a exposición de desempeño individual.
- Conflictos en la imputación de detenciones.

Para mitigar estos riesgos se propone:

- Capacitación técnica en lógica OEE.
- Comunicación enfocada en mejora del proceso y no en evaluación de personas.
- Simplificación visual del indicador para nivel operativo.
- Validación diaria colaborativa de datos.

La adopción cultural se consolida cuando el OEE pasa de ser un indicador reportado a ser una herramienta utilizada activamente para la toma de decisiones.

d) *Sistema estructurado de búsqueda de mejoras*: El cuarto pilar define la lógica mediante la cual el OEE se transforma en un motor de mejora continua.

- El modelo propone un ciclo estructurado:

- Identificación del factor dominante de pérdida (Disponibilidad, Rendimiento o Calidad).
- Análisis Pareto de detenciones.
- Aplicación de herramientas de análisis causa raíz.
- Priorización de iniciativas según impacto en toneladas y costo.
- Medición posterior del impacto en OEE.

Este enfoque permite evitar dispersión de esfuerzos y concentrar recursos en la principal brecha operacional.

De esta forma, el OEE se convierte en un mecanismo sistemático de priorización, alineado con principios de TPM y Lean Mining.

- e) *Modelo multinivel de indicadores y control de gestión:* El quinto pilar establece el esquema de monitoreo organizacional, asegurando alineación entre operación diaria y estrategia corporativa.

Se propone estructurar el seguimiento en tres niveles:

Nivel Operativo (Diario)

- OEE turno.
- Disponibilidad diaria.
- Toneladas reales versus nominales.
- Tiempo asociado a bajo P80.
- Tiempo de mantenimiento no programado.

Nivel Táctico (Semanal)

- OEE semanal.
- MTBF y MTTR del molino SAG.
- Pérdida acumulada por rendimiento.
- Cumplimiento del plan de mantenimiento.

Nivel Estratégico (Mensual)



- OEE mensual consolidado molienda.
- Variación respecto a presupuesto.
- Impacto económico estimado de las pérdidas.
- Tendencia anual de desempeño.

Este modelo permite que el indicador tenga coherencia vertical, conectando decisiones de turno con resultados financieros de la organización.

6. CONCLUSIONES

El desarrollo del presente trabajo permitió evidenciar que la aplicación del OEE en el proceso de molienda de una planta concentradora requiere una adaptación metodológica y organizacional que considere la complejidad del sistema minero y la existencia de un modelo corporativo de uso de tiempo; ya que se concluye que su aplicación es altamente relevante desde una perspectiva estratégica y operacional.

Unos de los principales hallazgos de esta investigación es que el modelo de uso de tiempo, ampliamente utilizado en la minería, constituye la infraestructura técnica que asegura calidad y consistencia del dato, pero no es suficiente por sí solo para interpretar el desempeño productivo. En este sentido, el OEE actúa como una capa interpretativa que permite traducir estos datos en una métrica integral de eficiencia, facilitando la identificación y priorización de oportunidades de mejoras desde una mirada transversal al negocio.

La propuesta desarrollada logra integrar ambos enfoques, generando un modelo híbrido que mantiene la rigurosidad del modelo de tiempos y, al mismo tiempo, incorpora la lógica de pérdidas del OEE. Este modelo permite abordar las principales brechas identificadas, como por ejemplo, mantenimiento no programado, detenciones no programadas, el rendimiento y comprender que la medición de la Calidad no es factible en la minería al ser un proceso continuo de producción.

De igual forma, se identificó que la calidad del dato es un habilitador fundamental del modelo, siendo imprescindible avanzar en la estandarización de criterios y en la formación de los equipos operacionales.

Desde una perspectiva organizacional, el estudio confirma que la implementación del OEE no debe abordarse como la incorporación de un nuevo KPI, sino como un cambio en la forma de gestionar el desempeño operacional. Esto implica alinear estructuras, procesos y cultura organizacional bajo una visión sistémica de las

pérdidas, donde la colaboración entre áreas reemplaza la lógica tradicional de asignación de responsabilidades y para esto el propone un modelo con 5 pilares: gobernanza clara, estandarización técnica, gestión del cambio, sistema de mejora estructurada y control multinivel de indicadores. La ausencia de cualquiera de estos elementos comprometería la sostenibilidad del modelo.

Finalmente, el modelo propuesto permite conectar la operación diaria con los resultados estratégicos del negocio, generando visibilidad sobre el impacto económico de las pérdidas operacionales y facilitando la toma de decisiones basada en datos. De esta manera, el OEE se consolida como una herramienta clave para avanzar hacia estándares de clase mundial, fortaleciendo la sostenibilidad, competitividad y eficiencia de la industria minera en un entorno cada vez más desafiante.

En conclusión, el modelo desarrollado permite transformar la medición del tiempo y las pérdidas en una herramienta de gestión que fortalece la disciplina operacional, mejora la confiabilidad de los activos y contribuye directamente a la competitividad y sostenibilidad del negocio minero bajo estándares de clase mundial.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Nakajima, S. (1998) Introduction to TPM: Total Productive Maintenance, Cambridge, MA Productivity Press
- Aleš, Z., Pavlů, J., Legát, V., Mošna, F., & Jurča, V. (2019). Methodology of overall equipment effectiveness calculation in the context of Industry 4.0 environment. *Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability*, 21(3), 411–418. <https://doi.org/10.17531/ein.2019.3.7>
- ATS International B.V. (2010). Overall Equipment Effectiveness (OEE): White Paper. Eindhoven: ATS Global.
- Elevli, S., & Elevli, B. (2010). Performance measurement of mining equipments by utilizing OEE. *Acta Montanistica Slovaca*, 15(2), 95–101.
- www.oeec.com
- www.sgdgroup.com
- www.leanproduction.com

8. ANEXOS

8.1. Anexo 1

Línea	Equipo Nombre	Fracción Evento Turno Ini	Fracción Evento Turno Fin	Duración Horas
L1	ML004	01-10-2025 13:08	01-10-2025 19:00	5,86
L1	ML004	01-10-2025 19:00	01-10-2025 19:23	0,38
L1	ML004	18-10-2025 22:21	19-10-2025 0:05	1,73
L3	SAG 3	30-09-2025 22:58	30-09-2025 23:48	0,83
L3	SAG 3	02-10-2025 18:39	02-10-2025 18:46	0,12
L3	SAG 3	02-10-2025 22:29	02-10-2025 22:53	0,40
L3	SAG 3	02-10-2025 22:56	02-10-2025 23:46	0,84
L3	SAG 3	04-10-2025 16:04	04-10-2025 17:19	1,25
L3	SAG 3	06-10-2025 21:43	06-10-2025 21:53	0,17
L3	SAG 3	07-10-2025 3:31	07-10-2025 3:53	0,36
L3	SAG 3	07-10-2025 10:18	07-10-2025 10:33	0,25
L3	SAG 3	07-10-2025 10:35	07-10-2025 15:05	4,50
L3	SAG 3	12-10-2025 19:47	12-10-2025 19:55	0,15
L3	SAG 3	14-10-2025 2:55	14-10-2025 3:31	0,62
L3	SAG 3	16-10-2025 14:32	16-10-2025 14:39	0,12
L3	SAG 3	16-10-2025 16:03	16-10-2025 19:00	2,94
L3	SAG 3	16-10-2025 19:00	16-10-2025 20:04	1,07
L3	SAG 3	22-10-2025 1:29	22-10-2025 1:44	0,26
L3	SAG 3	24-10-2025 1:37	24-10-2025 2:14	0,62
L3	SAG 3	24-10-2025 16:33	24-10-2025 16:43	0,17
L3	SAG 3	28-10-2025 23:17	29-10-2025 1:17	2,00
L3	SAG 3	29-10-2025 14:34	29-10-2025 14:41	0,12
L3	SAG 3	29-10-2025 14:44	29-10-2025 19:00	4,26
L3	SAG 3	29-10-2025 19:00	29-10-2025 19:34	0,58
L3	SAG 3	29-10-2025 20:26	30-10-2025 3:49	7,38
L3	SAG 3	30-10-2025 10:21	30-10-2025 10:33	0,19

L3	SAG 3	30-10-2025 11:00	30-10-2025 17:01	6,01
L3	SAG 3	30-10-2025 20:24	30-10-2025 20:57	0,54
L3	SAG 3	31-10-2025 2:43	31-10-2025 3:09	0,42
L3	SAG 3	31-10-2025 3:12	31-10-2025 7:00	3,79
L3	SAG 3	31-10-2025 15:53	31-10-2025 19:00	3,11
L2	SAG 2	02-10-2025 0:46	02-10-2025 4:09	3,38
L2	SAG 2	04-10-2025 23:49	04-10-2025 23:56	0,11
L2	SAG 2	09-10-2025 3:22	09-10-2025 4:55	1,56
L2	SAG 2	11-10-2025 1:22	11-10-2025 2:06	0,73
L2	SAG 2	11-10-2025 12:46	11-10-2025 14:42	1,93
L2	SAG 2	13-10-2025 23:05	13-10-2025 23:45	0,67
L2	SAG 2	14-10-2025 5:58	14-10-2025 7:00	1,03
L2	SAG 2	14-10-2025 7:00	14-10-2025 19:00	12,00
L2	SAG 2	14-10-2025 19:00	15-10-2025 7:00	12,00
L2	SAG 2	15-10-2025 15:16	15-10-2025 15:24	0,14
L2	SAG 2	17-10-2025 23:14	17-10-2025 23:21	0,11
L2	SAG 2	20-10-2025 12:44	20-10-2025 13:21	0,63
L2	SAG 2	20-10-2025 15:58	20-10-2025 16:12	0,23
L2	SAG 2	20-10-2025 16:17	20-10-2025 16:23	0,11
L2	SAG 2	20-10-2025 16:25	20-10-2025 19:00	2,58
L2	SAG 2	20-10-2025 19:00	20-10-2025 20:05	1,10
L2	SAG 2	22-10-2025 7:55	22-10-2025 8:45	0,83
L2	SAG 2	22-10-2025 14:38	22-10-2025 14:46	0,14
L2	SAG 2	23-10-2025 6:47	23-10-2025 7:00	0,20
L2	SAG 2	23-10-2025 7:00	23-10-2025 8:03	1,06
L2	SAG 2	27-10-2025 6:27	27-10-2025 7:00	0,54
L2	SAG 2	27-10-2025 7:00	27-10-2025 7:18	0,30
L2	SAG 2	30-10-2025 6:08	30-10-2025 6:18	0,17
L2	SAG 2	30-10-2025 19:06	30-10-2025 19:59	0,88
L2	SAG 2	31-10-2025 15:34	31-10-2025 16:56	1,37
L1	SAG 1	01-10-2025 10:18	01-10-2025 18:37	8,31
L1	SAG 1	02-10-2025 4:28	02-10-2025 6:40	2,19
L1	SAG 1	05-10-2025 22:51	05-10-2025 23:55	1,07

L1	SAG 1	08-10-2025 4:30	08-10-2025 5:13	0,72
L1	SAG 1	09-10-2025 22:46	09-10-2025 23:29	0,73
L1	SAG 1	11-10-2025 3:58	11-10-2025 5:11	1,22
L1	SAG 1	11-10-2025 5:15	11-10-2025 7:00	1,75
L1	SAG 1	11-10-2025 7:00	11-10-2025 9:47	2,79
L1	SAG 1	11-10-2025 9:48	11-10-2025 9:57	0,16
L1	SAG 1	11-10-2025 13:42	11-10-2025 13:53	0,19
L1	SAG 1	11-10-2025 14:15	11-10-2025 14:27	0,20
L1	SAG 1	11-10-2025 15:06	11-10-2025 15:17	0,19
L1	SAG 1	13-10-2025 13:30	13-10-2025 13:55	0,42
L1	SAG 1	15-10-2025 10:42	15-10-2025 12:42	2,00
L1	SAG 1	15-10-2025 12:42	15-10-2025 15:19	2,62
L1	SAG 1	16-10-2025 6:44	16-10-2025 6:53	0,15
L1	SAG 1	18-10-2025 23:17	18-10-2025 23:41	0,40
L1	SAG 1	19-10-2025 1:05	19-10-2025 1:15	0,17
L1	SAG 1	21-10-2025 15:15	21-10-2025 15:41	0,43
L1	SAG 1	22-10-2025 13:12	22-10-2025 16:25	3,21
L1	SAG 1	28-10-2025 5:40	28-10-2025 6:10	0,52
L1	SAG 1	28-10-2025 16:36	28-10-2025 18:19	1,71
L1	SAG 1	30-10-2025 6:08	30-10-2025 6:16	0,14
L1	SAG 1	31-10-2025 13:36	31-10-2025 15:05	1,48
L3	ML008	30-09-2025 19:00	30-09-2025 22:40	3,68
L3	ML008	30-09-2025 22:52	30-09-2025 23:53	1,01
L3	ML008	30-09-2025 23:53	01-10-2025 7:00	7,11
L3	ML008	01-10-2025 7:00	01-10-2025 11:06	4,11
L3	ML008	02-10-2025 6:10	02-10-2025 7:00	0,83
L3	ML008	02-10-2025 7:00	02-10-2025 10:05	3,10
L3	ML008	03-10-2025 23:05	03-10-2025 23:13	0,14
L3	ML008	05-10-2025 15:31	05-10-2025 16:01	0,50
L3	ML008	06-10-2025 6:26	06-10-2025 6:35	0,14
L3	ML008	06-10-2025 16:50	06-10-2025 16:56	0,11
L3	ML008	07-10-2025 5:27	07-10-2025 5:33	0,09
L3	ML008	08-10-2025 1:33	08-10-2025 1:39	0,11

L3	ML008	15-10-2025 9:34	15-10-2025 11:32	1,96
L3	ML008	23-10-2025 11:09	23-10-2025 11:40	0,53
L3	ML008	25-10-2025 18:44	25-10-2025 19:00	0,26
L3	ML008	25-10-2025 19:00	25-10-2025 19:14	0,24
L3	ML008	25-10-2025 20:46	25-10-2025 21:08	0,36
L3	ML008	25-10-2025 21:39	25-10-2025 22:05	0,43
L3	ML008	25-10-2025 22:08	25-10-2025 22:27	0,33
L3	ML008	27-10-2025 1:03	27-10-2025 1:09	0,10
L2	ML007	02-10-2025 1:01	02-10-2025 4:20	3,31
L2	ML007	02-10-2025 17:34	02-10-2025 18:01	0,44
L2	ML007	14-10-2025 7:30	14-10-2025 19:00	11,50
L2	ML007	14-10-2025 19:00	15-10-2025 7:00	12,00
L2	ML007	25-10-2025 18:44	25-10-2025 19:00	0,26
L2	ML007	25-10-2025 19:00	26-10-2025 5:48	10,81
L2	ML007	28-10-2025 14:25	28-10-2025 14:55	0,50
L2	ML006	03-10-2025 11:14	03-10-2025 19:00	7,76
L2	ML006	03-10-2025 19:00	03-10-2025 19:12	0,20
L2	ML006	14-10-2025 6:38	14-10-2025 7:00	0,36
L2	ML006	14-10-2025 7:00	14-10-2025 19:00	12,00
L2	ML006	14-10-2025 19:00	15-10-2025 7:00	12,00
L2	ML006	20-10-2025 10:33	20-10-2025 13:45	3,20
L2	ML006	23-10-2025 22:18	24-10-2025 6:10	7,86
L2	ML006	27-10-2025 7:04	27-10-2025 11:43	4,65
L1	ML005	01-10-2025 12:20	01-10-2025 18:21	6,02
L1	ML005	05-10-2025 18:53	05-10-2025 19:00	0,10
L1	ML005	05-10-2025 19:00	06-10-2025 7:00	12,00
L1	ML005	06-10-2025 7:00	06-10-2025 8:16	1,28
L1	ML005	13-10-2025 11:07	13-10-2025 11:24	0,29
L1	ML005	16-10-2025 4:30	16-10-2025 4:38	0,13
L1	ML005	17-10-2025 6:23	17-10-2025 6:32	0,14
L1	ML005	24-10-2025 13:43	24-10-2025 19:00	5,27
L1	ML005	24-10-2025 19:00	24-10-2025 20:57	1,96
L1	ML005	29-10-2025 13:17	29-10-2025 19:00	5,71

L1	ML005	29-10-2025 19:00	29-10-2025 23:09	4,16
L3	ML009	02-10-2025 10:51	02-10-2025 12:07	1,25
L3	ML009	02-10-2025 12:07	02-10-2025 18:23	6,27
L3	ML009	12-10-2025 15:35	12-10-2025 18:55	3,33
L3	ML009	18-10-2025 1:55	18-10-2025 5:55	4,00
L3	ML009	22-10-2025 1:33	22-10-2025 1:43	0,17
L3	ML009	24-10-2025 1:43	24-10-2025 2:03	0,33
L3	ML009	25-10-2025 0:13	25-10-2025 3:43	3,50
L3	ML009	31-10-2025 2:48	31-10-2025 3:08	0,33
L4	SAG 4	30-09-2025 19:22	30-09-2025 20:03	0,68
L4	SAG 4	01-10-2025 16:56	01-10-2025 17:21	0,42
L4	SAG 4	01-10-2025 21:17	01-10-2025 22:30	1,21
L4	SAG 4	02-10-2025 14:39	02-10-2025 17:01	2,35
L4	SAG 4	03-10-2025 16:50	03-10-2025 16:55	0,08
L4	SAG 4	05-10-2025 10:05	05-10-2025 10:53	0,80
L4	SAG 4	06-10-2025 5:59	06-10-2025 7:00	1,00
L4	SAG 4	06-10-2025 7:00	06-10-2025 19:00	12,00
L4	SAG 4	06-10-2025 19:00	07-10-2025 7:00	12,00
L4	SAG 4	07-10-2025 7:00	07-10-2025 13:54	6,91
L4	SAG 4	07-10-2025 14:00	07-10-2025 16:33	2,56
L4	SAG 4	08-10-2025 17:42	08-10-2025 18:45	1,05
L4	SAG 4	08-10-2025 23:24	09-10-2025 0:24	1,00
L4	SAG 4	09-10-2025 13:38	09-10-2025 15:25	1,79
L4	SAG 4	10-10-2025 7:22	10-10-2025 8:02	0,68
L4	SAG 4	10-10-2025 8:43	10-10-2025 10:03	1,32
L4	SAG 4	12-10-2025 4:53	12-10-2025 7:00	2,11
L4	SAG 4	12-10-2025 7:00	12-10-2025 8:35	1,60
L4	SAG 4	15-10-2025 7:24	15-10-2025 7:45	0,34
L4	SAG 4	16-10-2025 18:45	16-10-2025 19:00	0,24
L4	SAG 4	16-10-2025 19:00	16-10-2025 22:58	3,98
L4	SAG 4	18-10-2025 7:00	18-10-2025 8:09	1,15
L4	SAG 4	26-10-2025 14:46	26-10-2025 15:00	0,23
L4	SAG 4	26-10-2025 15:27	26-10-2025 16:09	0,69

L4	SAG 4	30-10-2025 22:15	30-10-2025 23:16	1,03
L4	ML010	02-10-2025 14:38	02-10-2025 16:44	2,10
L4	ML010	06-10-2025 6:30	06-10-2025 7:00	0,49
L4	ML010	06-10-2025 7:00	06-10-2025 19:00	12,00
L4	ML010	06-10-2025 19:00	07-10-2025 7:00	12,00
L4	ML010	07-10-2025 7:00	07-10-2025 14:47	7,80
L4	ML010	07-10-2025 15:18	07-10-2025 16:23	1,08
L4	ML010	09-10-2025 13:37	09-10-2025 15:07	1,50
L4	ML010	12-10-2025 5:50	12-10-2025 7:00	1,17
L4	ML010	12-10-2025 7:00	12-10-2025 8:11	1,19
L4	ML010	16-10-2025 21:36	16-10-2025 22:47	1,18

Tabla 18: Tabla con duración de la detención por línea

Línea	Horas Planta	Comentario
L1	0,44	Rotura en divisor de flujo sistema de lubricación SAG01
L1	0,03	Rotura en divisor de flujo sistema de lubricación SAG01
L1	0,13	Drenaje psm
L3	0,23	Obstrucción en succión de PP768
L3	0,03	Pérdida estado compuerta descarga
L3	0,11	Ruptura no real CV 702
L3	0,23	Ajuste piola sensor ruptura 2 CV 702
L3	0,34	Activación corte correa 2 de CV702
L3	0,05	Cambio de Giro
L3	0,10	Saturación filtro lubricación
L3	0,07	Contaminación aceite lubricación ML704 por filtración histórica en trommell
L3	1,22	Contaminación aceite lubricación ML704 por filtracion histórica en trommell
L3	0,04	Falla sensor de posición compuerta descarga a TK-736 (320-HV-10699)
L3	0,17	Cambio polín CV702
L3	0,03	Rotura parrillas / Operacional

L3	0,80	Rotura parrillas / Operacional
L3	0,29	Rotura parrillas / Operacional
L3	0,07	Detención bolas 9 por trip eléctrico
L3	0,17	Detención de molino 09
L3	0,05	Cambio sentido de giro MSAG03 por campaña
L3	0,54	Instalación de Parche en Parrilla / Operacional
L3	0,03	Activación pullcord 10361D por carga acumulada en FE703
L3	1,16	Saturación filtros de bombas baja presión sistema lubricación
L3	0,16	Contaminación sistema lubricación
L3	2,01	Fuga por flexible sistema de respaldo
L3	0,05	Detención sag 3 por saturación de filtros lubricación
L3	1,63	Detención sag 3 por saturación de filtros lubricación
L3	0,15	Detención sag 3 por saturación de filtros lubricación
L3	0,12	ML 703 lazo cerrado
L3	1,03	Detención sag 3 por saturación de filtros lubricación
L3	0,85	Contaminación aceite lubricación por fuga de pulpa por sello tromel
L2	0,92	Reaprete de pernos cilindro sag 2
L2	0,03	Activación pullcord 10 CV 021
L2	0,42	Detención de CV021 por falla guardera FE021
L2	0,20	Detención CV-021 por activación switch ruptura XA20451 (piola muy tensa)
L2	0,53	Reapriete de perno tapa alimentación.
L2	0,18	Activación sensor ruptura CV021
L2	0,28	Mantenimiento Programada
L2	3,26	Mantenimiento Programada
L2	3,26	Mantenimiento Programada
L2	0,04	Detención de cv125 por detención de harnero 01, falla compuerta recirculación
L2	0,03	Compuertas descarga en manual
L2	0,17	CV 021 activación ruptura N 4
L2	0,06	Detención CV 021 por trabamiento de estructura estacion de retorno provenientes de procesos superiores

L2	0,03	Detención CV 021 por trabamiento de estructura estación de retorno provenientes de procesos superiores
L2	0,70	Detención CV 021 por trabamiento de estructura estación de retorno provenientes de procesos superiores
L2	0,30	Detención CV 021 por trabamiento de estructura estación de retorno provenientes de procesos superiores
L2	0,22	Activación ruptura CV 021 proyección mineral
L2	0,04	Activación EAR GAP
L2	0,05	Rotura de Parrilla, instalación de parche / Operacional
L2	0,29	Rotura de Parrilla, instalación de parche / Operacional
L2	0,15	Limpieza filtros sistema enfriamientos
L2	0,08	Limpieza filtros sistema enfriamiento
L2	0,05	Falla de comunicación experto PSU30
L2	0,24	Limpieza filtros blower enfriamiento sag
L2	0,37	Alta temperatura devanado SAG2 falla blower
L1	2,26	Rotura en divisor de flujo sistema de lubricación SAG01
L1	0,60	Rotura en divisor de flujo sistema de lubricación SAG01
L1	0,29	Fuga por flexible en estanque de lubricación
L1	0,20	Detención CV 020 retiro greating proveniente stock pile
L1	0,20	Detención correa CV-20 por activación switch de ruptura XA 10451
L1	0,33	Detención MS01 para daño en polín estación 48 CV-021
L1	0,48	Fuga de aceite en divisor de flujo sistema bombas de alta presión (Sistema Lubricación)
L1	0,76	Fuga aceite por divisor de flujo sist. lubricación
L1	0,04	Fuga aceite por divisor de flujo sist. lubricación
L1	0,05	Bajo flujo sistema lubricación bombas de alta
L1	0,05	Bajo flujo sistema lubricación bombas de alta
L1	0,05	Bajo flujo sistema lubricación bombas de alta
L1	0,11	Alta temperatura ciclo conversor SAG01
L1	0,54	Retiro de chute inspección nivel
L1	0,71	Cambio de perno Union Trunnion Tapa
L1	0,04	Saturación de filtro lubricación SAG 1
L1	0,11	Falla sistema enfriamiento sag 1

L1	0,05	Falla sistema enfriamiento sag 1
L1	0,12	Alta Temperatura en CCV
L1	0,87	Medición nivel de llenado SAG
L1	0,14	Sin Comentarios
L1	0,46	Detención Molino SAG1 por rotura parrilla / Operacional
L1	0,04	Falla de comunicación experto PSU30
L1	0,40	Falla cableado sensor atollo CV021 (forzado)
L3	0,20	Estrategia operacional bajos P80
L3	0,06	Obstrucción succión PP768
L3	0,39	Estrategia operacional bajos P80
L3	0,22	P 80 bajo
L3	0,05	P 80 bajo
L3	0,17	p80 bajo
L3	0,01	Cambio bomba ciclones 768 a 767
L3	0,03	Drenaje cajón psi por alto nivel over flow
L3	0,01	Cambio de bomba ciclones
L3	0,01	Cambio de bomba
L3	0,00	Cambio bomba ciclones
L3	0,01	Detención PP 768
L3	0,11	Detención de pp768 por alta temperatura por bajo flujo de agua, nivel bajo de tk106
L3	0,03	Detención PP768 Falla VDF
L3	0,01	Falla VDF PP768
L3	0,01	Falla VDF PP768
L3	0,02	Falla VDF PP768
L3	0,02	Falla VDF PP768
L3	0,02	Cambio de bomba a PP767
L3	0,01	Cambio de bomba alimentación ciclones.
L2	0,25	Detención SAG 2 por reaprete pernos
L2	0,03	Saturación de filtros por relleno de aceite
L2	0,87	Mantenición Programada
L2	0,90	Mantenición Programada
L2	0,02	Desalineamiento descanso alimentación.



L2	0,81	Desalineamiento descanso alimentación.
L2	0,04	Detención bomba PP104 por alto nivel cajón overflow.
L2	0,58	Falla rtd temperatura descanso motor ML006
L2	0,02	Falla rtd temperatura descanso motor ML006
L2	0,03	Mantenición Programada
L2	0,90	Mantenición Programada
L2	0,90	Mantenición Programada
L2	0,24	Cambio rotor Seal
L2	0,59	Falla RTD cable suelto
L2	0,35	Alta presión filtros de baja sistema lubricación (contaminación aceite lubricación)
L1	0,45	Rotura en divisor de flujo sistema de lubricación SAG01
L1	0,01	Fuga línea de lubricación
L1	0,90	Fuga línea lubricación
L1	0,10	Fuga línea lubricación
L1	0,02	Cambio de PP002 a PP102
L1	0,01	Cambio de bomba de PP102 a PP002
L1	0,01	Cambio de bomba de PP002 a PP102
L1	0,40	Bajo flujo bombas de alta FAL1641
L1	0,15	Bajo flujo aceite de lubricación.
L1	0,43	Bajo flujo riel de empuje FAL1635
L1	0,31	Bajo flujo riel de empuje FAL 1635
L3	0,16	Sin comentarios
L3	0,80	Tensionado de pernos unión Tapa shell
L3	0,42	Tensionado de pernos unión Tapa shell
L3	0,51	Tensionado de pernos unión Tapa shell
L3	0,02	Trip de control de lazo cerrado y apertura 23 kv
L3	0,04	Apertura 23 kv
L3	0,45	Reaprite pernos cilindro
L3	0,04	Enclavamiento Control lazo cerrado
L4	0,13	Falla VDF PP5001
L4	0,08	Activación sensor ruptura por proyección de carga rotura en CV5012
L4	0,22	Activación ruptura por caída mineral CV 5012 por rotura chute

L4	0,43	Detención de bolas 10 por falla chiller
L4	0,02	Activación tilt swich cv5010 cv5013 bloqueada por izaje
L4	0,15	Embanque líneas rougher
L4	0,18	Mantención Programada
L4	2,21	Mantención Programada
L4	2,21	Mantención Programada
L4	1,27	Mantención Programada
L4	0,47	Mantención Programada
L4	0,19	Sensor cortado y desactivado CV5001
L4	0,18	Activación sensor de ruptura CV5001
L4	0,33	Falla excitación y ciclo conversor ML5002
L4	0,12	Activación sensor de rotura CV5001
L4	0,24	Activación sensor de rotura CV5001
L4	0,39	Detención PP-5001 por filtración interna agua refrigerante VDF
L4	0,29	Desacople de línea refrigerante PP5001
L4	0,06	Diagnostico falla indica falla sistema lubricación.
L4	0,04	Fuga por sello PP 5001
L4	0,73	PP5001 mega fuga por sello prensa estopa
L4	0,21	Activación Ruptura CV 5001
L4	0,04	Activación sensor de ruptura CV5001
L4	0,13	Activación sensor de ruptura CV5001
L4	0,19	Detención bomba ciclones 5003 T° motor
L4	0,39	Detención de bolas 10 por falla chiller
L4	0,09	Mantención Programada
L4	2,21	Mantención Programada
L4	2,21	Mantención Programada
L4	1,44	Mantención Programada
L4	0,20	Mantención Programada
L4	0,28	Falla excitación y ciclo conversor ML5002
L4	0,21	Detención bomba PP-5001 por filtración interna agua refrigerante VDF
L4	0,22	Desacople de línea refrigerante PP5001
L4	0,22	PP5001 mega fuga por sello prensa estopa

Tabla 19: Tabla con comentario asociado a la detención y horas planta



Línea	Especialidad	Modo de Falla
L1	DDL	Detención Enclavamiento Sag
L1	DDL	Detención Enclavamiento Sag
L1	OPE	Falla Operacional
L3	DDL	Falla Componente Bomba
L3	OPE	Falla Operacional
L3	DDL	Falla Correa alimentación
L3	DDL	Falla Correa alimentación
L3	DDL	Falla Correa alimentación
L3	OPE	Falla Operacional
L3	OPE	Falla Operacional
L3	MEC	Falla Sist. Lubricación Molino Sag
L3	MEC	Falla Sist. Lubricación Molino Sag
L3	INST	Falla Compuerta
L3	DDL	Falla Correa alimentación
L3	OPE	Falla Operacional
L3	OPE	Falla Operacional
L3	OPE	Falla Operacional
L3	DDL	Detención Enclavamiento ML009
L3	DDL	Detención Enclavamiento ML009
L3	OPE	Detención Enclavamiento ML009
L3	OPE	Detención Enclavamiento ML009
L3	OPE	Detención Enclavamiento ML009
L3	MEC	Detención Enclavamiento ML009
L3	OPE	Detención Enclavamiento ML009
L3	MEC	Detención Enclavamiento ML009
L3	MEC	Detención Enclavamiento ML009
L3	MEC	Detención Enclavamiento ML009
L3	MEC	Detención Enclavamiento ML009
L3	MEC	Detención Enclavamiento ML009
L3	DDL	Detención Enclavamiento ML009
L3	MEC	Falla Sist. Lubricación Molino Sag
L3	MEC	Falla Sist. Lubricación Molino Sag
L2	MEC	Falla Revestimiento



L2	DDL	Falla Operacional
L2	DDL	Falla Correa alimentación
L2	DDL	Falla Correa alimentación
L2	MEC	Falla Revestimiento
L2	DDL	Falla Correa alimentación
L2	PRO	Mantenición Programada
L2	PRO	Mantenición Programada
L2	PRO	Mantenición Programada
L2	DDL	Falla Operacional
L2	OPE	Falla Operacional
L2	DDL	Falla Operacional
L2	RAR	Restricción Aguas Arriba
L2	RAR	Restricción Aguas Arriba
L2	RAR	Restricción Aguas Arriba
L2	RAR	Restricción Aguas Arriba
L2	DDL	Falla Correa alimentación
L2	ELEC	Falla Eléctrica Molino
L2	OPE	Falla Operacional
L2	OPE	Falla Operacional
L2	ELEC	Falla Eléctrica Molino
L2	ELEC	Falla Eléctrica Molino
L2	OPE	Falla Operacional
L2	ELEC	Falla Sist. Enfriamiento Motor
L2	ELEC	Falla Sist. Enfriamiento Motor
L1	MEC	Falla Sist. Lubricación Molino Sag
L1	MEC	Falla Sist. Lubricación Molino Sag
L1	MEC	Falla Sist. Lubricación Molino Sag
L1	RAR	Restricción Aguas Arriba
L1	DDL	Falla Correa alimentación
L1	DDL	Falla Correa alimentación
L1	MEC	Falla Sist. Lubricación Molino Sag
L1	MEC	Falla Sist. Lubricación Molino Sag
L1	MEC	Falla Sist. Lubricación Molino Sag



L1	MEC	Falla Sist. Lubricación Molino Sag
L1	MEC	Falla Sist. Lubricación Molino Sag
L1	MEC	Falla Sist. Lubricación Molino Sag
L1	ELEC	Falla Ciclo conversor
L1	OPE	Falla Operacional
L1	MEC	Falla pernos estructurales molino
L1	OPE	Falla Operacional
L1	ELEC	Falla Sist. Enfriamiento Motor
L1	ELEC	Falla Sist. Enfriamiento Motor
L1	ELEC	Falla Sist. Enfriamiento Motor
L1	OPE	Falla Operacional
L1	DDL	Falla Correa alimentación
L1	OPE	Falla Operacional
L1	OPE	Falla Operacional
L1	DDL	Falla Correa alimentación
L3	OPE	Falla Operacional
L3	DDL	Falla Componente Bomba
L3	OPE	Falla Operacional
L3	OPE	Falla Operacional
L3	OPE	Falla Operacional
L3	OPE	Falla Operacional
L3	DDL	Falla Operacional
L3	DDL	Falla Operacional
L3	DDL	Falla Operacional
L3	OPE	Falla Operacional
L3	DDL	Falla Operacional
L3	DDL	Falla Operacional
L3	DDL	Falla Operacional
L3	DDL	Falla Eléctrica Bomba
L3	DDL	Falla Eléctrica Bomba
L3	DDL	Falla Eléctrica Bomba
L3	DDL	Falla Eléctrica Bomba
L3	DDL	Falla Eléctrica Bomba



L3	DDL	Falla Eléctrica Bomba
L3	DDL	Falla Correa alimentación
L2	DDL	Detención Enclavamiento Sag
L2	DDL	Detención Enclavamiento Sag
L2	PRO	Detención Enclavamiento Sag
L2	PRO	Detención Enclavamiento Sag
L2	MEC	Detención Enclavamiento Sag
L2	MEC	Detención Enclavamiento Sag
L2	OPE	Detención Enclavamiento Sag
L2	ELEC	Detención Enclavamiento Sag
L2	ELEC	Detención Enclavamiento Sag
L2	PRO	Detención Enclavamiento Sag
L2	PRO	Detención Enclavamiento Sag
L2	PRO	Detención Enclavamiento Sag
L2	MEC	Detención Enclavamiento Sag
L2	ELEC	Detención Enclavamiento Sag
L2	OPE	Detención Enclavamiento Sag
L1	DDL	Detención Enclavamiento Sag
L1	MEC	Falla Sist. Lubricación Molino Bolas
L1	MEC	Falla Sist. Lubricación Molino Bolas
L1	MEC	Falla Sist. Lubricación Molino Bolas
L1	DDL	Falla Operacional
L1	OPE	Falla Operacional
L1	DDL	Falla Operacional
L1	MEC	Falla Sist. Lubricación Molino Bolas
L1	MEC	Falla Sist. Lubricación Molino Bolas
L1	MEC	Falla Sist. Lubricación Molino Bolas
L1	MEC	Falla Sist. Lubricación Molino Bolas
L3	OPE	Falla Operacional
L3	PRO	Mantenición Programada
L3	PRO	Mantenición Programada
L3	PRO	Mantenición Programada
L3	ELEC	Falla Eléctrica Molino



L3	ELEC	Falla Eléctrica Molino
L3	PRO	Mantenición Programada
L3	ELEC	Falla Eléctrica Molino
L4	DDL	Falla Eléctrica Bomba
L4	DDL	Falla Correa alimentación
L4	DDL	Falla Correa alimentación
L4	DDL	Detención Enclavamiento M5002
L4	DDL	Detención Enclavamiento M5002
L4	RAB	Detención Enclavamiento M5002
L4	PRO	Detención Enclavamiento M5002
L4	PRO	Detención Enclavamiento M5002
L4	PRO	Detención Enclavamiento M5002
L4	PRO	Detención Enclavamiento M5002
L4	PRO	Detención Enclavamiento M5002
L4	DDL	Detención Enclavamiento M5002
L4	DDL	Detención Enclavamiento M5002
L4	DDL	Detención Enclavamiento M5002
L4	DDL	Falla Correa alimentación
L4	DDL	Falla Correa alimentación
L4	DDL	Falla Eléctrica Bomba
L4	DDL	Falla Componente Bomba
L4	ELEC	Falla Eléctrica Molino
L4	DDL	Falla Componente Bomba
L4	DDL	Falla Componente Bomba
L4	DDL	Falla Correa alimentación
L4	DDL	Falla Correa alimentación
L4	DDL	Falla Correa alimentación
L4	DDL	Falla Eléctrica Bomba
L4	ELEC	Falla Sist. Enfriamiento Motor
L4	PRO	Mantenición Programada
L4	PRO	Mantenición Programada
L4	PRO	Mantenición Programada
L4	PRO	Mantenición Programada

L4	PRO	Mantenimiento Programada
L4	ELEC	Falla Ciclo conversor
L4	DDL	Falla Eléctrica Bomba
L4	DDL	Falla Componente Bomba
L4	DDL	Falla Componente Bomba

Tabla 20: Tabla con los modos de falla

Línea	Modo Falla Descripción	Modo Falla Descripción2
L1	IMPREVISTO MECANICO OTRO EQUIPO	Detención por Detención de Línea
L1	IMPREVISTO MECANICO OTRO EQUIPO	Detención por Detención de Línea
L1	OTRAS CAUSAS OPERACIONALES	Detención Operacional
L3	IMPREVISTO MECANICO OTRO EQUIPO	Detención por Detención de Línea
L3	FALLA EN LOGICA DE CONTROL	Detención Operacional
L3	IMPREVISTO INSTRUMENTACION OTRO EQUIPO	Detención por Detención de Línea
L3	IMPREVISTO INSTRUMENTACION OTRO EQUIPO	Detención por Detención de Línea
L3	IMPREVISTO INSTRUMENTACION OTRO EQUIPO	Detención por Detención de Línea
L3	CAMBIO SENTIDO DE GIRO	Detención Operacional
L3	OTRAS CAUSAS OPERACIONALES	Detención Operacional
L3	SIST LUBRI - FALLA SISTEMA DE LUBRICACION	Mantenimiento Correctiva Mecánica
L3	SIST LUBRI - FALLA SISTEMA DE LUBRICACION	Mantenimiento Correctiva Mecánica
L3	FALLA SWITCH DE POSICION	Mantenimiento Correctiva Instrumentación
L3	IMPREVISTO MECANICO OTRO EQUIPO	Detención por Detención de Línea
L3	OTROS (ESPECIFICAR EN COMENTARIOS)	Detención Operacional
L3	OTROS (ESPECIFICAR EN COMENTARIOS)	Detención Operacional

L3	OTROS (ESPECIFICAR EN COMENTARIOS)	Detención Operacional
L3	IMPREVISTO ELECTRICO OTRO EQUIPO	Detención por Detención de Línea
L3	IMPREVISTO ELECTRICO OTRO EQUIPO	Detención por Detención de Línea
L3	OTROS (ESPECIFICAR EN COMENTARIOS)	Detención Operacional
L3	OTROS (ESPECIFICAR EN COMENTARIOS)	Detención Operacional
L3	ACCIONAMIENTO PULL CORD	Detención Operacional
L3	SIST LUBRI - FALLA SISTEMA DE LUBRICACION	Mantenimiento Correctiva Mecánica
L3	OTROS (ESPECIFICAR EN COMENTARIOS)	Detención Operacional
L3	SIST LUBRI - FALLA SISTEMA DE LUBRICACION	Mantenimiento Correctiva Mecánica
L3	SIST LUBRI - FALLA SISTEMA DE LUBRICACION	Mantenimiento Correctiva Mecánica
L3	SIST LUBRI - FALLA SISTEMA DE LUBRICACION	Mantenimiento Correctiva Mecánica
L3	SIST LUBRI - FALLA SISTEMA DE LUBRICACION	Mantenimiento Correctiva Mecánica
L3	IMPREVISTO ELECTRICO OTRO EQUIPO	Detención por Detención de Línea
L3	SIST LUBRI - FALLA SISTEMA DE LUBRICACION	Mantenimiento Correctiva Mecánica
L3	SIST LUBRI - FALLA SISTEMA DE LUBRICACION	Mantenimiento Correctiva Mecánica
L2	REVEST - CILINDRO - PERNO SUELTO	Mantenimiento Correctiva Mecánica
L2	CAUSA OPERACIONAL OTRO EQUIPO	Detención por Detención de Línea
L2	IMPREVISTO MECANICO OTRO EQUIPO	Detención por Detención de Línea
L2	IMPREVISTO ELECTRICO OTRO EQUIPO	Detención por Detención de Línea

L2	REVEST - TAPA ALIMEN - PERNO CORTADO	Mantenimiento Mecánica	Correctiva
L2	IMPREVISTO INSTRUMENTACION OTRO EQUIPO	Detención por Línea	Detención de
L2	MANTENCION PROGRAMADA	Mantenimiento Programada	
L2	MANTENCION PROGRAMADA	Mantenimiento Programada	
L2	MANTENCION PROGRAMADA	Mantenimiento Programada	
L2	CAUSA OPERACIONAL OTRO EQUIPO	Detención por Línea	Detención de
L2	OTROS (ESPECIFICAR EN COMENTARIOS)	Detención Operacional	
L2	CAUSA OPERACIONAL OTRO EQUIPO	Detención por Línea	Detención de
L2	OTROS (ESPECIFICAR EN COMENTARIOS)	Detención Aguas Arriba	
L2	OTROS (ESPECIFICAR EN COMENTARIOS)	Detención Aguas Arriba	
L2	OTROS (ESPECIFICAR EN COMENTARIOS)	Detención Aguas Arriba	
L2	OTROS (ESPECIFICAR EN COMENTARIOS)	Detención Aguas Arriba	
L2	IMPREVISTO MECANICO OTRO EQUIPO	Detención por Línea	Detención de
L2	OTROS (ESPECIFICAR EN COMENTARIOS)	Mantenimiento Eléctrica	Correctiva
L2	OTROS (ESPECIFICAR EN COMENTARIOS)	Detención Operacional	
L2	OTROS (ESPECIFICAR EN COMENTARIOS)	Detención Operacional	
L2	OTRA CAUSA ELECTRICA (ESPECIFICAR EN COMENTARIOS)	Mantenimiento Eléctrica	Correctiva
L2	OTRA CAUSA ELECTRICA (ESPECIFICAR EN COMENTARIOS)	Mantenimiento Eléctrica	Correctiva
L2	OTROS (ESPECIFICAR EN COMENTARIOS)	Detención Operacional	
L2	FALLA SISTEMA DE ENFRIAMIENTO (ELEC)	Mantenimiento Eléctrica	Correctiva
L2	FALLA SISTEMA DE ENFRIAMIENTO (ELEC)	Mantenimiento Eléctrica	Correctiva
L1	SIST LUBRI - FALLA SISTEMA DE LUBRICACION	Mantenimiento Mecánica	Correctiva

L1	SIST LUBRI - FALLA SISTEMA DE LUBRICACION	Mantencción Mecánica	Correctiva
L1	SIST LUBRI - ROTURA CANERIA SISTEMA LUBRICACION	Mantencción Mecánica	Correctiva
L1	DETENCION AGUAS ARRIBA	Detención Aguas Arriba	
L1	OTROS (ESPECIFICAR EN COMENTARIOS)	Detención por Línea	Detención de
L1	IMPREVISTO MECANICO OTRO EQUIPO	Detención por Línea	Detención de
L1	SIST LUBRI - FALLA SISTEMA DE LUBRICACION	Mantencción Mecánica	Correctiva
L1	SIST LUBRI - FALLA SISTEMA DE LUBRICACION	Mantencción Mecánica	Correctiva
L1	SIST LUBRI - FALLA SISTEMA DE LUBRICACION	Mantencción Mecánica	Correctiva
L1	SIST LUBRI - FALLA SISTEMA DE LUBRICACION	Mantencción Mecánica	Correctiva
L1	SIST LUBRI - FALLA SISTEMA DE LUBRICACION	Mantencción Mecánica	Correctiva
L1	SIST LUBRI - FALLA SISTEMA DE LUBRICACION	Mantencción Mecánica	Correctiva
L1	FALLA CICLOCONVERSOR	Mantencción Eléctrica	Correctiva
L1	METALURGIA - GRIND OUT Y MEDICION DE NIVEL DE BOLAS	Detención Operacional	
L1	OTRA CAUSA MECANICA (ESPECIFICAR EN COMENTARIOS)	Mantencción Mecánica	Correctiva
L1	OTRAS CAUSAS OPERACIONALES	Detención Operacional	
L1	FALLA SISTEMA DE ENFRIAMIENTO (ELEC)	Mantencción Eléctrica	Correctiva
L1	FALLA SISTEMA DE ENFRIAMIENTO (ELEC)	Mantencción Eléctrica	Correctiva

L1	FALLA SISTEMA DE ENFRIAMIENTO (ELEC)	Mantenimiento Eléctrico	Correctiva
L1	METALURGIA - GRIND OUT Y MEDICION DE NIVEL DE BOLAS	Detención Operacional	
L1	IMPREVISTO INSTRUMENTACION OTRO EQUIPO	Detención por Línea	Detención de Línea
L1	OTROS (ESPECIFICAR EN COMENTARIOS)	Detención Operacional	
L1	OTROS (ESPECIFICAR EN COMENTARIOS)	Detención Operacional	
L1	IMPREVISTO INSTRUMENTACION OTRO EQUIPO	Detención por Línea	Detención de Línea
L3	ESTRATEGIA OPERACIONAL	Detención Operacional	
L3	IMPREVISTO MECANICO OTRO EQUIPO	Detención por Línea	Detención de Línea
L3	ESTRATEGIA OPERACIONAL	Detención Operacional	
L3	ESTRATEGIA OPERACIONAL	Detención Operacional	
L3	ESTRATEGIA OPERACIONAL	Detención Operacional	
L3	ESTRATEGIA OPERACIONAL	Detención Operacional	
L3	CAUSA OPERACIONAL OTRO EQUIPO	Detención por Línea	Detención de Línea
L3	CAUSA OPERACIONAL OTRO EQUIPO	Detención por Línea	Detención de Línea
L3	CAUSA OPERACIONAL OTRO EQUIPO	Detención por Línea	Detención de Línea
L3	OTRAS CAUSAS OPERACIONALES	Detención Operacional	
L3	CAUSA OPERACIONAL OTRO EQUIPO	Detención por Línea	Detención de Línea
L3	CAUSA OPERACIONAL OTRO EQUIPO	Detención por Línea	Detención de Línea
L3	DET POR DETENCION EN LINEA	Detención por Línea	Detención de Línea
L3	IMPREVISTO ELECTRICO OTRO EQUIPO	Detención por Línea	Detención de Línea

L3	IMPREVISTO ELECTRICO OTRO EQUIPO	Detención por Detención de Línea
L3	IMPREVISTO ELECTRICO OTRO EQUIPO	Detención por Detención de Línea
L3	IMPREVISTO ELECTRICO OTRO EQUIPO	Detención por Detención de Línea
L3	IMPREVISTO ELECTRICO OTRO EQUIPO	Detención por Detención de Línea
L3	IMPREVISTO ELECTRICO OTRO EQUIPO	Detención por Detención de Línea
L3	OTROS (ESPECIFICAR EN COMENTARIOS)	Detención por Detención de Línea
L2	IMPREVISTO MECANICO OTRO EQUIPO	Detención por Detención de Línea
L2	IMPREVISTO MECANICO OTRO EQUIPO	Detención por Detención de Línea
L2	MANTENCION PROGRAMADA	Mantenimiento Programada
L2	MANTENCION PROGRAMADA	Mantenimiento Programada
L2	SIST LUBRI - FALLA SISTEMA DE LUBRICACION	Mantenimiento Correctiva Mecánica
L2	SIST LUBRI - FALLA SISTEMA DE LUBRICACION	Mantenimiento Correctiva Mecánica
L2	DERRAME DE CONCENTRADO	Detención Operacional
L2	MOTOR ELECTRICO - FALLA RTD	Mantenimiento Correctiva Eléctrica
L2	MOTOR ELECTRICO - FALLA RTD	Mantenimiento Correctiva Eléctrica
L2	MANTENCION PROGRAMADA	Mantenimiento Programada
L2	MANTENCION PROGRAMADA	Mantenimiento Programada
L2	MANTENCION PROGRAMADA	Mantenimiento Programada
L2	FALLA ROTOR SEAL	Mantenimiento Correctiva Mecánica

L2	FALLA MOTOR ELECTRICO	Mantenimiento Eléctrico	Correctiva
L2	OTROS (ESPECIFICAR EN COMENTARIOS)	Detención Operacional	
L1	IMPREVISTO MECANICO OTRO EQUIPO	Detención por Línea	Detención de Línea
L1	SIST LUBRI - FALLA SISTEMA DE LUBRICACION	Mantenimiento Mecánica	Correctiva
L1	SIST LUBRI - ROTURA CANERIA SISTEMA LUBRICACION	Mantenimiento Mecánica	Correctiva
L1	SIST LUBRI - ROTURA CANERIA SISTEMA LUBRICACION	Mantenimiento Mecánica	Correctiva
L1	CAUSA OPERACIONAL OTRO EQUIPO	Detención por Línea	Detención de Línea
L1	OTRAS CAUSAS OPERACIONALES	Detención Operacional	
L1	CAUSA OPERACIONAL OTRO EQUIPO	Detención por Línea	Detención de Línea
L1	SIST LUBRI - FALLA SISTEMA DE LUBRICACION	Mantenimiento Mecánica	Correctiva
L1	SIST LUBRI - FALLA SISTEMA DE LUBRICACION	Mantenimiento Mecánica	Correctiva
L1	SIST LUBRI - FALLA SISTEMA DE LUBRICACION	Mantenimiento Mecánica	Correctiva
L1	SIST LUBRI - FALLA SISTEMA DE LUBRICACION	Mantenimiento Mecánica	Correctiva
L3	DEMORA OPERACIONAL (ESPECIFICAR EN COMENTARIOS)	Detención Operacional	
L3	OTRA CAUSA (ESPECIFICAR EN COMENTARIOS)	Mantenimiento Programada	
L3	OTRA CAUSA (ESPECIFICAR EN COMENTARIOS)	Mantenimiento Programada	
L3	OTRA CAUSA (ESPECIFICAR EN COMENTARIOS)	Mantenimiento Programada	

L3	OTRA CAUSA ELECTRICA (ESPECIFICAR EN COMENTARIOS)	MantenCIÓN Eléctrica	Correctiva
L3	FALLA MOTOR ELECTRICO	MantenCIÓN Eléctrica	Correctiva
L3	MANTENCION PROGRAMADA	MantenCIÓN Programada	
L3	OTRA CAUSA ELECTRICA (ESPECIFICAR EN COMENTARIOS)	MantenCIÓN Eléctrica	Correctiva
L4	IMPREVISTO ELECTRICO OTRO EQUIPO	Detención por Línea	Detención de
L4	IMPREVISTO MECANICO OTRO EQUIPO	Detención por Línea	Detención de
L4	IMPREVISTO MECANICO OTRO EQUIPO	Detención por Línea	Detención de
L4	IMPREVISTO ELECTRICO OTRO EQUIPO	Detención por Línea	Detención de
L4	IMPREVISTO INSTRUMENTACION OTRO EQUIPO	Detención por Línea	Detención de
L4	OTROS (ESPECIFICAR EN COMENTARIOS)	Detención Aguas Abajo	
L4	MANTENCION PROGRAMADA	MantenCIÓN Programada	
L4	MANTENCION PROGRAMADA	MantenCIÓN Programada	
L4	MANTENCION PROGRAMADA	MantenCIÓN Programada	
L4	MANTENCION PROGRAMADA	MantenCIÓN Programada	
L4	MANTENCION PROGRAMADA	MantenCIÓN Programada	
L4	IMPREVISTO INSTRUMENTACION OTRO EQUIPO	Detención por Línea	Detención de
L4	CAUSA OPERACIONAL OTRO EQUIPO	Detención por Línea	Detención de
L4	IMPREVISTO ELECTRICO OTRO EQUIPO	Detención por Línea	Detención de
L4	IMPREVISTO INSTRUMENTACION OTRO EQUIPO	Detención por Línea	Detención de
L4	IMPREVISTO INSTRUMENTACION OTRO EQUIPO	Detención por Línea	Detención de

L4	IMPREVISTO ELECTRICO OTRO EQUIPO	Detención por Detención de Línea
L4	IMPREVISTO MECANICO OTRO EQUIPO	Detención por Detención de Línea
L4	FALLA SISTEMA LUBRICACION (ELEC)	Mantenimiento Correctiva Eléctrica
L4	IMPREVISTO MECANICO OTRO EQUIPO	Detención por Detención de Línea
L4	IMPREVISTO MECANICO OTRO EQUIPO	Detención por Detención de Línea
L4	IMPREVISTO MECANICO OTRO EQUIPO	Detención por Detención de Línea
L4	IMPREVISTO INSTRUMENTACION OTRO EQUIPO	Detención por Detención de Línea
L4	IMPREVISTO INSTRUMENTACION OTRO EQUIPO	Detención por Detención de Línea
L4	IMPREVISTO ELECTRICO OTRO EQUIPO	Detención por Detención de Línea
L4	FALLA SISTEMA DE ENFRIAMIENTO (ELEC)	Mantenimiento Correctiva Eléctrica
L4	MANTENCION PROGRAMADA	Mantenimiento Programada
L4	MANTENCION PROGRAMADA	Mantenimiento Programada
L4	MANTENCION PROGRAMADA	Mantenimiento Programada
L4	ESTRATEGIA MANTENCION	Mantenimiento Programada
L4	ESTRATEGIA MANTENCION	Mantenimiento Programada
L4	FALLA CICLOCONVERSOR	Mantenimiento Correctiva Eléctrica
L4	IMPREVISTO ELECTRICO OTRO EQUIPO	Detención por Detención de Línea
L4	IMPREVISTO MECANICO OTRO EQUIPO	Detención por Detención de Línea
L4	IMPREVISTO MECANICO OTRO EQUIPO	Detención por Detención de Línea

Tabla 21. Tabla con descripción de la detención

Todo el contenido, análisis, conclusiones y opiniones vertidas en este estudio son de mi exclusiva responsabilidad.

Nombre: Lorena Paz Pizarro Osorio

Fecha: DÍA DEL EXAMÉN DE GRADO.