

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA METALÚRGICA



TESIS

**OPTIMIZACIÓN DEL CIRCUITO DE PEBBLES MEDIANTE LA METODOLOGÍA LEAN
SIX SIGMA EN LA UNIDAD MINERA CERRO CORONA – REGION CAJAMARCA
(INVESTIGACIÓN TECNOLÓGICA)**

PRESENTADO POR:

BACH. MICHELLE ALISSON CARRION CUADROS

BACH. ALIPIO ALDAIR HUAMAN QUIRITA

**PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO METALÚRGICO**

ASESOR:

MGT. VICTOR MELECIO DUEÑAS AQUISE

**CUSCO – PERÚ
2025**

INFORME DE ORIGINALIDAD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-303-2020-UNSAAC)

El que suscribe, **Asesor** del trabajo de investigación/tesis titulada: OPTIMIZACIÓN
DEL CIRCUITO DE PEBBLES MEDIANTE LA METODOLOGÍA LEAN SIX
SIGMA EN LA UNIDAD MINERA CERRO CORONA - REGION CAJAMARCA
(INVESTIGACIÓN TECNOLÓGICA)

Presentado por: ALIPIO ALDAIR HUAMAN QUIRITA DNI N° 73573215

presentado por: MICHELE ALISSON CARRION CUADROS DNI N°: 70148922

Para optar el título profesional/grado académico de INGENIERO METALÚRGICO

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 02 veces, mediante el Software Antiplagio, conforme al Art. 6° del **Reglamento para Uso de Sistema Antiplagio de la UNSAAC** y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 07 %.

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No se considera plagio.	X
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las correcciones.	
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, quien a su vez eleva el informe a la autoridad académica para que tome las acciones correspondientes. Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	

Por tanto, en mi condición de asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y adjunto las primeras páginas del reporte del Sistema Antiplagio.

Cusco, 15 de Julio de 2025


Firma

Post firma Víctor Melanio Dueñas Aguirre

Nro. de DNI 29378517

ORCID del Asesor 0000-0002-6459-9804

Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema Antiplagio: **oid:** 27259:473851957

Aldair/Michelle Huaman/Carrion

Tesis final Huaman Carrion.pdf

 Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::27259:473851957

Fecha de entrega

14 jul 2025, 5:42 p.m. GMT-5

Fecha de descarga

14 jul 2025, 5:49 p.m. GMT-5

Nombre de archivo

Tesis final Huaman Carrion.pdf

Tamaño de archivo

9.5 MB

141 Páginas

21.776 Palabras

126.863 Caracteres

7% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Texto citado
- ▶ Texto mencionado
- ▶ Coincidencias menores (menos de 15 palabras)

Exclusiones

- ▶ N.º de coincidencias excluidas

Fuentes principales

- 6%  Fuentes de Internet
- 1%  Publicaciones
- 6%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

PRESENTACIÓN

Señor Decano de la Facultad de Ingeniería Geológica, de Minas y Metalúrgica de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.

Señores Catedráticos de la Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica.

Cumpliendo con lo estipulado en el Reglamento de Grados y Títulos de la Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica para optar al Título Profesional de Ingeniero Metalúrgico ponemos a vuestra consideración el siguiente trabajo de investigación titulado:

OPTIMIZACIÓN DEL CIRCUITO DE PEBBLES MEDIANTE LA METODOLOGÍA LEAN SIX SIGMA EN LA UNIDAD MINERA CERRO CORONA – REGION CAJAMARCA

El propósito de la presente investigación es optimizar el circuito de Pebbles en la unidad minera Cerro Corona, utilizando la metodología Lean Six Sigma. De esta manera, podemos ofrecer una alternativa para mejorar el proceso productivo de la unidad minera. Con esta investigación esperamos cumplir las expectativas para contribuir con el desarrollo académico de nuestra querida Facultad y Escuela Profesional.

- **Bach. CARRION CUADROS, Michelle Alisson**
- **Bach. HUAMAN QUIRITA, Alipio Aldair**

DEDICATORIA

Dedicado a mis amados padres Ruth Cuadros e Isidro Carrión, que a pesar de la distancia y en cada paso que me atrevo a dar nunca faltaron palabras de aliento y perseverancia, nada de lo que soy sería posible sin ustedes, son mi guía y mi inspiración. A Sharon y Kevin por ser los mejores hermanos del mundo, mis aliados, mis cómplices. Y por último a una persona especial, mi compañero y mejor amigo, este logro es nuestro.

Con mucho amor y cariño

Michelle Carrion

A mi padre Gildo, caballero humilde y bondadoso, guía de mi camino; A mi madre Mirtha, perseverante y risueña, motor de mi vida; a mi segundo padre Rurick, alma errante, incondicional apoyo en este camino. A mis hermanos German, Renzo, Antony y Yuriko por su anonimato y colaboración. Y finalmente a mi mejor amiga y compañera en este viaje, lo logramos.

Aldair

AGRADECIMIENTO

Queremos expresar nuestra más sincera gratitud a la unidad minera Cerro Corona – Gold Fields por brindarnos el apoyo necesario para el desarrollo de esta investigación. En especial agradecemos al Ing. Diego Jonathan Torres Francia, superintendente de operaciones – procesos por su valiosa mentoría, motivación constante y los aprendizajes compartidos a lo largo de este proceso.

Nuestro más sincero reconocimiento al Ing. Christiam Salinas Pinto, jefe de operaciones, por su inigualable respaldo, amistad y acompañamiento en cada etapa de la investigación; a su vez extendemos nuestro agradecimiento a todos los profesionales de la unidad minera, que con su disposición, experiencia y dedicación hicieron posible esta investigación.

Agradecemos a nuestra alma mater la Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco y a la excelente plana docente de la Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica, por la formación integral y la guía constante durante nuestra etapa universitaria.

Finalmente, expresamos especial reconocimiento al Mgt, Victor Melecio Dueñas Aquise, nuestro asesor de tesis por su compromiso, orientación y apoyo continuo en el desarrollo de esta investigación.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

PRESENTACIÓN.....	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
ÍNDICE DE CONTENIDO	v
ÍNDICE GENERAL	vi
ÍNDICE DE TABLAS	xi
ÍNDICE DE IMÁGENES	xii
ÍNDICE DE ECUACIONES	xiv
SIMBOLOGÍA	xv
RESUMEN	xvii
ABSTRACT.....	xviii
INTRODUCCIÓN	xix

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.1 Situación problemática	1
1.2 Formulación de problema	2
1.2.1 Problema general	2
1.2.2 Problemas específicos	2
1.3 Justificación	3
1.3.3 Conveniencia.....	3
1.3.4 Relevancia social	3
1.3.5 Relevancia tecnológica	3
1.3.6 Valor Teórico	3
1.3.7 Utilidad metodológica.....	4
1.4 Objetivos de la investigación.....	4
1.4.1 Objetivo general.....	4
1.4.2 Objetivos específicos	4

CAPÍTULO II

Marco teórico	5
Antecedentes de la investigación (estado del arte)	5
2.1 Antecedentes internacionales	5
2.2 Antecedentes nacionales	6

2.3 Bases teóricas.....	8
2.3.1 Etapa de molienda.....	8
2.3.2 Circuitos de molienda	9
2.3.2.1 Circuito de pebbles	11
2.3.3 Lean Manufacturing	12
2.3.3.2 Herramientas Lean.....	12
2.3.4 Six Sigma (6σ).....	13
2.3.4.1 Índices de capacidad de un proceso	15
2.3.5 Lean six sigma	22
2.3.5.1 Metodología DMAIC.....	22
2.4 Definición de términos básicos.....	36

CAPÍTULO III

Hipótesis y variables	37
3.1 Hipótesis.....	37
3.1.1 Hipótesis general.....	37
3.1.2 Hipótesis específicas	37
3.2 Variables	37
3.2.1 Identificación de variables	37
3.2.1.1 Variable dependiente.....	37
3.2.1.2 Variables independientes	37

CAPÍTULO IV

Metodología de la investigación.....	39
Ámbito de estudio	39

Información de la empresa.....	39
Características del objeto de estudio.....	40
4.1 Diseño de la investigación.....	41
4.1.1 Tipo de investigación	41
4.1.2 Nivel de investigación.....	41
4.1.3 Diseño de la investigación	42
4.2 Población de estudio	43
4.2.1 Población.....	43
4.2.2 Muestra	43
4.2.3 Selección de la muestra.....	44
4.2.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos	44
4.2.4.1 Técnicas	44
4.2.4.2 Instrumentos.....	44
4.2.5 Técnicas de análisis e interpretación de la información.....	45
4.3 Validez y confiabilidad de instrumentos.....	45
4.4 Plan de análisis de datos	45
4.4.1 Objetivo del análisis de datos	45
4.4.2 Herramientas de análisis	46
4.4.3 Pasos del análisis	46
4.4.3.1 Preparación de los datos.....	46
4.4.3.2 Análisis descriptivo.....	47
4.4.3.3 Análisis inferencial	47
4.4.3.4 Modelado y Optimización.....	47
4.4.3.5 Validación de Resultados.....	47

4.4.3.6	Presentación de resultados	48
---------	----------------------------------	----

CAPÍTULO V

Desarrollo experimental	49
5.1 Introducción	49
5.2 Metodología DMAIC	49
5.2.1 Etapa definir.....	49
5.2.1.1 Árbol CTQ's y definición de Y's.....	49
5.2.1.2 Diagrama del proceso	51
5.2.1.3 Marco del proyecto	53
5.2.2 Fase medir.....	54
5.2.2.1 Muestreo	54
5.2.2.2 Disponibilidad, utilización y eficiencia	57
5.2.2.3 Informe de capacidad del circuito.....	58
5.2.2.4 Cálculo de DPO, DPMO y rendimiento del circuito	61
5.2.3 Fase Analizar	62
5.2.3.1 Análisis ANOVA de un factor.....	68
5.2.4 Fase Mejorar	70
5.2.5 Fase controlar.....	73
5.2.5.1 Muestreo después de mejoras	73
5.2.5.2 Disponibilidad, utilización y eficiencia después de mejoras	73
5.2.5.3 Informe de capacidad del circuito después de las mejoras	74
5.2.5.4 Cálculo del DPO, DPMO y rendimiento del circuito después de las mejoras	76

CAPÍTULO VI

Discusión de resultados	78
6.1 Implementación de acciones de mejora	78
6.2 Comparativa de los CTQ's.....	80
6.2.1 Disponibilidad, utilización y eficiencia del circuito	82
6.2.2 Indicadores de capacidad y desempeño del circuito	83
CONCLUSIONES.....	85
RECOMENDACIONES.....	86
BIBLIOGRAFÍA.....	87
ANEXOS.....	92

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1: Índices de capacidad de un proceso.....	16
Tabla 5.1: Listado de equipos que componen al circuito de pebbles de la unidad minera cerro corona	51
Tabla 5.2: Marco del proyecto	53
Tabla 5.3: Análisis estadístico del tonelaje perdido.....	56
Tabla 5.4: Disponibilidad, utilización y eficiencia del circuito	57
Tabla 5.5: Datos de entrada para calcular DPO, DPMO y rendimiento	61
Tabla 5.6: Herramienta 5 porqués.....	62
Tabla 5.7: Método de análisis.....	68
Tabla 5.8: Análisis de varianza.....	68
Tabla 5.9: Plan de mejora	71
Tabla 5.10: Acciones de mejora	72
Tabla 5.11: Disponibilidad, utilización y eficiencia del circuito después de mejoras....	74
Tabla 5.12: Datos para calcular DPO, DPMO y rendimiento del circuito	76
Tabla 6.1: Impacto de las acciones de mejora	78
Tabla 6.2: Impacto de las mejoras en el tiempo de producción perdido.....	80
Tabla 6.3; Comparación de indicadores de capacidad del circuito antes y después de las mejoras.....	83

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 2.1: Circuito de molienda SAG.....	10
Imagen 2.2: Circuito DSAG	10
Imagen 2.3: Circuito SABC-A.....	10
Imagen 2.4: Circuito SABC-B.....	11
Imagen 2.5: Distribución normal y niveles sigma con límites de especificaciones (LEI y LES).....	14
Imagen 2.6: Interpretación del índice Cpk.....	17
Imagen 2.7: Interpretación de los valores de Ppk	18
Imagen 2.8: Interpretación del nivel Z.....	18
Imagen 2.9: Obtención del valor Z.....	19
Imagen 2.10: Calidad de 3 y 6 σ ($C_p=2.0$, $C_{pk}=2.0$, $Z_s=Z_i=6$).....	20
Imagen 2.11: Calidad de corto y largo plazo en términos de C_P , Z_C , Z_L y PPM.	21
Imagen 2.12: Ejemplo de árbol de CTQ's.	24
Imagen 2.13: Elementos del marco de un proyecto Seis Sigma.....	25
Imagen 2.14: Diagrama SIPOC	26
Imagen 2.15: Representación de exactitud y precisión a través de la curva normal.....	29
Imagen 2.16: Ejemplo de diagrama de Ishikawa	31
Imagen 2.17: Esquema de la dinámica para el control de un proceso	35
Imagen 4.1: Ubicación geográfica de la unidad minera Cerro Corona	39
Imagen 4.2: Unidad minera Cerro Corona	40
Imagen 5.1: Árbol de CTQ's del circuito.....	50
Imagen 5.2: Diagrama de flujo del proceso, cuando ocurren los eventos “funcionando” y “detenido”	52
Imagen 5.3: Diagrama SIPOC del proyecto.....	54

Imagen 5.4: Dispersión del tiempo de inicio de estabilidad del tonelaje, calculado para los intervalos de 0; 1:10 min; 1:20 min; 1:30 min; 1:40 min	55
Imagen 5.5: Informe de capacidad del circuito – Sixpack	59
Imagen 5.6: Selección de pruebas de causas especiales para gráficas de control.....	60
Imagen 5.7: Diagrama de Pareto de las principales causas que generan detenciones en el circuito.	63
Imagen 5.8: Diagrama de Pareto de las principales causas que generan detenciones en el proceso, teniendo en cuenta las disciplinas.	64
Imagen 5.9: Diagrama de Pareto de las principales causas que generan detenciones en el proceso, según la disciplina de operaciones.....	64
Imagen 5.10: Diagrama de Pareto de las principales causas que generan detenciones en el proceso, según la disciplina de mantenimiento correctivo.....	65
Imagen 5.11:Diagrama de Pareto de las principales causas que generan detenciones en el proceso, según la disciplina de mantenimiento preventivo.....	66
Imagen 5.12: Diagrama de Ishikawa	67
Imagen 5.13: Causas críticas con base a las ocurrencias.....	69
Imagen 5.14: Gráfica de valores individuales del tiempo de detención vs causa	69
Imagen 5.15: Análisis de capacidad del circuito después de las mejoras	75
Imagen 6.1: Impacto de las acciones de mejora a lo largo de la investigación.....	79
Imagen 6.2: Tonelaje respecto al tiempo de funcionamiento del circuito a lo largo de la investigación.	81
Imagen 6.3: Tonelaje perdido respecto al throughput del circuito a lo largo de la investigación.	82

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 2. 1: Índice de capacidad potencial del proceso “Cp”.....	15
Ecuación 2. 2: Índice de capacidad real del proceso (Cpk)	16
Ecuación 2. 3: Índice de desempeño potencial (Pp)	17
Ecuación 2. 4: Índice de desempeño real (Ppk).....	17
Ecuación 2. 5: Índice Z superior	19
Ecuación 2. 6: Índice Z inferior	19
Ecuación 2. 7: Índice Z.....	19
Ecuación 2. 8: Desplazamiento del proceso	19
Ecuación 2. 9: Índice Z a corto plazo	19
Ecuación 2. 10: Índice Z a largo plazo	19
Ecuación 2.11: Defectos por oportunidad.....	21
Ecuación 2.12: Defectos por millón de oportunidades	21
Ecuación 2.13: Rendimiento del proceso.....	22
Ecuación 2.14: Tamaño de muestra	28
Ecuación 2.15: Disponibilidad del circuito.....	30
Ecuación 2.16: Utilización del circuito.....	30
Ecuación 2.17: Eficiencia del circuito	30
Ecuación 5. 1: Defectos por oportunidad obtenido.....	62
Ecuación 5. 2: Defectos por millón de oportunidades obtenido	62
Ecuación 5. 3: Rendimiento obtenido.....	62
Ecuación 5. 4: Defectos por oportunidad después de las mejoras	77
Ecuación 5. 5: Defectos por millón de oportunidades después de las mejoras.....	77
Ecuación 5. 6: Rendimiento después de las mejoras	77

SIMBOLOGÍA

σ :	Desviación estándar
σ_L :	Desviación estándar a largo plazo
”:	Pulgadas
μ :	Media
AD:	Anderson Darling
ANOVA:	Análisis de Varianza
Cp:	Capacidad del proceso
Cpk:	Capacidad real del proceso
DCS:	Sistema de control distribuido
DPMO:	Defectos por millón de oportunidades
DPO:	Defectos por oportunidades
F:	Estadístico F
GL:	Grados de libertad
IC:	Intervalos de confianza
LEI:	Límite de especificación inferior
LES:	Límite de especificación superior
LSS:	Lean Six Sigma
MC:	Media cuadrática
N:	Cantidad de ocurrencias
P:	Probabilidad
Pp:	Índice de desempeño potencial
Ppk:	Índice de desempeño real
Ppm:	Partes por millón
S.A.:	Sociedad Anónima
SC:	Suma de cuadrados

Z:	Nivel Sigma
Z _C :	Nivel Sigma a corto plazo
Z _i :	Nivel Sigma inferior
Z _L :	Nivel Sigma a largo plazo
Z _s :	Nivel Sigma superior
α:	Nivel de significancia

RESUMEN

El presente trabajo de investigación abordó la optimización del circuito de Pebbles en la Unidad Minera Cerro Corona, ubicada en Cajamarca, mediante la aplicación de la metodología Lean Six Sigma. El objetivo principal fue optimizar el desempeño del circuito, con el fin de incrementar la eficiencia operacional mediante un enfoque estructurado que combina los conceptos Lean y Six Sigma. El estudio inició con una evaluación y análisis del estado actual del circuito de Pebbles, identificando causas de pérdidas, áreas ineficientes y oportunidades de mejora. Para ello se emplearon diferentes herramientas y técnicas de Lean Six Sigma, como el análisis del proceso, la identificación de desperdicios y uso de controles estadísticos, con el fin de estudiar y analizar problemas específicos y optimizar el flujo del circuito. La implementación de las estrategias Lean Six Sigma generó resultados notables, evidenciados por la reducción de tiempos de detención y un incremento en el rendimiento y eficiencia del circuito. Los resultados de esta investigación resaltan la efectividad de la metodología para abordar y resolver diversos problemas dentro del circuito de pebbles, que después de un análisis y de un plan de acción de mejoras se obtuvo un aumento en cuanto al rendimiento del circuito respecto al comportamiento de los defectos que alcanza el 74.59%. Finalmente, la investigación concluye que se optimiza el circuito de pebbles empleando la metodología Lean Six Sigma, logrando una eficiencia del circuito de 95.16%.

Palabras clave: Pebbles, Six Sigma, optimización, defectos, rendimiento y eficiencia.

ABSTRACT

This research paper addresses the optimization of the Pebbles circuit at the Cerro Corona Mining Unit, located in Cajamarca, through the application of the Lean Six Sigma methodology. The main objective was to optimize circuit performance in order to increase operational efficiency through a structured approach that combines Lean and Six Sigma concepts. The study began with an evaluation and analysis of the current state of the Pebbles circuit, identifying causes of loss, inefficient areas, and opportunities for improvement. Different Lean Six Sigma tools and techniques were employed, such as process analysis, waste identification, and the use of statistical controls, to study and analyze specific problems and optimize circuit flow. The implementation of Lean Six Sigma strategies generated notable results, evidenced by reduced downtime and increased circuit performance and efficiency. The results of this research highlight the effectiveness of the methodology in addressing and resolving various problems within the Pebbles circuit. Following an analysis and an improvement action plan, the circuit's performance in terms of defect behavior increased by 74.59%. Finally, the research concludes that the Pebbles circuit is optimized using the Lean Six Sigma methodology, achieving a circuit efficiency of 95.16%.

Keywords: *Pebbles, Six Sigma, optimization, defects, performance, and efficiency.*

INTRODUCCIÓN

La industria minero - metalúrgica mundial se enfrenta al constante desafío de optimizar sus procesos operativos para mejorar la eficiencia y garantizar la estabilidad de los procesos en un entorno de demanda creciente y alta complejidad. Dentro de las operaciones minero- metalúrgicas, los circuitos de chancado, molienda y clasificación representan etapas fundamentales que tienen impacto directo sobre la recuperación metalúrgica y la productividad en general de una planta concentradora. La presencia de “pebbles” en estos circuitos puede generar cuellos de botella significativos, afectando a la continuidad del proceso, su eficiencia y rendimiento.

En este contexto, la introducción e implementación de metodologías de mejora continua, se vuelve una alternativa muy aceptable. Lean Six Sigma, disciplina que une los principios de Lean Manufacturing y Six Sigma, para eliminar desperdicios y reducir la variabilidad y los defectos, demostró ser una herramienta altamente efectiva para identificar problemas y desarrollar soluciones en diferentes sectores de la industria, su enfoque estructurado en las fases DMAIC, permite una comprensión profunda de las causas raíz y la implementación de cambios justificados y sostenibles.

La unidad minera Cerro Corona, ubicada en la región Cajamarca, también enfrenta la necesidad de optimizar sus operaciones para mantener su competitividad, en específico el circuito de pebbles ha sido detectado como área potencial para mejora, que al ser optimizada podría incrementar la eficiencia operacional de la planta; aunque se han hecho esfuerzos continuos, la investigación presenta limitaciones como: la alta variabilidad de datos del circuito, registros manuales incompletos con posibles errores, dichos retos operativos pretenden identificar y solucionar las deficiencias de manera efectiva

El principal interés por el que se desarrolló esta investigación, es resolver los problemas operativos que aquejan al circuito de pebbles y así lograr una mejor eficiencia y

estabilidad en las operaciones minero – metalúrgicas; en consecuencia, la propuesta de aplicar la metodología Lean Six Sigma para optimizar el circuito de pebbles tiene como objetivo mejorar la eficiencia del circuito, lo cual es muy importante para garantizar la continuidad del proceso en general.

En el capítulo I se identificó los problemas relacionados con el circuito de pebbles de la unidad minera Cerro Corona, definiendo los objetivos de mejora enfocados en su optimización. En el capítulo II se desarrolló las bases teóricas y antecedentes relacionados a la metodología Lean Six Sigma. En el capítulo III se formularon las hipótesis y se definieron las variables de estudio. En el capítulo IV se explicó la metodología de investigación utilizada, basada en un nivel de investigación cuantitativo con enfoque longitudinal. En el capítulo V se describió la aplicación práctica de las fases DMAIC, junto con los resultados obtenidos. Finalmente, en el capítulo VI se realizó la discusión de resultados, además de las conclusiones y recomendaciones de las mejoras implementadas

CAPÍTULO I

Planteamiento del problema

1.1 Situación problemática

La unidad minera Cerro Corona perteneciente a Gold Fields la Cima S.A, ubicada en la región Cajamarca, está dedicada a la extracción de minerales sulfurados y producción de concentrados de cobre que contienen partículas de oro, provenientes del propio tajo de la unidad minera cuya mineralogía está caracterizada por calcopirita, pirita, pirrotita, zonas de alteración potásica y silicificada, siendo estas últimas zonas de alta dureza.

La planta concentradora está compuesta de distintos procesos unitarios, cada uno de los cuales agrega valor al proceso general. La etapa de molienda primaria produce fragmentos de roca (pebbles) de más de 3/4 de pulgada, los cuales son separados mediante el trommel de la molienda SAG y enviados al circuito de pebbles, donde son reducidos de tamaño para ser reincorporados a la etapa de molienda secundaria.

Es así que el circuito de pebbles de Cerro Corona enfrenta diversos retos que afectan su eficiencia y rendimiento; evidenciando deficiencias en su gestión operativa; inicialmente se optaba por soluciones a corto plazo ante detenciones frecuentes en el circuito sin tener en cuenta una base estadística que permitiera determinar las causas raíz. Uno de los eventos críticos fue registrado el 7 de enero del 2023 al reportarse una acumulación excesiva de pebbles fuera de la plataforma de contención, provocando un incidente ambiental (ver anexo 19). Se identificaron causas como detenciones continuas de la chancadora CR006 por sobrecarga y descarga de chips del molino SAG en zonas no autorizadas.

Este circuito no está operando al máximo de su potencial, lo que resulta en cuellos de botella, pudiendo ser las principales causas; sensores mal calibrados, diseño inadecuado

de tolvas que provocan llenados rápidos y detenciones por nivel alto de tolva, así como derrames en la cámara de la chancadora, los cuales impactan negativamente en el cumplimiento del volumen procesado proyectado (Throughput), teniendo una eficiencia en el circuito de 54.87% entre los meses de enero a junio de 2023.

Los problemas fundamentales presentes en el circuito, son las continuas detenciones y la frecuencia de desgaste ocurrido principalmente en la chancadora de pebbles ya sean por detenciones operativas (regulación de setting y limpieza de área) o por mantenimiento (cambio de mantle Bowl, sistema hidráulico).

La implementación de la metodología Lean Six Sigma optimizará el circuito de pebbles dando como resultado acciones correctivas y preventivas, enfocándose en aquellas que tienen un mayor impacto en la eficiencia del circuito, mejorando así la producción en la unidad minera.

1.2 Formulación de problema

1.2.1 Problema general

¿Será posible optimizar el circuito de pebbles mediante la metodología Lean Six Sigma en la unidad minera Cerro Corona?

1.2.2 Problemas específicos

- ¿Se podrán determinar y cuantificar las causas que generan pérdidas en el throughput del circuito de pebbles de la unidad minera Cerro Corona?
- ¿Se podrá estimar el tiempo de producción perdido por detenciones en el circuito de pebbles de la unidad minera Cerro Corona?
- ¿Será posible incrementar el nivel sigma del circuito de pebbles de la unidad minera Cerro Corona mediante la aplicación de Lean Six Sigma?

1.3 Justificación

1.3.3 Conveniencia

Es conveniente, puesto que los resultados darán solución a los problemas del circuito de pebbles y permitirán encontrar los cuellos de botella y problemas que limitan el Throughput, asegurando así el cumplimiento de los objetivos de producción, a su vez ayuda a minimizar los costos asociados a mantenimientos no programados, desgaste acelerado de equipos, y paradas por problemas operativos implementando una propuesta de mejora continua que puede ser reproducido en otras áreas de la unidad minera.

1.3.4 Relevancia social

La investigación aportará al desarrollo local pues es bien sabido que una operación minera más eficiente incrementará la rentabilidad de la empresa, lo que se puede traducir en mayores aportes económicos para la región de Cajamarca en términos de empleo y proyectos sociales, dando prioridad a los colaboradores de la empresa, brindándoles mejoras en los equipos e implementando un ambiente laboral acorde al trabajo realizado.

1.3.5 Relevancia tecnológica

El presente trabajo se apoya en herramientas tecnológicas avanzadas para la recolección y análisis de datos, incluyendo sensores, sistemas de monitoreo y software como el Sistema de control DeltaV, PI System, y Power BI. Esta tecnología permite una gestión eficaz de grandes volúmenes de datos y la identificación precisa de las causas raíz de las pérdidas en el circuito, facilitando una optimización basada en evidencia y mejorando la capacidad en la toma de decisiones.

1.3.6 Valor Teórico

La investigación enriquece el conocimiento teórico sobre la aplicación de la metodología Lean six sigma en la industria minera generando un aporte positivo en procesos minero - metalúrgicos que pueden ser aplicados en estudios futuros

1.3.7 Utilidad metodológica

La metodología empleada en la investigación es relevante porque combina herramientas estadísticas como el análisis de varianza (ANOVA) y de gestión para identificar, analizar y reducir variabilidad en entornos automatizados como es el circuito de pebbles, además de poner en práctica el uso de herramientas como DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar), mediante un análisis cuantitativo riguroso asegurando la toma de decisiones basadas en evidencia, el resultado de la investigación propondrá un marco metodológico que puede ser adaptado y utilizado en otras áreas o unidades mineras promoviendo innovación y mejora continua.

1.4 Objetivos de la investigación

1.4.1 Objetivo general

Optimizar el circuito de pebbles mediante la metodología Lean Six Sigma en la unidad minera Cerro Corona.

1.4.2 Objetivos específicos

- Determinar y cuantificar las causas que generan pérdidas en el throughput del circuito de pebbles de la unidad minera Cerro Corona mediante la aplicación de Lean Six Sigma.
- Estimar el tiempo de producción perdido por detenciones en el circuito de pebbles de la unidad minera Cerro Corona.
- Incrementar el nivel sigma del circuito de pebbles en la unidad minera Cerro Corona mediante la aplicación de Lean Six Sigma.

CAPÍTULO II

Marco teórico

Antecedentes de la investigación (estado del arte)

2.1 Antecedentes internacionales

Muñoz Verón (2007) en su tesis: “Aplicación de herramientas seis sigma a la etapa de chancado de pebbles – concentradora compañía contractual minera candelaria”; con el objetivo de mejorar el rendimiento del proceso de chancado, específicamente incrementando el porcentaje de material que cumple con el tamaño deseado de menos de ½ de pulgada. Durante la investigación, se identificaron problemas clave en el uso de la potencia instalada de los chancadores y la variabilidad en el tamaño del producto final. A través del análisis de datos y la implementación de soluciones técnicas, se logró un aumento en la eficiencia del proceso. En particular, se maximizó el uso de la potencia instalada, se optimizaron los perfiles de los revestimientos del equipo y se redujo la variabilidad del proceso.

Como resultado de estas mejoras, el porcentaje de material bajo ½ pulgada aumentó del 70% al 86%, lo que significó un incremento en la producción de 1.573 toneladas por día, o más de 500.000 toneladas adicionales por año. Este incremento no solo mejoró la productividad de la planta, sino que también estableció un marco para la optimización continua del proceso.

Soto Jara (2022) en su tesis: “Propuesta de un modelo de mejora continúa basado en herramientas lean con enfoque seis sigmas en planta concentradora de empresa minera”; plantea un modelo de mejora continua utilizando herramientas Lean como el método 5S y Value Stream Mapping (VSM), junto con la metodología Seis Sigma, el estudio busca mejorar la eficiencia y la calidad en dos áreas clave de molienda. El diagnóstico inicial revela problemas de desorden y detenciones no programadas,

principalmente por fallas mecánicas y eléctricas. A través del análisis de datos, se identifican oportunidades de mejora en la organización y el rendimiento de la planta. El trabajo concluye que ninguna de las variables de calidad alcanza un nivel de seis sigmas, pero se establecen las bases para futuras mejoras en la planta.

2.2 Antecedentes nacionales

Tejada Martínez M. A. (2016) en su tesis: “Aplicación de la metodología Six Sigma para la mejora de la productividad en el proceso de filtrado de concentrado en la Compañía Minera Antamina Huaraz”. El estudio se basó en el enfoque estructurado Six Sigma, siguiendo las fases de Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar (DMAIC). En la fase inicial, se identifican las cuestiones clave y se establecen objetivos claros. Posteriormente, se recogieron datos para evaluar el desempeño del proceso previo a la intervención. Durante el análisis, se descubren las causas fundamentales de los defectos, lo que permite implementar soluciones específicas durante la fase de mejora. Finalmente, establecer controles para mantener las mejoras a largo plazo. Los resultados fueron impresionantes: la productividad del proceso de filtración aumentó del 89,99 % al 96,09 % y la variabilidad del proceso se redujo significativamente, mejorando la consistencia y la calidad del producto.

Coricaza Salazar (2021) en su tesis: “Aplicación de Lean Six Sigma para la mejora de la productividad en la operación de clasificación de arenas de relave”; este artículo describe la implementación de la metodología Lean Six Sigma en procesos de recuperación de finos y gruesos cuyo objetivo fue optimizar la eficiencia operativa. Los resultados del análisis estadístico utilizando el software MINITAB 18 mostraron que la modificación de los parámetros operativos tuvo un impacto significativo en la variable dependiente. Específicamente, se observó una disminución del 29% en la

“Split”, una disminución del 42% en la recuperación de partículas finas y una disminución del 8 % en la recuperación de partículas gruesas. Estos resultados indican que la recuperación de partículas gruesas se ve ligeramente afectada cuando se intenta reducir los finos mediante el uso de alta presión.

Sánchez Hipólito (2021) en su tesis: “Reducción del flúor en el concentrado de cobre controlando el % masspull aplicando la metodología six sigma”; El estudio se llevó a cabo en una empresa minera que enfrentaba multas por altos niveles de flúor en el concentrado de cobre, con un promedio de 813.08 ppm y 21.22% de cobre, por lo cual implementaron la metodología Six Sigma para abordar este desafío. Se observó que un porcentaje de masspull superior al 11% durante la flotación ayudaba a reducir el flúor, por lo que se enfocaron en controlar este parámetro. El análisis reveló que el porcentaje de sólidos en la etapa rougher era la principal causa de variación. Después de aplicar Six Sigma, el contenido de flúor se estabilizó en 555.384 ppm, con un 21.435% de cobre, mejorando la eficiencia del proceso y reduciendo las penalizaciones económicas.

Huanca Parqui (2024) en su tesis: “Implementación de la metodología six sigma en el circuito de flotación de una planta concentradora de cobre de 95000 ton/d”; tuvo como objetivo principal mejorar la recuperación de cobre, considerando el contenido de carbonatos, arcillas y el porcentaje de cobre en la cabeza como variables independientes, aplico las fases Definir, medir, analizar, mejorar y controlar. En la evaluación comparativa antes y después de la implementación de Six Sigma, la tasa de recuperación de cobre aumentó un 2,2%, de un promedio de 83,2% a 85,4% después de la implementación. Además, la desviación estándar disminuyó de 3,48 a 2,67, lo que indica una menor variabilidad en el proceso. La capacidad del proceso también ha mejorado, con el índice de capacidad potencial del proceso aumentando de 0,47 a 0,87,

lo que significa que la capacidad del proceso se ha fortalecido y los defectos de uno entre un millón se han reducido significativamente. Estas mejoras se lograron principalmente gracias a la adición de hidrosulfuro de sodio y la instalación de equipos FlotForce, que fueron las principales intervenciones realizadas en el circuito de flotación

2.3 Bases teóricas

2.3.1 Etapa de molienda

La molienda es la etapa final del proceso de reducción de tamaños o conminución, la Compañía minera Cobre las cruces (2007) explica que esta “operación se realiza en recipientes cilíndricos rotatorios llamados molinos de volteo. Estos contienen una carga de medio de molienda que se mueve dentro del molino produciendo la disminución de tamaño de las partículas” (pág. 13). La reducción de tamaño de las partículas se da por una combinación de impacto y abrasión dentro de equipos como molinos de bolas, molino autógenos y semiautógenos.

El medio de molienda o carga moledora generalmente está compuesto de barras de acero, bolas de acero, o en algunos casos de trozo mismo de mineral.

La Compañía minera Cobre las cruces (2007) agrega que “en el proceso de molienda, generalmente partículas entre 5 a 20 mm se reducen en tamaño hasta partículas de 10 a 300 micrones” (pág. 13).

La molienda tiene como objetivo la liberación de las partículas valiosas de mineral, con esta operación mejorar la eficiencia de los procesos posteriores de concentración y extracción.

2.3.2 Circuitos de molienda

Son sistemas que agrupan equipos en diferentes diseños utilizados para reducir el tamaño de las partículas de mineral en un proceso continuo de molienda.

Existen varios diseños dentro de la etapa de molienda, los circuitos típicos utilizan equipos como: molino SAG, molino de bolas, chancadora de pebbles, hidrociclones, entre otros. El diseño del circuito se escoge de acuerdo a diferentes factores como: características del mineral, capacidad de procesamiento, requerimiento del producto final y condiciones operativas de la planta de procesamiento.

De acuerdo a Silva Balocchi, 2013 (pág. 14); los circuitos de molienda comúnmente utilizados son:

- SAG: Circuito con molino Semiautógeno, como podemos observar en la imagen 2.1.
- DSAG: Circuito con molino SAG, circuito secundario con molino de bolas con recirculación directa de pebbles al molino SAG, como podemos observar en la imagen 2.2.
- SABC-A: Circuito con molino SAG, circuito secundario de molino de bolas, chancado de pebbles recirculados al molino SAG, como podemos observar en la imagen 2.3.
- SABC-B: Circuito con la misma configuración que el SABC-A, pero los pebbles chancados son enviados a la alimentación del molino de bolas secundario, como podemos observar en la imagen 2.4.

Imagen 2.1: Circuito de molienda SAG

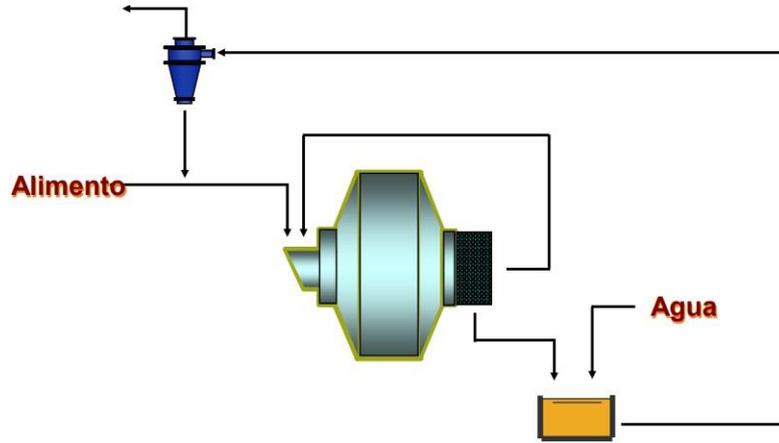


Imagen 2.2: Circuito DSAG

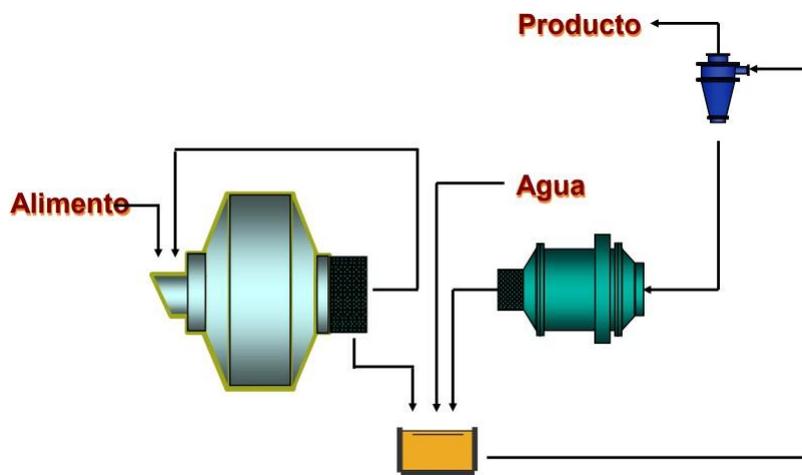


Imagen 2.3: Circuito SABC-A

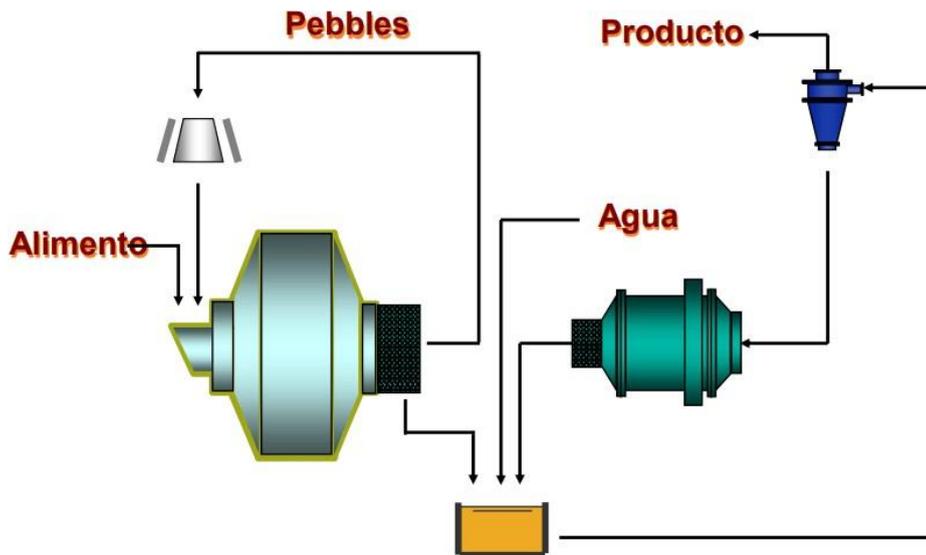
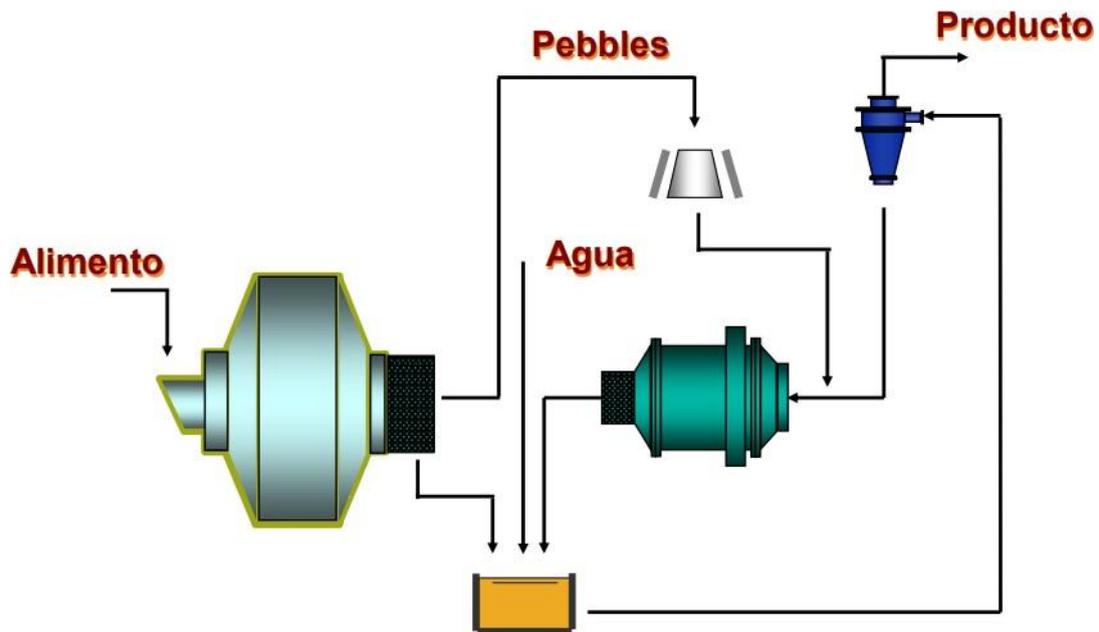


Imagen 2.4: Circuito SABC-B



Fuente: Imágenes recuperadas de MolyCop Adesur (2011). Curso de molienda de minerales con aplicaciones en ambiente MolyCop Tools.

2.3.2.1 Circuito de pebbles

De acuerdo a SNMPE (2008); los pebbles son “el resultado de la etapa de molienda de mineral, se trata de un material duro y difícil de ser reducido de tamaño por el molino SAG”.

El tamaño de los pebbles está definido por el número de malla del trommel del molino SAG que generalmente varía de 12 mm a 75 mm; por otro lado el circuito de pebbles es una etapa específica del proceso de molienda donde los pebbles generados por el SAG, son nuevamente procesados (chancados y clasificados) y cuyo producto es conducido a un molino secundario de bolas; los equipos que intervienen en el circuito de pebbles son fajas transportadoras, chancadora de pebbles (cónicas o de impacto), chutes de transferencia y de descarga, sensores magnéticos y detectores de metales según corresponda.

2.3.3 Lean Manufacturing

También llamado “Manufactura ágil”, tuvo origen en Toyota entre los años de 1940 y 1970, teniendo como objetivo reducir al mínimo los defectos en los procesos de producción. Martínez & Morales (2022) mencionan que “la producción eficiente, Just-in-time, era el único camino para que Japón pudiera competir con la supremacía de Estados Unidos en la producción automovilística” (pág. 13). En el enfoque Lean se debe poder reconocer el valor añadido y los desperdicios para actuar y eliminarlos de acuerdo a la técnica más adecuada, para posteriormente estandarizarlo y reiniciar con el ciclo de mejora.

2.3.3.2 Herramientas Lean

2.3.3.2.1 Análisis del valor agregado

Mediante un listado detallado y diagrama de flujo se puede determinar los desperdicios y actividades que aportan valor en el proceso para identificar oportunidades de mejora. Reyes, 2022 (pág. 5) menciona que “en este método, para identificar las actividades que agregan valor, el equipo hace un listado muy detallado de las actividades para cada proceso de manufactura o administrativo y desarrolla un diagrama de flujo de valor, indicando duración de las actividades y distancias recorridas, donde se identifican las actividades que agregan valor y las que no agregan valor”, después de un análisis los equipos proponen e implantan soluciones.

2.3.3.2.2 Método de cambios rápidos (SMED)

En sus siglas en inglés “Single Minute Exchange of Die”, tiene como objetivo reducir el tiempo de cambio de configuración de equipos. Reyes (2022) menciona que:

“En el caso de las máquinas se trata de preparar y ajustar los herramientas por fuera mientras la máquina continúa trabajando (preparación externa) y hacer parar la

máquina para hacer los cambios en el menor tiempo posible (preparación interna)” (pág. 6). Para convertir la mayoría de las operaciones internas en externas es necesario que un equipo de trabajo capture y analice las operaciones actuales para su optimización. Este mismo concepto se puede aplicar también a las actividades de mantenimiento preventivo.

2.3.3.2.3 Poka Yokes

Conocido también como método “a prueba de error”, se utiliza el control estadístico complementado con inspecciones en cada área por parte de los operadores realizando retroalimentación en cada turno de trabajo. Reyes (2022) en la pág. 8 indica que:

“Con este método los operadores tratan de hacer una autoinspección por el operador y una inspección al operador anterior para evitar el avance de productos defectuosos. En algunos casos en las plantas automotrices, cada operador tiene a su alcance un interruptor para parar el proceso completo o para activar una alarma en caso de detectar defectos o no haber terminado su operación antes del ciclo de avance de la línea.”

2.3.4 Six Sigma (6σ)

El término sigma indica la desviación estándar utilizada en estadística como un indicador de la dispersión o variabilidad producida. Seis Sigma tiene como objetivo minimizar los defectos a un nivel de 3.4 por cada millón de oportunidades utilizando herramientas estadísticas para mejorar el rendimiento de un proceso, esto se logra tomando decisiones basadas en datos reales. Tovar (2016) en la pág. 6 considera que la aplicación de esta metodología está presente en áreas de minería como:

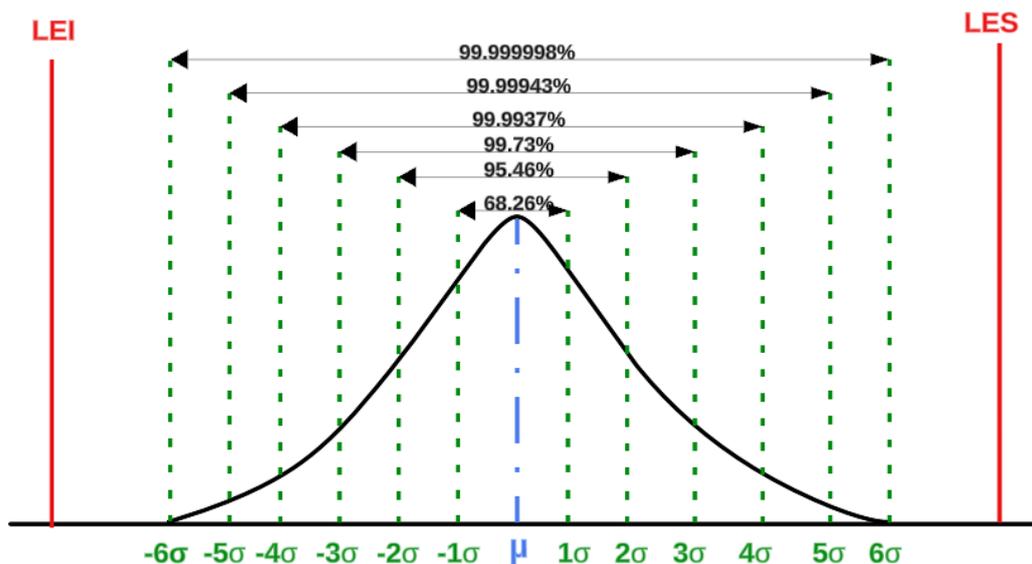
- Geología: Estimación de leyes, volúmenes de mineral, gravedad específica.

- Mina: Recuperación de minado, costos de preparaciones, costo de minado, dilución de minado, costos fijos, productividad.
- Planta: Recuperación metalúrgica, leyes de concentrados, leyes de contaminantes, eficiencia operativa.
- Comercialización: Precios, fletes, seguros y otros.

Esta herramienta mejora significativamente la satisfacción del cliente y el valor agregado de los accionistas reduciendo la variabilidad en todos los aspectos del negocio. Adicionalmente Reyes (2022) manifiesta que:

“La capacidad en número de sigmas del proceso se determina por el número de veces que el valor numérico de la desviación estándar cabe en la distancia que existe entre la media aritmética del proceso,” (pág. 13), esto se puede observar en la imagen 2.5; donde “ μ ” representa la media.

Imagen 2.5: Distribución normal y niveles sigma con límites de especificaciones (LEI y LES).



Nota: Elaboración propia

Un proceso que tiene una capacidad de 3 sigma está diseñado de tal manera que la variación en los productos se mantiene dentro de ciertos límites. Sin embargo, este proceso puede generar un 0.27% de productos defectuosos, lo cual significa que, de cada 1,000 productos, aproximadamente 3 pueden no cumplir con los estándares de calidad.

Por otro lado, un proceso más eficiente con una capacidad de 4.5 sigma tiene una mejor precisión y variabilidad. En este caso, la distancia desde la media hasta el límite de especificación más cercano es mayor, lo que implica que hay menos riesgo de generar productos defectuosos. Este proceso produce solo 3.4 defectos por cada millón de productos, lo que equivale a una tasa de error mucho más baja. En resumen, a medida que aumenta la capacidad del proceso, la cantidad de defectos que se producen disminuye significativamente.

2.3.4.1 Índices de capacidad de un proceso

Es una herramienta estadística que nos ayuda a evaluar qué tan bien un proceso puede producir un producto o servicio que cumpla con los requisitos del cliente. En otras palabras, nos muestra cuán capaz es un proceso de generar productos que se mantengan dentro de los límites de tolerancia aceptados.

2.3.4.1.1 Índice de capacidad potencial del proceso “Cp”

Representa qué tan bien el proceso se mantiene dentro de los límites de especificación cuando se encuentra perfectamente centrado y se define en la ecuación 2.1.

$$C_p = \frac{LES - LEI}{6\sigma} = \frac{\text{Variación tolerada}}{\text{Variación Real}} \quad (2.1)$$

Donde; σ representa la desviación estándar en un proceso, así como LES es el límite de especificación superior y LEI es el límite de especificación inferior para la calidad.

Gutiérrez & De la Vara (2009) en la pág. 121 sostienen que “para que el proceso sea

considerado potencialmente capaz de cumplir con especificaciones, se requiere que la variación real (natural) siempre sea menor que la variación tolerada”

De tal forma que se obtiene la tabla 2.1 con valores de Cp y su interpretación.

Tabla 2.1

Índices de capacidad de un proceso

VALOR DEL ÍNDICE CP	CLASE DEL PROCESO	CLASE O CATEGORÍA DEL PROCESO
$C_p \geq 2$	Clase mundial	Se tiene calidad Seis Sigma
$C_p > 1.33$	1	Adecuado
$1 < C_p < 1.33$	2	Parcialmente adecuado, requiere de un control estricto
$0.67 < C_p < 1$	3	No adecuado para el trabajo. Es necesario un análisis del proceso. Requiere de modificaciones serias para alcanzar una calidad satisfactoria
$C_p < 0.67$	4	No adecuado para el trabajo. Requiere de modificaciones muy serias

Fuente: Adaptado de Gutiérrez, H., & De La Vara, R. (2009). Control estadístico de calidad y seis Sigma. 2ª ed., McGraw-Hill, Capítulo 5.

2.3.4.1.2 Índice de capacidad real del proceso (Cpk)

A diferencia del índice Cp, está toma en consideración la media (μ) y se calcula con la ecuación 2.2.

$$C_{pk} = \text{Mínimo} \left[\frac{\mu - LEI}{3\sigma}, \frac{LEI - \mu}{3\sigma} \right] \quad (2.2)$$

Según Tejada (2024) el índice de capacidad real del proceso, “es considerado una versión corregida de Cp, que toma en cuenta el centrado del proceso”, cuya interpretación se observa en la imagen 2.6.

Interpretación del índice Cpk

VALOR DEL ÍNDICE Cpk	DECISIÓN
$C_{pk} \leq C_p$	Cuando son muy próximos, indica que la media del procesos está muy cerca del punto medio de las especificaciones, por lo que la capacidad potencial y real son similares.
C_{pk} mucho mas pequeño que el C_p	La media del proceso esta alejada del centro de las especificaciones. De esa manera, el índice C_{pk} estará indicando la capacidad real del proceso, y si se corrige el problema de descentrado se alcanzará la capacidad potencial indicada por el índice C_p .
$C_{pk} > 1.25$	En un proceso ya existente, se considera que se tiene un proceso con capacidad satisfactoria.
$C_{pk} > 1.45$	En un proceso nuevo, se considera que se tiene un proceso con capacidad satisfactoria.
$C_{pk} \leq 0$	Indican que la media del proceos está fuera de las especificaciones.

Fuente: Recuperado de Tejada, J. (2024). Índices de capacidad de procesos. Blogspot.com.

Cuanto mayor sea el Cpk, mejor será la calidad del proceso.

2.3.4.1.3 Índice de desempeño potencial y real del proceso (Pp y Ppk)

Están orientados al desempeño del proceso tomando en cuenta la variabilidad a lo largo del tiempo y no solo en un proceso y se calculan con las ecuaciones 2.3 y 2.4

$$Pp = \left[\frac{LES - LEI}{6\sigma_L} \right] \quad (2.3)$$

$$Ppk = \text{Minimo} \left[\frac{\mu - LEI}{3\sigma_L}, \frac{LEI - \mu}{3\sigma_L} \right] \quad (2.4)$$

Donde el índice Pp mide la capacidad potencial del proceso y no considera cómo está centrado, es útil para análisis a corto plazo. Por otro lado, el índice Ppk determina la capacidad real teniendo en cuenta la media, por lo que es más representativo de la capacidad del proceso a largo plazo. Gutiérrez & De la Vara (2009) dicen que “en general, se considera que un proceso es capaz si el índice de capacidad es mayor o igual a 1.33”, esto se observa en la imagen 2.7.

Imagen 2.7

Interpretación de los valores de Ppk

Valor de Ppk	Interpretación	Criterio de aceptación
$Ppk < 1.00$	El proceso no cumple con las especificaciones; alta probabilidad de productos fuera de tolerancia.	No aceptable
$Ppk = 1.00$	El proceso apenas cumple las especificaciones, sin margen de seguridad.	Aceptable bajo condiciones mínimas
$Ppk \geq 1.33$	El proceso es considerado capaz; cumple consistentemente con las especificaciones.	Aceptable (recomendado en la industria)
$Ppk \geq 1.50$	El proceso es muy capaz; bajo riesgo de no conformidades.	Recomendado en procesos exigentes
$Ppk \geq 2.00$	Proceso altamente optimizado; calidad clase mundial.	Ideal (Seis Sigma)

Fuente: Adaptado de Gutiérrez, H., & De La Vara, R. (2009). *Control estadístico de calidad y seis Sigma*. 2ª ed., p.104, McGraw-Hill.

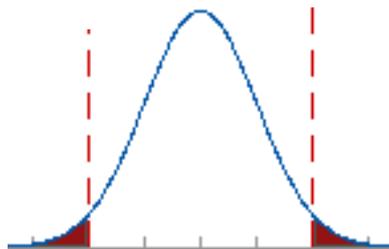
2.3.4.1.4 Índice Z

Se le considera a Z como el número de desviaciones estándar que separa la media de los límites de especificación que ocurre en un proceso. La página web de Minitab (2024) menciona que “se puede usar los valores del nivel Z para describir la capacidad del nivel sigma del proceso”.

Para comprender el nivel Z en un proceso, es importante considerar todos los defectos. La imagen 2.8 muestra como estos defectos se encuentran cerca de los límites de especificación. Del mismo modo la imagen 2.9 muestra que si concentras todos los defectos en un extremo de la distribución y luego mides cuántas desviaciones estándar hay desde el centro hasta ese punto, obtendrás el valor del nivel Z.

Imagen 2.8

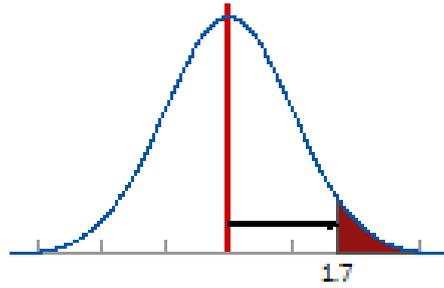
Interpretación del nivel Z



Fuente: Recuperado de nivel Z Como una Estimación de la Capacidad Sigma - Minitab, s. f.)

Imagen 2.9

Obtención del valor Z



Fuente: Recuperado de nivel Z Como una Estimación de la Capacidad Sigma - Minitab, s. f.)

Para el cálculo de dicha distancia tenemos las ecuaciones 2.5 y 2.6 referentes a un Z superior y un Z inferior, las cuales son:

$$Z_s = \left[\frac{LES - \mu}{\sigma} \right] \quad (2.5)$$

$$Z_i = \left[\frac{\mu - LEI}{\sigma} \right] \quad (2.6)$$

Gutiérrez & De la Vara (2009) consideran que: “La capacidad de un proceso medida en términos del índice Z es igual al valor más pequeño de entre Zs y Zi” (pág. 109).

Es decir:

$$Z = \text{mínimo}[Z_s, Z_i] \quad (2.7)$$

Dependiendo si la desviación estándar es a corto o largo plazo se tiene el nivel Z a corto plazo (Z_c), largo plazo (Z_L) y el desplazamiento del proceso (Z_m) denotado en la ecuación 2.8

$$Z_m = Z_c - Z_L \quad (2.8)$$

Además, para hallar los valores de los niveles Z a corto plazo (Z_c) y a largo plazo (Z_L) se tienen las ecuaciones 2.9 y 2.10 respectivamente.

$$Z_c = 3C_{pk} \quad (2.9)$$

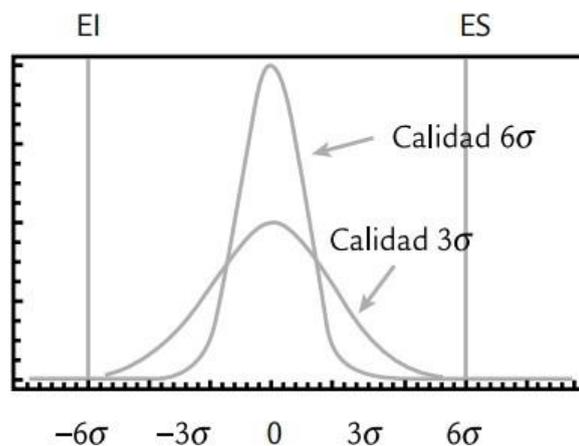
$$Z_L = 3P_{pk} \quad (2.10)$$

Gutiérrez & De la Vara (2009) dicen que “Cuando es posible calcular Z_m y si éste es menor que 1.5, se asumirá que el proceso tiene un mejor control que el promedio de los procesos con un control pobre, y si es mayor que 1.5, entonces el control es muy malo. Si no se conoce Z_m , entonces se asume un valor de 1.5” (pág. 109).

Si evaluamos un nivel tres sigmas, el área bajo la curva dentro de las especificaciones corresponde a 99.73% y solo 0.27% se encuentran fuera de las especificaciones, a simple vista aparenta tener un nivel de calidad idóneo equivalente a 2700 partes por millón defectuosas. Sin embargo, un nivel 6 sigma obtendría 0.002 de defectos y se puede observar en la imagen 2.10 la diferencia entre ambos niveles.

Imagen 2.10

Calidad de 3 y 6 σ ($C_p=2.0$, $C_{pk}=2.0$, $Z_s=Z_i=6$)



Fuente: Recuperado de Gutiérrez, H., & De La Vara, R. (2009). *Control estadístico de calidad y seis Sigma*. 2ª ed., McGraw-Hill, Capítulo 5.

El índice Z se usa como una herramienta de medición cuando la característica de calidad que se está analizando es de tipo continuo.

2.3.4.1.5 Defectos por oportunidad

Este indicador calcula la tasa de errores en función del número total de posibilidades de que ocurran. Se emplea para obtener una imagen más precisa de la calidad, ya que considera el número total de oportunidades potenciales de cometer errores en un

proceso. se realiza el cálculo mediante la ecuación 2.11.

$$DPO = \frac{\text{Total de defectos}}{\text{Total de und. inspeccionadas} \times \text{Numero de oportunidades por und.}} \quad (2.11)$$

Esta métrica es útil para entender la tasa de defectos relativa a las oportunidades totales en un proceso.

2.3.4.1.6 Defectos por millón de oportunidades (DPMO)

DPMO se usa cuando se quiere estandarizar la medición de defectos para compararla con otras métricas o procesos, independientemente del número de oportunidades o unidades inspeccionadas. Proporciona una métrica más comprensible y fácil de comparar en gran escala y se calcula mediante la ecuación 2.12.

$$DPMO = \frac{\text{Total de defectos}}{\text{Total de und. inspeccionadas} \times \text{Numero de oportunidades por und.}} \times 1,000,000 \quad (2.12)$$

La imagen 2.11 muestra la calidad a corto y largo plazo en términos de C_p , Z_c , Z_L y PPM (partes por millón). Gutiérrez & De la Vara (2009) mencionan las fórmulas para hallar el rendimiento respecto al comportamiento de los defectos, según la ecuación 2.13.

Imagen 2.11

Calidad de corto y largo plazo en términos de C_p , Z_c , Z_L y PPM.

CALIDAD DE CORTO PLAZO (SUPONIENDO UN PROCESO CENTRADO)				CALIDAD DE LARGO PLAZO CON UN MOVIMIENTO DE 1.5σ		
ÍNDICE C_p	CALIDAD EN SIGMAS Z_c	% DE LA CURVA DENTRO DE ESPECIFICACIONES	PARTES POR MILLÓN FUERA DE ESPECIFICACIONES	ÍNDICE Z_L	% DE LA CURVA DENTRO DE ESPECIFICACIONES	PPM FUERA DE ESPECIFICACIONES
0.33	1	68.27	317 300	-0.5	30.23	697 700
0.67	2	95.45	45 500	0.5	69.13	308 700
1.00	3	99.73	2 700	1.5	93.32	66 807
1.33	4	99.9937	63	2.5	99.379	6 210
1.67	5	99.999943	0.57	3.5	99.9767	233
2.00	6	99.9999998	0.002	4.5	99.99966	3.4

Fuente: Recuperado de Gutiérrez, H., & De La Vara, R. (2009). *Control estadístico de calidad y seis Sigma*. 2ª ed., McGraw-Hill, Capítulo 5.

$$\text{Rendimiento del comportamiento de defectos} = (1 - DPO) \times 100 \quad (2.13)$$

2.3.5 Lean six sigma

Lean Six Sigma fusiona los enfoques de Lean Manufacturing y Six Sigma para fortalecer la eficiencia y calidad de los procesos empresariales. Lean se centra en eliminar desperdicios y optimizar el flujo de trabajo, mientras que Six Sigma apunta a reducir la variabilidad y los errores en los procesos.

Martínez & Morales (2022) consideran que:

Los problemas internos de calidad, coste, inventarios y tiempos de producción se manifiestan en los tiempos de retraso que provocan. Calidad y retrasos, si bien no son lo mismo, tienen una estrecha relación, pues el 20% de los desechos provocan el 80% de los retrasos también conocido como principio de Pareto” (pág. 28). Además, una velocidad más rápida en el proceso multiplicara la velocidad a la que las herramientas de calidad reducirán los defectos.

2.3.5.1 Metodología DMAIC

Una de las metodologías más usadas para alcanzar la mejora continua es el DMAIC (Definir, Measure, Analyze, Improve, Control). Se basa en identificar el problema, evaluar, analizar, sugerir soluciones y monitorear los procesos relacionados. Presa Garcia (2016) afirma que:

“Las 5 fases del DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar, Controlar) están establecidas en orden cronológico, de esta forma su aplicación se establece de acuerdo con lineamientos temporales.” (pág. 2); sin embargo, en cada una de las etapas mencionadas, se han desarrollado diferentes herramientas de aplicación para desarrollar cada una de las fases de la metodología.

2.3.5.1.1 Definir

Esta fase es fundamental porque fija las bases del proyecto a mejorar centrándose en definir con claridad el problema, los objetivos y las necesidades de los clientes. En esta fase, se determinan los requisitos del cliente, los factores críticos para la calidad (CTQs) y las variables clave de salida (Y's), se representa el proceso mediante herramientas como diagramas de flujo, seguido se establece el marco del proyecto (*project charter*) para asegurar que todas las partes interesadas (stakeholders) estén alineados con los objetivos.

2.3.5.1.1.1 Críticos para la calidad CTQ's y Y's

Los CTQ's determinan qué es importante para el cliente y qué se debe mejorar para satisfacer sus necesidades; una herramienta útil para identificar estos factores y sus indicadores es construir un árbol de calidad o árbol de CTQ's, OPX MENTOR en la pág. 109 menciona los pasos para construir el árbol de calidad, los cuales son:

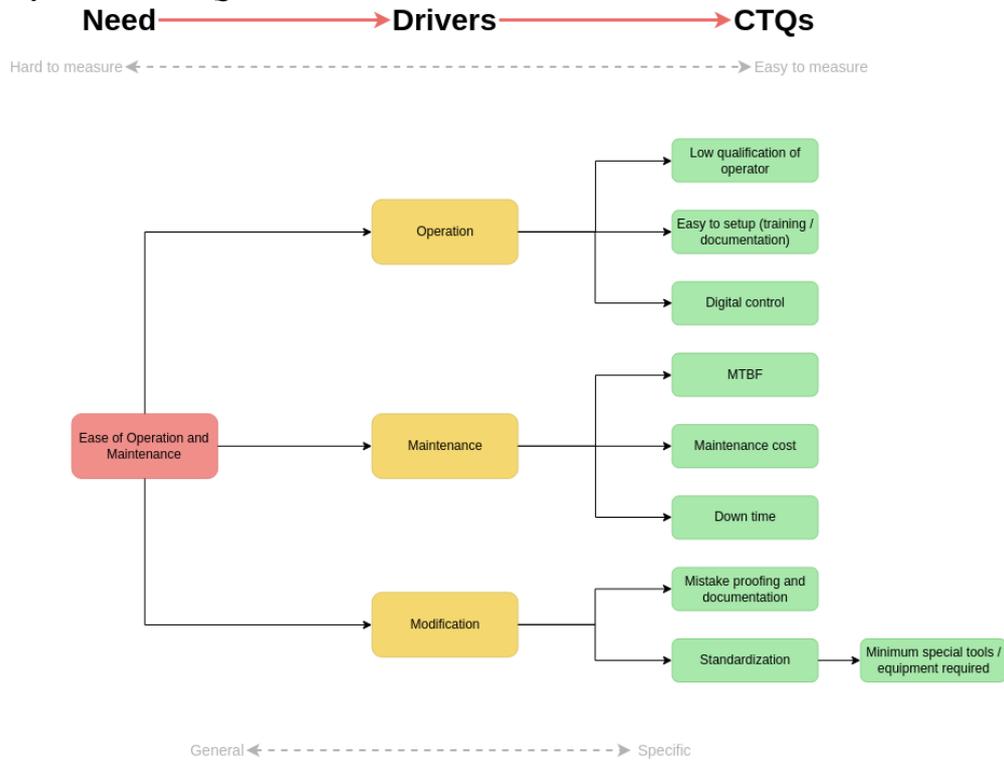
1. Identificar al cliente.
2. Identificar las necesidades del cliente.
3. Identificar el primer grupo de requerimientos básicos del cliente.
4. Avance con más niveles según se requiera.
5. Valide los requerimientos con el cliente.

El proceso de crear un árbol de calidad se mueve desde los requisitos generales hacia los más específicos.

Por otro lado, los Y's son las salidas o resultados del proceso que se medirán y optimizarán en el proyecto. Se relacionan con los CTQ's, ya que son los resultados que impactan en la calidad percibida por el cliente. La imagen 2.12 muestra un ejemplo de árbol de CTQ's.

Imagen 2.12

Ejemplo de árbol de CTQ's.



Fuente: Recuperado de: online.visual-paradigm.com (s.f.).

2.3.5.1.1.2 Diagrama del proceso

Este diagrama de flujo de procesos es utilizado para mapear visualmente el flujo de trabajo, entender el proceso actual, identificando oportunidades de mejora eliminando desperdicios que no agreguen valor como cuellos de botella, redundancias o errores dentro del proyecto.

2.3.5.1.1.3 Marco del proyecto

Es un documento que describe y formaliza el proyecto, los participantes, los beneficios esperados y las métricas clave, asegurando que todos los involucrados tengan un entendimiento claro de los objetivos y el plan a seguir. La imagen 2.13. muestra los elementos del marco de un proyecto Seis Sigma.

Imagen 2.13

Elementos del marco de un proyecto Seis Sigma

MARCO DEL PROYECTO SEIS SIGMA	FECHA	VERSIÓN
<i>Título/propósito:</i> es una declaración breve de la intención del proyecto (usar métricas: financieras, calidad, tiempo de ciclo).		
<i>Necesidades del negocio a ser atendidas:</i> indicar los argumentos (desde la óptica de la empresa) para llevar a cabo el proyecto. ¿Por qué se debe apoyar el proyecto?		
<i>Declaración del problema:</i> resume los problemas que serán abordados. Debe incluir condiciones actuales o históricas, tales como índices de defectos y/o costos por el pobre desempeño, en términos de variables críticas para la calidad (Y).		
<i>Objetivo:</i> es una declaración más específica del resultado deseado.		
<i>Alcance:</i> establecer el aspecto específico del problema que será abordado.		
<i>Roles y responsabilidades:</i> los que intervienen en el proyecto.		
<i>Propietarios:</i> se refiere a los departamentos, clientes o proveedores que serán afectados por las actividades del proyecto o por sus resultados.		
<i>Patrocinador o champion:</i> directivo que apoya el proyecto y le da seguimiento.		
<i>Equipo:</i> miembros específicos de los grupos de propietario que juegan un papel activo en el proyecto.		
<i>Recursos:</i> son los procesos, equipos, bancos de datos o gente que no es miembro del equipo, y que se pueden requerir para la realización del proyecto.		
<i>Métricas:</i> variable a través de las cuales se medirá el éxito del proyecto.		
<i>Fecha de inicio del proyecto:</i>		
<i>Fecha planeada para finalizar el proyecto:</i>		
<i>Entregable del proyecto:</i> incluye todos los beneficios medibles y tangibles que se espera tener si se concluye en forma exitosa el proyecto.		

Fuente: Recuperado de Gutiérrez, H., & De La Vara, R. (2009). Control estadístico de calidad y seis Sigma. 2ª ed., McGraw-Hill, Pág. 428.

2.3.5.1.2 Medir

Esta etapa que se encarga de la recolección de datos precisos, consistentes y confiables que describan el estado actual del proceso. Definiendo una línea base de acuerdo al rendimiento actual, permitiendo compararlo con el rendimiento futuro luego de implementar las mejoras. En esta etapa se establece con mayor detalle la métrica Y's (Salidas del proceso) con las X's (entradas del proceso) apoyándose en diagrama SIPOC. Bennasar (2017) en la pág. 29 afirma que:

“Es fundamental evaluar la fiabilidad de la base de datos, ya que todo el proyecto dependerá de ella. Si ya existe una, es necesario revisar bajo qué condiciones fue creada, ya que podría haber sido manipulada, estar incompleta o desactualizada. Si no

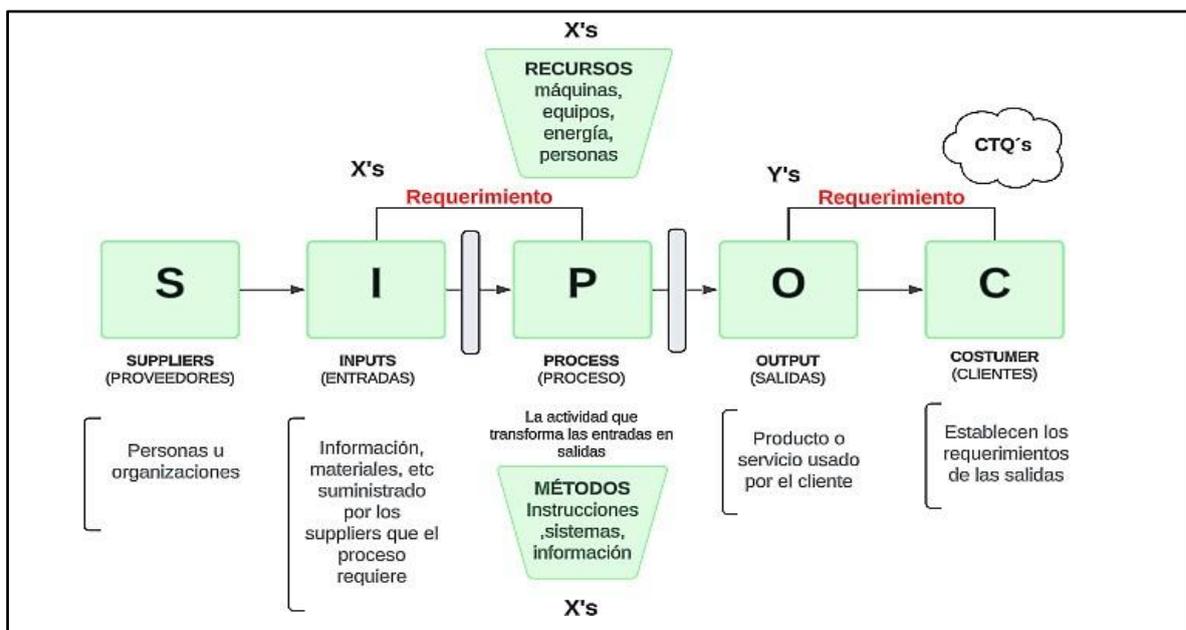
es fiable, se deberán recopilar nuevos datos con una planificación adecuada para evitar inconsistencias.”

2.3.5.1.2.1 Diagrama SIPOC

El término SIPOC representa a Suppliers, Input, Process, Output y Customer (Proveedores, entradas, proceso, salidas y clientes). Esta herramienta ayuda a determinar el inicio y el término del proceso, así como los componentes principales que participan en él, buscando áreas de mejora; la imagen 2.14 muestra un resumen detallado.

Imagen 2.14

Diagrama SIPOC



Fuente: Elaboración propia

Los autores Mayoral & Javier (2022) en la pág. 55 afirman que para construir correctamente el mapa del proceso se deben de responder a las siguientes preguntas:

- ¿Cómo funciona cada etapa del proyecto?
- ¿Cómo afecta cada paso a las salidas? ¿Agrega valor?
- ¿Cómo se están midiendo las salidas? ¿Hay variabilidad?

- ¿Cómo se está midiendo el resultado de cada tarea o actividad?
- ¿Qué pasos o etapas condicionan la existencia de un defecto?
- ¿Qué pasos o etapas es necesario estudiar para entender el defecto?

2.3.5.1.2.2 Muestreo

Las Herramientas de medición por lo general son máquinas con sistemas automatizados y en otras se utilizan personas, en este último se debe asegurar el cumplimiento de los protocolos de medición. Se debe definir el plan o la frecuencia de muestreo. Martínez & Morales (2022) recomiendan que; “Como regla práctica, la frecuencia de la toma de muestras debe ser dos veces mayor a la frecuencia a la que se supone cambia el proceso (si varía cada semana, tomar dos muestras semanales)” (pág. 73). En procesos inestables se recomienda tomar datos con una mayor frecuencia.

Con ayuda del diagrama de proceso desarrollado en la etapa definir facilitará los puntos de recogida de datos dando lugar a aquellos pasos del proceso en los que se producen alteraciones.

Para garantizar la calidad de los datos, los sistemas de medición deben de cumplir con las siguientes características de la estadística:

- Mantener un control estadístico (estabilidad estadística)
- Su variabilidad debe de ser mínima en comparación a los límites y variaciones del proceso
- Presentar un sesgo mínimo.

Para un universo de muchos datos (mayores de 2000 datos), el procesamiento de datos se realizará mediante el software Minitab 19, para el cálculo de tamaño de muestra se determinará aplicando la ecuación 2.14.

$$n = \left(\frac{Z^2 \cdot p \cdot q \cdot N}{e^2 \cdot (N - 1) + Z^2 \cdot p \cdot q} \right)^2 \quad (2.14)$$

Donde:

- n = es la cantidad de datos que se tomaran como muestra
- Z = es el nivel de confianza de 95% que toma un valor de 1.96
- p = representa la probabilidad a favor, que toma un valor de 50% o 0.5 para este caso aplicativo
- q = representa la probabilidad en contra, es estimado por $(1 - p)$ que toma un valor de 50% o 0.5 para este caso aplicativo.
- N = Cantidad total de datos
- e = es el margen de error permitido, generalmente 5% (0.05 para la estimación de la muestra)

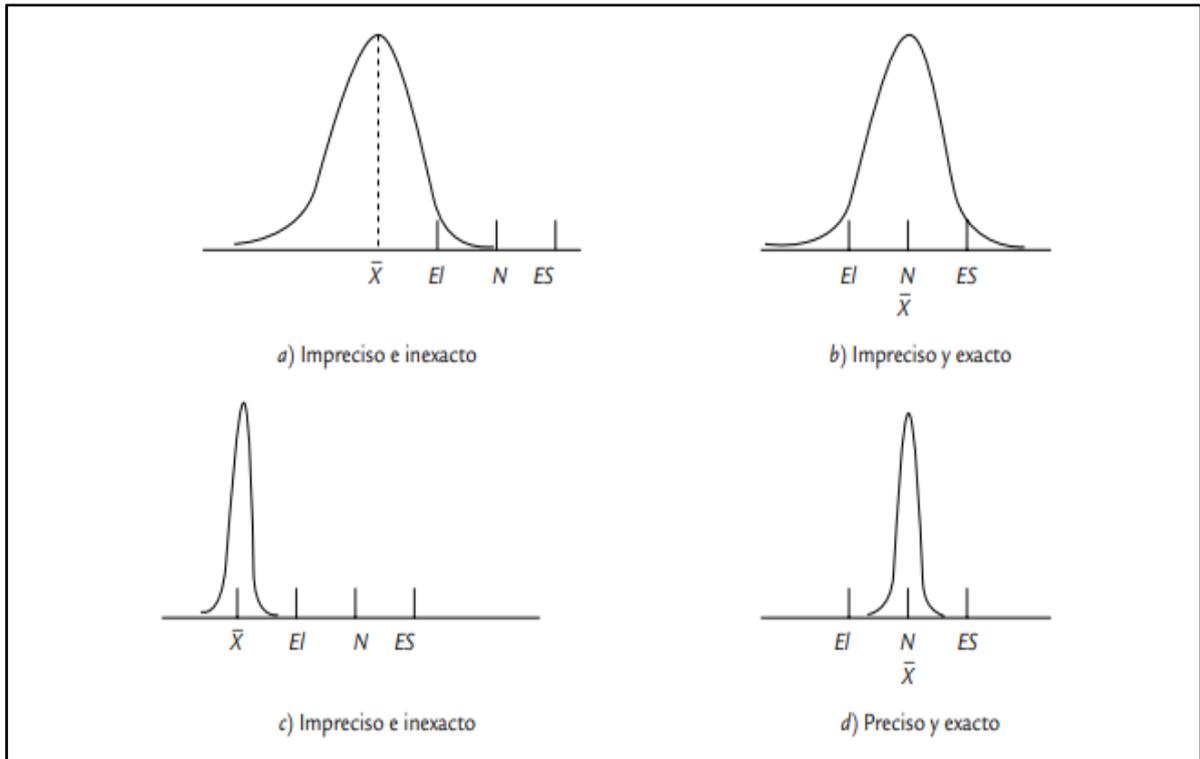
2.3.5.1.2.3 Errores de medida

Uno de los aspectos más importantes de esta fase es garantizar que los datos recolectados sean precisos y consistentes, los errores de exactitud y precisión se refieren a la calidad de las mediciones, y entender la diferencia entre ambos es fundamental para garantizar que los datos recopilados sean confiables. La exactitud indica que tan cerca se encuentra una medición del valor real y la precisión está relacionada con la consistencia de los resultados obtenidos al repetir las mediciones bajo las mismas condiciones, la imagen 2.15 muestra la representación de exactitud y precisión a través de la curva normal.

Las causas más comunes de estos errores se deben por: instrumentos de medición mal calibrados, errores humanos al interpretar resultados, Deficiencia en instrumentos de medición, etc.

Imagen 2.15

Representación de exactitud y precisión a través de la curva normal



Fuente: Recuperado de Gutiérrez, H., & De La Vara, R. (2009). *Control estadístico de calidad y seis Sigma*. 2ª ed., McGraw-Hill, Pág. 283.

El uso de herramientas avanzadas, como sistemas de monitoreo, sensores y software especializado como (Delta V, PI System y Power Bi) permiten una recolección y análisis de datos más precisos, facilitando la identificación de causa raíz de las detenciones, mejorando la capacidad de toma de decisiones basadas en evidencia.

2.3.5.1.2.4 Disponibilidad, utilización y eficiencia del circuito

- Según Engeman (s.f.) la **disponibilidad** se refiere a la capacidad de un sistema o equipo para estar en condiciones operativas cuando se le requiere; nos permite medir el tiempo de operación de los equipos en el circuito y se calcula de acuerdo a la ecuación 2.15.

$$\% \text{ Disponibilidad} = \frac{\text{Total de horas efectivas} - \text{Detenciones por mant.}}{\text{Total de horas efectivas}} \times 100 \quad (2.15)$$

- Dominguez Machuca, Garcia Gonzales y Ruiz Jimenez (2014) definen la **utilización** como el grado en que un equipo o maquina está siendo empleado productivamente en relación con su disponibilidad total (p. 187); nos permite medir el tiempo de operación real de los equipos dentro del tiempo total en que estuvieron disponibles para ser usados y se calculan con la ecuación 2.16.

$$\% \text{ Utilización} = \frac{\text{Tiempo de operación}}{\text{Total de horas efectivas}} \times 100 \quad (2.16)$$

- Engeman (s.f.) se refiere a la **eficiencia** como la capacidad de realizar las actividades utilizando la menor cantidad de recursos posibles, sin comprometer la calidad del servicio; en nuestro caso la eficiencia es el producto de disponibilidad y utilización, la cual se calcula de acuerdo a la ecuación 2.17.

$$\% \text{ Eficiencia} = \text{Disponibilidad} \times \text{Utilizacion} \times 100 \quad (2.17)$$

2.3.5.1.3 Analizar

La meta de esta etapa, según Gutiérrez & De la Vara (2009) es:

“identificar la(s) causa(s) raíz del problema (identificar las X vitales), entender cómo es que éstas generan el problema y confirmar las causas con datos. Entonces, se trata de entender cómo y por qué se genera el problema, buscando llegar hasta las causas más profundas y confirmarlas con datos” (pág. 428).

Esta etapa se refiere a examinar los datos para identificar la causa raíz de los problemas. Es aquí que se utilizan herramientas estadísticas y/o de análisis para encontrar patrones y tendencias, como diagrama de Pareto, el método de los cinco por qué, mapeo de procesos, cartas de control, vinculación de variables de entrada con

variables de salida, diseño de experimentos, prueba de hipótesis, diagrama de dispersión, entre otras.

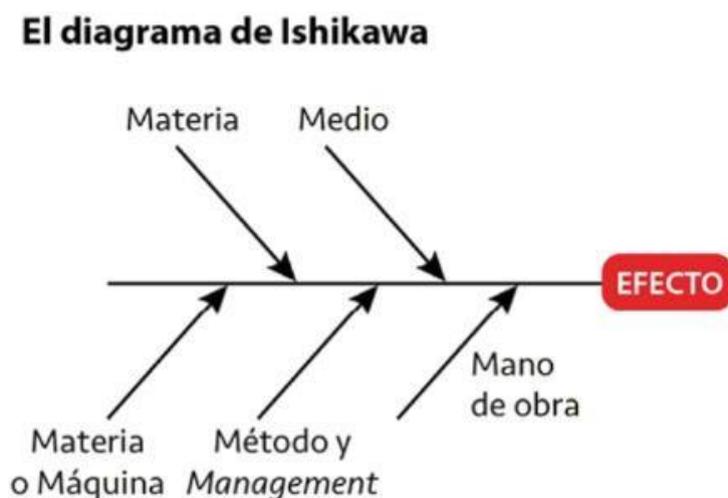
Gutiérrez & De la Vara, (2009) en la pág. 429 resumen a esta como la etapa “donde se identifican y confirman las causas, además se entiende cómo generan el problema”.

La herramienta más usada es la de las 5 por qué, pues es una estrategia sencilla pero efectiva para identificar la causa fundamental de cualquier problema. Consiste en realizar cinco preguntas consecutivas que empiecen con "por qué". Aunque a veces, menos de cinco preguntas pueden ser suficientes para llegar al origen del problema.

Otra herramienta a aplicar en esta etapa es el diagrama de Ishikawa o causa – efecto; Gutiérrez & De la Vara (2009) definen a esta como “un método gráfico que relaciona un problema o efecto con los factores o causas que posiblemente lo generan.” (pág. 152); podemos observar un ejemplo del diagrama de Ishikawa en la imagen 2.16.

Imagen 2.16

Ejemplo de diagrama de Ishikawa



Fuente: Recuperado de De Saeger, A. (2018). El diagrama de Ishikawa: Solucionar los problemas desde su raíz. 50Minutos.es. Pág. 8.

De Saeger (2018) en la pág. 8, dentro de los principales componentes del diagrama de Ishikawa nombra a:

- **Materia:** es toda la materia prima que se usa para el desarrollo del proyecto, como el papel, el agua, la electricidad, etc.
- **Medio:** es el entorno donde se realiza el proyecto, es decir, con el contexto que puede tener impactar el proyecto (lugar de trabajo, planta de producción, áreas verdes, etc.).
- **Métodos (y Gestión, del inglés Management):** abarca los procesos que ya existen y como se hacen las cosas, como fluye la información, las herramientas de gestión la investigación y desarrollo, las formas de trabajar, etc.
- **Material o Máquina:** se refiere al material necesario (recursos físicos) que se necesita en el proyecto: desde el equipo más básico hasta herramientas complejas; como ordenadores, maquinaria pesada, incluso instalaciones temporales; en general, son elementos que necesitan planificación e inversión.
- **Mano de obra:** hace referencia al equipo humano detrás del proyecto y a la cualificación del personal.

El uso de estas herramientas contribuirán a no dar por obvias las causas, sino tratar el problema desde diferentes enfoques.

2.3.5.1.4 Mejorar

El objetivo de esta etapa es proponer e implementar soluciones que atiendan las causas raíz; es decir, asegurarse de que se corrige o reduce el problema. Se recomienda producir diferentes alternativas que den solución a las diversas causas.

Gutiérrez & De la Vara (2009) en la pág. 429 afirman que mejorar es la “cuarta etapa de DMAIC en donde se proponen, implementan y evalúan soluciones que atiendan las causas raíz del problema”.

Una estrategia de mejora es un método organizado y estructurado para trabajar sobre las X's que afectan el proceso y escoger la mejor manera que mejore su funcionamiento.

Es fundamental considerar la naturaleza de las causas raíz confirmadas en la fase analizar; cuyos objetivos dentro del DMAIC son:

- Identificar estrategias de mejora para proceso que no funciona correctamente.
- Reconocer y evaluar las mejoras utilizando diferentes técnicas basadas en alternativas de cambio.
- Desarrollar propuestas de mejora en base al diseño de experimentos.
- Desarrollar un plan de mejora escogiendo una mejor alternativa.

Martínez & Morales (2022) en la pág. 135 afirman que las principales herramientas para generar soluciones de cambio están estrechamente relacionadas con el sistema Lean. Dentro de las cuales se encuentran los siguientes:

- Mejorar el flujo del proceso.
- Estandarizar las actividades.
- Pensamiento creativo.
- Evaluación del riesgo.
- Pruebas piloto.
- Simulación.

2.3.5.1.5 Controlar

Una vez conseguidas las mejoras deseadas, en esta etapa se procede a diseñar un sistema que controle las X vitales y se da por concluido el proyecto. Esta etapa suele ser la más complicada ya que implica garantizar que los cambios establecidos para la mejora se integren de manera permanente.

Gutiérrez & De la Vara (2009) en la pág. 430, mencionan que “controlar es la última etapa de DMAIC en donde se diseña un sistema que mantenga las mejoras logradas (controlar las X vitales) y se cierra el proyecto”.

Finalmente, el desafío que enfrenta la etapa de control es que las mejoras soporten pasen a través del tiempo. Para esto es necesario instaurar un sistema de control para:

- Prevenir que los problemas en el proceso no se repitan.
- Evitar que las mejoras y el conocimiento adquirido se pierdan.
- Sostener el rendimiento del proceso (que se mantenga).
- Incentivar la constante búsqueda de mejoras.

Por otra parte, Martínez & Morales (2022) en la pág. 155 afirman que:

“Uno de los objetivos principales de esta etapa es diseñar un sistema de control del proceso, para lo que habremos de tener claro cuándo un proceso está bajo control y cómo identificar “escapes” del control para intervenir. Para ello será esencial aplicar la herramienta plan de control de procesos”.

2.3.5.1.5.1 El plan de control de proceso

Para tener un buen control de calidad es necesario tener en cuenta lo siguiente:

- Seleccionar el objeto a controlar, o sea, la característica del producto que aseguraremos (Y) o el factor del proceso que determina dichas características (X).

- Se establece la unidad de medida, especificando los instrumentos o medios que se van a utilizar las medidas (sensores), los ciclos de medición, el tamaño de muestra y la manera de registrar los resultados obtenidos.
- Se define el nivel de rendimiento deseado, es decir, el rango de valores que se tendrán al medir el objeto de control.
- Se utiliza el método usando el sensor para llevar a cabo las mediciones establecidas.
- Se contrasta el valor medido con el valor o rango objetivo.
- Según el resultado, se determina si se permite que el proceso continúe o si es necesario intervenir para corregir la discrepancia observada.

Podemos apreciar mejor los puntos anteriores en la imagen 2.17.

Imagen 2.17

Esquema de la dinámica para el control de un proceso



Fuente: Recuperado de: Martínez, & Morales (2022). Lean Six Sigma para la mejora de procesos. España: Universidad Miguel Hernández de Elche

2.4 Definición de términos básicos

- Pebbles: Son fragmentos de roca de tamaño intermedio ($>3/4''$), que son rechazados por el trommel del molino SAG, estos fragmentos de roca aun contienen mineral valioso.
- Throughput: Es la capacidad o volumen procesado, cuya medida es TM/hora.
- Delta V: Sistema de control distribuido que se encarga de operar y diagnosticar la base de datos, equipos e instrumentos dentro de la unidad minera,
- PI System: Sistema que sirve como aplicativo integrado al sistema Delta V que se encarga del almacenamiento de datos históricos.
- Power BI: Es una herramienta de análisis de datos que permite una rápida y dinámica visualización interactiva, permitiendo crear informes y tomar decisiones con ayuda de modelado de datos en tiempo real.
- Mejora continua: es un enfoque que busca un mejor desempeño, aprendiendo de la excelencia y aplicando cambios constantes.
- Chips de molienda: son fragmentos de medios de molienda (bolas de acero) producto del desgaste en la molienda en molinos de bolas o SAG.
- SNMPE: Sociedad nacional de minería, petróleo y energía.
- Herramientales: Es el conjunto de herramientas, dispositivos e instrumentos diseñados para controlar una operación dentro de un proceso productivo.
- Variabilidad: Es un término estadístico que se refiere a la diferencia de datos entre sí o respecto a su media; mide la dispersión de un conjunto de datos.
- Stakeholders: Son personas o grupos de personas que se ven afectados por un proyecto, decisión o proceso.

CAPÍTULO III

Hipótesis y variables

3.1 Hipótesis

3.1.1 Hipótesis general

La aplicación de la metodología Lean Six Sigma optimiza el circuito de pebbles en la unidad minera Cerro Corona, reduciendo el tiempo promedio de detenciones y mejorando el nivel sigma del proceso hasta un nivel de 3.5 o superior.

3.1.2 Hipótesis específicas

- Se determinan y cuantifican las causas que generan pérdidas en el throughput del circuito de pebbles mediante la aplicación de Lean Six Sigma.
- El tiempo de producción perdido debido a las detenciones en el circuito de pebbles se estima con la recopilación de datos.
- El nivel sigma del circuito de pebbles se incrementa al implementar la metodología Lean Six Sigma, alcanzando un nivel de 3.5 o superior.

3.2 Variables

3.2.1 Identificación de variables

3.2.1.1 Variable dependiente

Optimización del circuito de pebbles.

3.2.1.2 Variables independientes

- Causas de pérdidas
- Tiempo de producción perdido
- Nivel sigma

Operacionalización de Variables

	Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Rango	Unidades	Indicador	Técnicas e instrumentos
Dependientes	Optimización del circuito de pebbles	Mejoramiento continuo del rendimiento del circuito de pebbles en una unidad minera para minimizar pérdidas y maximizar la eficiencia operativa. Adaptado de Peña (2019).	Identificar, analizar y eliminar ineficiencias en el circuito de pebbles mediante herramientas Lean Six Sigma, considerando tiempos de detención, problemas recurrentes y niveles de rendimiento del sistema.	60 - 90	Porcentaje (%)	Eficiencia del circuito	<ul style="list-style-type: none"> • Recolección de datos del PI System y reportes de planta. • Análisis estadístico en Minitab y otros softwares.
	Causas de pérdidas	Factores o eventos que generan interrupciones o pérdidas en la producción del circuito de pebbles. Adaptado de Mayoral & Javier (2022).	Registro y análisis de los eventos de detención del circuito: causas identificadas (mantenimiento, operación, externos)	Numero de causas	Porcentaje (%)	Número y tipo de causas	<ul style="list-style-type: none"> • Tablas de datos PI System • Reportes operativos en Excel, Minitab, Power BI • Entrevistas con responsables.
	Tiempo de producción perdido	Período en el cual el circuito de pebbles no opera debido a fallas, mantenimiento u otras interrupciones. Adaptado de Andres (s.f.)	Medición de los tiempos de detención y su impacto en la producción total durante un período de estudio (días, turnos).	1 - 10	Días/Mes	Tiempo total perdido	<ul style="list-style-type: none"> • PI System (Datalink, Process Book). • Análisis en Excel y Power BI.
Independientes	Nivel sigma	Indicador de desempeño que mide la capacidad del proceso para operar dentro de límites establecidos, minimizando defectos. (Martínez & Morales, 2022)	Cálculo del nivel sigma basado en los datos de defectos por millón de oportunidades (DPMO) utilizando herramientas estadísticas, considerando interrupciones como defectos en el sistema.	2.5 - 4.5	Nivel Sigma (σ)	DPMO y Nivel Sigma	<ul style="list-style-type: none"> • Herramientas estadísticas en Minitab. • Validación de datos en software metalúrgico (PI System)

CAPÍTULO IV

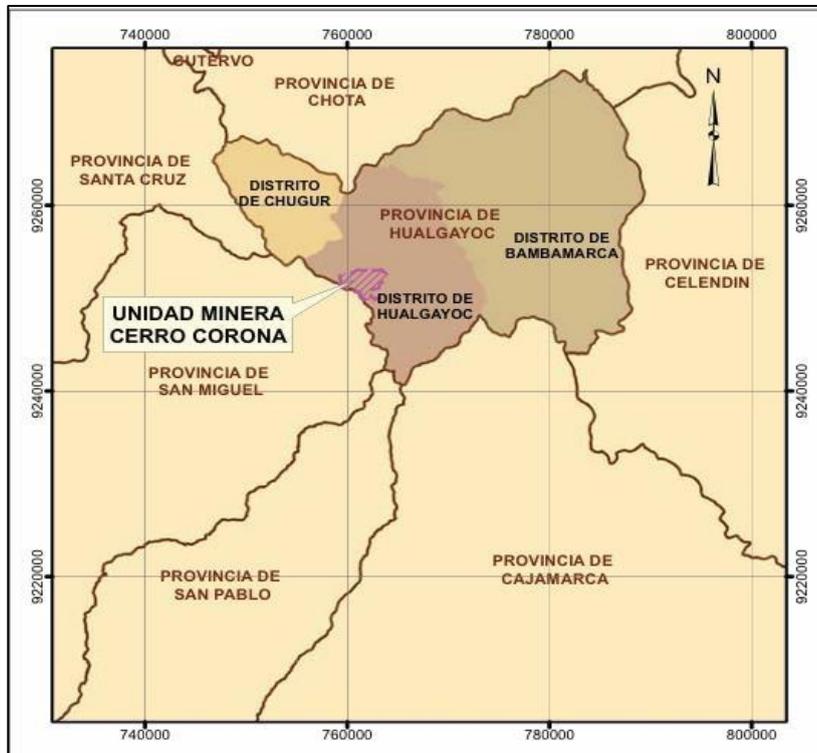
Metodología de la investigación

Ámbito de estudio

La investigación se llevará a cabo en el circuito de pebbles de la Unidad Minera Cerro Corona perteneciente a Gold Fields La Cima S.A. Ubicada en el distrito de Hualgayoc, provincia de Cajamarca, Perú con elevaciones de 3600 hasta los 4050 msnm.

Imagen 4.1

Ubicación geográfica de la unidad minera Cerro Corona



Fuente: Recuperado de Unidad Minera Cerro Corona. Gold Fields La Cima S.A.

Información de la empresa

A continuación, se presenta mayor información sobre el titular de la Unidad Minera Cerro Corona.

- **RUC:** 20507828915
- **Razón Social:** Gold Fields La Cima S.A.

- **Nombre Comercial:** Gold Fields La Cima S.A
- **Dirección:**
 - ❖ Cajamarca: Jr. Sor Manuela Gil J3. Dpto. 101. Urb. La Alameda
 - ❖ Cerro Corona: Paraje Coymolache 9045, Sector Predio La Jalca
Hualgayoc
- **Oficina Salaverry:** Autopista Km 3 Puerto de Salaverry, Trujillo – La Libertad
- **Tipo Empresa:** Sociedad Anónima
- **Condición:** Activo

Imagen 4.2

Unidad minera Cerro Corona



Fuente: Recuperado de Google maps: <https://www.google.com/maps/place/Mina+Cerro+Corona+-+Gold+Fields+La+Cima/@-6.7600148,-78.6285252,3374m>

Características del objeto de estudio

El circuito de pebbles está constituido por equipos como; fajas transportadoras, fajas magnéticas, chancadora cónica, etc., algunos de ellos automatizados mediante sistemas de control distribuido (DCS) que ayudan a capturar datos históricos para encontrar cuellos de botella dentro de cada etapa del circuito.

4.1 Diseño de la investigación

4.1.1 Tipo de investigación

La tesis titulada **“Optimización del circuito de pebbles mediante la metodología Lean Six Sigma en la unidad minera Cerro Corona – Región Cajamarca”** por su orientación de los objetivos establecidos es de tipo cuantitativo – no experimental, con un enfoque de investigación longitudinal, porque se analizarán datos recopilados en intervalos de tiempo permitiendo observar el cambio en las variables a lo largo del periodo de estudio del circuito de Pebbles, buscando aplicar la metodología Lean Six Sigma para mejorar el rendimiento en conclusión los resultados obtenidos por esta investigación pueden ser aplicados en otros procesos dentro de la unidad minera Cerro Corona o en otras operaciones similares.

Según los autores Lazo, Jara, Céspedes, Rivero, & Zevallos (2021) en la pág. 27, la investigación cuantitativa es: “aquella que utiliza predominantemente los símbolos numéricos que se utilizan para la exposición de datos que provienen de un cálculo o medición. Permite examinar los datos de manera científica, o de manera más específicamente en forma numérica, generalmente con ayuda de herramientas del campo de la estadística”.

De acuerdo a Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio (2010) en la pág. 149, la investigación no experimental se describe como “la investigación que se realiza sin manipular deliberadamente variables, trata de estudios donde no hacemos variar en forma intencional las variables independientes para ver su efecto sobre otras variables. Lo que hacemos en la investigación no experimental es observar fenómenos tal como se dan en su contexto natural, para posteriormente analizarlos”.

4.1.2 Nivel de investigación

Dado que el objetivo principal es determinar las causas de las pérdidas en el circuito de

pebbles y proponer soluciones basadas en Lean Six Sigma, lo que implica analizar relaciones de causa – efecto, por lo tanto, el nivel de la investigación es explicativo pues responderá a las siguientes preguntas: ¿Cómo afectan los sensores mal calibrados al tiempo de detención?, ¿Qué impacto genera el cambio de la Chancadora cónica y el rediseño del circuito en el throughput?

Este nivel no solo se enfoca en describir o identificar los problemas, sino en explicar las razones porque ocurren los problemas y cómo solucionarlos.

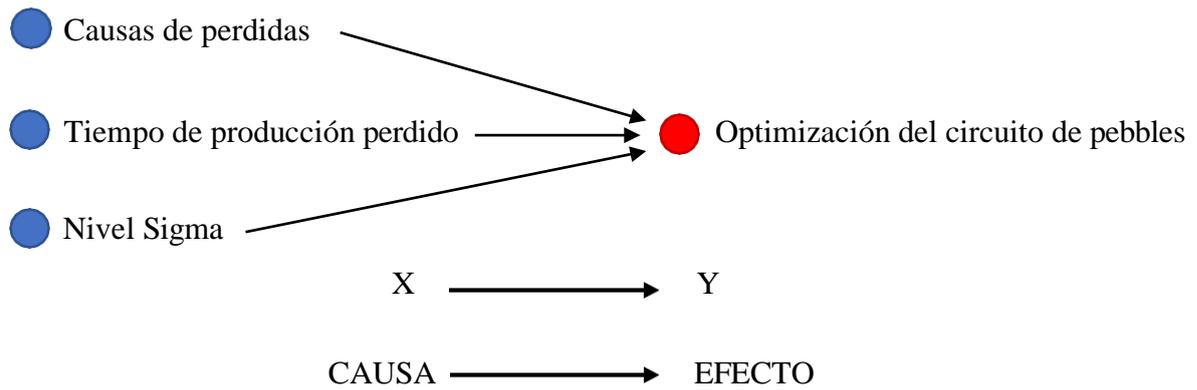
Los autores Rivero Lazo, et al., 2017, (pág. 58) sobre la investigación explicativa, mencionan lo siguiente: “estos estudios van más allá de la descripción de situaciones y fenómenos, son estudios dirigidos a responder al por qué ocurren los problemas o fenómenos, cuáles son las causas que los ocasionan, las condiciones en que ocurren y la relación entre variables”.

4.1.3 Diseño de la investigación

La investigación se llevará a cabo mediante un diseño no experimental ya que se analizarán datos históricos recopilados sin intervención directa, pero se continua con el objetivo de obtener resultados a través del muestreo, control y observación de variables.

Si bien no se realizara un diseño de experimentos clásicos se empleará fundamentos del diseño experimental y herramientas de control estadístico como el análisis de varianza (ANOVA) de un solo factor.

En esta investigación se evaluará como las variables independientes influyen sobre la variable dependiente; las causas serán: las perdidas, el tiempo de producción perdido y el nivel sigma y el efecto será la optimización del circuito de pebbles.



Donde:

X: Es la variable independiente, que es manipulada (causa).

Y: Es la variable dependiente, que es el efecto.

4.2 Población de estudio

4.2.1 Población

La población de la investigación abarca datos históricos y operativos en el circuito de pebbles de la unidad minera Cerro Corona como son: variables técnicas, equipos, datos operativos y tiempos de detención; generados y almacenados en el sistema de control distribuido Delta V, junto a las observaciones operativas. La población abarca datos de 15 meses.

4.2.2 Muestra

Las muestras tomadas son proporcionadas por el sistema de control distribuido Delta V los cuales deben de ser datos confiables para el análisis de Lean Six Sigma, con ayuda de un soporte con aplicaciones históricos, integrada al sistema Delta V como es el PI System. Para tal punto se tomarán datos de 6 meses de operación continua para cada etapa, considerando un antes y un después de la implementación de la metodología Lean Six Sigma, en base al estado de la chancadora cónica ya sea como Chancadora detenida y Chancadora funcionando.

4.2.3 Selección de la muestra

Para la selección de la muestra representativa, se usó el muestreo aleatorio tomando en cuenta el orden cronológico de los datos y el registro de las pérdidas del tonelaje de pebbles respecto al tiempo de detención originada por cada evento, cada uno de estos datos extraído del PI System a hojas de cálculo Excel, Minitab y Power BI. Seleccionando un registro de 6 meses se eliminaron datos atípicos como eventos que no corresponden a la operación normal del circuito.

A su vez se empleó también el muestreo estratificado ya que los datos se clasifican según el estado de la chancadora cónica, eventos, disciplinas (enfoque sistemático de planificación), equipos que conforman el circuito de pebbles, tiempos de detención originada por cada guardia (Guardia A Y B).

4.2.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

4.2.4.1 Técnicas

- Análisis de registros históricos
- Monitoreo automático del DCS
- Inspecciones visuales y evaluaciones en campo
- Recolección de datos con herramientas de integración

4.2.4.2 Instrumentos

- Históricos y alarmas del sistema de control distribuido Delta V
- Sensores y transmisores automatizados
- Software de análisis estadístico (Minitab)
- Sistemas de video y cámaras de monitoreo
- PI System

- Check lists y reportes de eventos

4.2.5 Técnicas de análisis e interpretación de la información

El tratamiento y análisis de datos, se llevará a cabo haciendo uso de modelos estadísticos, específicamente el análisis de varianza (ANOVA) de un factor, con el fin de determinar si existen diferencias significativas en el tiempo de detención según las distintas causas. Se empleará el software Minitab 19, el cual será la herramienta principal para corroborar los resultados del diseño experimental y evaluar la efectividad del experimento a través de la interpretación de tablas y gráficos.

A su vez, con ayuda del software Power BI se realizarán diagramas de Pareto y gráficas para identificar en primera instancia las causas más comunes de las detenciones, por otro lado, se aplicará las fases del DMAIC para diagnosticar, analizar y proponer mejoras en el circuito.

4.3 Validez y confiabilidad de instrumentos

Las muestras fueron recogidas de la base de datos de la unidad minera Cerro Corona, y estas a su vez fueron aprobadas por la superintendencia de operaciones de la misma unidad, lo que garantiza la reproducibilidad en la base de datos obtenido.

Asimismo, se evaluará la coherencia de los datos del DeltaV en diferentes periodos comparándolos con observaciones actuales para verificar su precisión.

4.4 Plan de análisis de datos

4.4.1 Objetivo del análisis de datos

Determinar la relación entre las variables independientes (causas) y la variable dependiente (efecto), evaluando el impacto de las intervenciones en la optimización del circuito de Pebbles utilizando la metodología Lean Six Sigma.

4.4.2 Herramientas de análisis

- Software de análisis estadístico: Minitab, Excel.
- Sistemas de control automatizado: PI System, DeltaV.
- Visualización de datos: Power BI.
- Métodos estadísticos: ANOVA.

4.4.3 Pasos del análisis

4.4.3.1 Preparación de los datos

4.4.3.1.1 Extracción de datos

- Recolectar datos históricos del sistema DeltaV y PI System.
- Filtrar datos irrelevantes o atípicos (como eventos fuera de operación normal).

4.4.3.1.2 Organización

Clasificar los datos según variables independientes y dependientes:

- Variables independientes (X):
 - Causas de perdidas
 - Tiempo de producción perdido
 - Nivel sigma
- Variable dependiente (Y):
 - Optimización de circuito de pebbles

4.4.3.1.3 Codificación

Asignar valores categóricos o numéricos a variables cualitativas para su análisis estadístico.

4.4.3.2 Análisis descriptivo

4.4.3.2.1 Estadísticas descriptivas

- Promedios, medianas, desviaciones estándar para cada variable.
- Identificación de patrones de detención y su frecuencia.

4.4.3.2.2 Visualización

- Tablas dinámicas y gráficos (barras, dispersión, Pareto).

4.4.3.3 Análisis inferencial

4.4.3.3.1 Pruebas de normalidad:

Determinar si los datos siguen una distribución normal.

4.4.3.3.2 Análisis de varianza (ANOVA):

- Evaluar el impacto de las variables independientes en el rendimiento del circuito.
- Identificar interacciones entre variables.

4.4.3.3.3 Pruebas de hipótesis:

Validar la influencia estadísticamente significativa de las causas sobre el circuito de pebbles.

4.4.3.4 Modelado y Optimización

4.4.3.4.1 Cálculo de niveles Sigma:

Utilizar fórmulas de Six Sigma para medir la calidad del proceso antes y después de las intervenciones.

4.4.3.5 Validación de Resultados

4.4.3.5.1 Comparación antes y después:

Evaluar mejoras en el circuito de pebbles y nivel Sigma tras implementar soluciones.

4.4.3.5.2 Sensibilidad del modelo:

Validar los resultados con datos no utilizados en el modelo inicial.

4.4.3.6 Presentación de resultados

4.4.3.6.1 Gráficos y tablas:

Incluir gráficos de tendencias, diagramas de Pareto, histogramas y gráficos de interacción.

4.4.3.6.2 Interpretación de resultados:

Relacionar los hallazgos con los objetivos de la investigación y las hipótesis planteadas.

4.4.3.6.3 Conclusiones basadas en datos:

Identificar las principales causas raíz y las mejoras alcanzadas en el circuito de Pebbles.

CAPÍTULO V

Desarrollo experimental

5.1 Introducción

El desarrollo experimental se realizó de acuerdo al objetivo de optimizar el circuito de pebbles mediante la metodología Lean Six Sigma en la unidad minera Cerro Corona, para lo cual se usó las herramientas Lean y el desarrollo de la metodología DMAIC.

En cada etapa del desarrollo experimental del proyecto se utilizaron herramientas avanzadas como PI System, Power BI y Minitab para garantizar la precisión en la recolección de datos y evaluación de la información obtenida.

5.2 Metodología DMAIC

5.2.1 Fase definir

Dentro del desarrollo de la etapa definir se encuentran las siguientes subetapas:

- Construcción del Árbol de CTQ's para el proceso
- Definición de las variables de salida (Y's)
- Elaboración del diagrama del proceso
- Elaboración del Marco del proyecto (Project Charter)

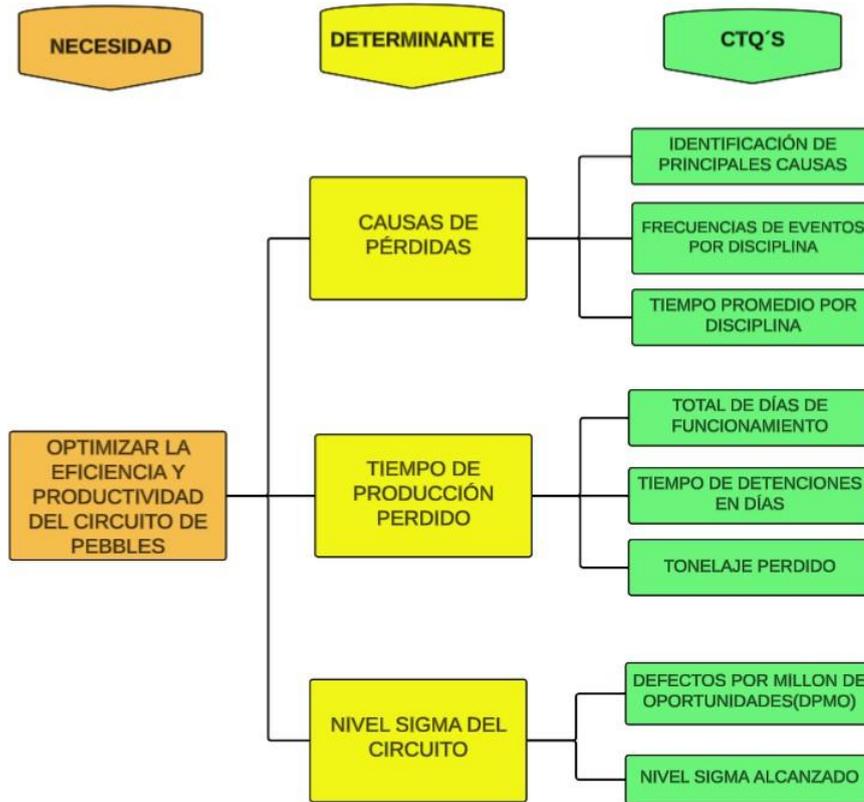
Las cuales se elaboraron de acuerdo a las variables e indicadores que se observaron en el estudio del problema de la investigación.

5.2.1.1 Árbol CTQ's y definición de Y's

Se construyó el árbol de CTQ's para definir los requerimientos del proyecto y transfórmalos en características críticas para la calidad, como podemos observar en la imagen 5.1.

Imagen 5.1

Árbol de CTQ's del circuito



Fuente: Elaboración propia con Lucidchart

Asimismo, se identificaron las variables de salida (Y's), las cuales serán medidas y tomadas en cuenta para optimizar el proceso; estas son:

- Y1: Reducir el tiempo de producción perdido en el circuito de pebbles.
- Y2: Disminuir la frecuencia de eventos críticos asociados a cada disciplina.
- Y3: Reducir defectos operativos para mejorar el nivel sigma del circuito de pebbles.
- Y4: Identificar y disminuir las principales causas que generan perdidas en el proceso.
- Y5: Mejorar la eficiencia del proceso en base a la utilización y disponibilidad del circuito de pebbles.

5.2.1.2 Diagrama del proceso

Para la recolección de la información del proceso nos apoyamos en personal de áreas como mantenimiento, instrumentación, operaciones y control de procesos, los cuales son pieza fundamental para el entendimiento del problema y las posibles soluciones, por ello iniciamos definiendo los equipos del circuito y las posibles causas que dan lugar a detenciones, la tabla 5.1 nombramos los equipos que intervienen dentro del circuito de pebbles y se detalla si el equipo se encuentra automatizado o no.

Tabla 5.1

Listado de equipos que componen al circuito de pebbles de la unidad minera Cerro Corona

N °	Equipo	Código	Estado
1	Chute alimentador a la CV004	I320CHU33	No automatizado
2	Chute de descarga a la cancha de pebbles	I320CHU33A	Automatizado
3	Faja Número 4 en reversa	I320CV004	Automatizado
4	Faja Magnética	I320MA003	No automatizado
5	Chute de descarga de chips	I320CH043	No automatizado
6	Chute de traspaso a la faja N°5	I320CH044	No automatizado
7	Faja Número 5	I320CV005	Automatizado
8	Chute alimentador al FE001	I320CH045	Automatizado
9	Alimentador vibratorio a la CR006	I320FE011	Automatizado
10	Chancadora cónica SP200	I320CR006	Automatizado
11	Chute de traspaso a la faja N°6	I320CH046	No automatizado
12	Faja en "Z" N°6	I320CV006	Automatizado
13	Chute de traspaso a la faja N°7	I320CH047	No automatizado
14	Faja N°7	I320CV007	Automatizado
15	Chute de traspaso a la faja N°9	I320CH048	No automatizado
16	Faja N°9 alimentador al Molino de bolas	I310CV009	Automatizado
17	Molino de bolas 20' X 34'	I310ML02	Automatizado
18	Molino SAG 24' X 14.5'	I310ML01	Automatizado

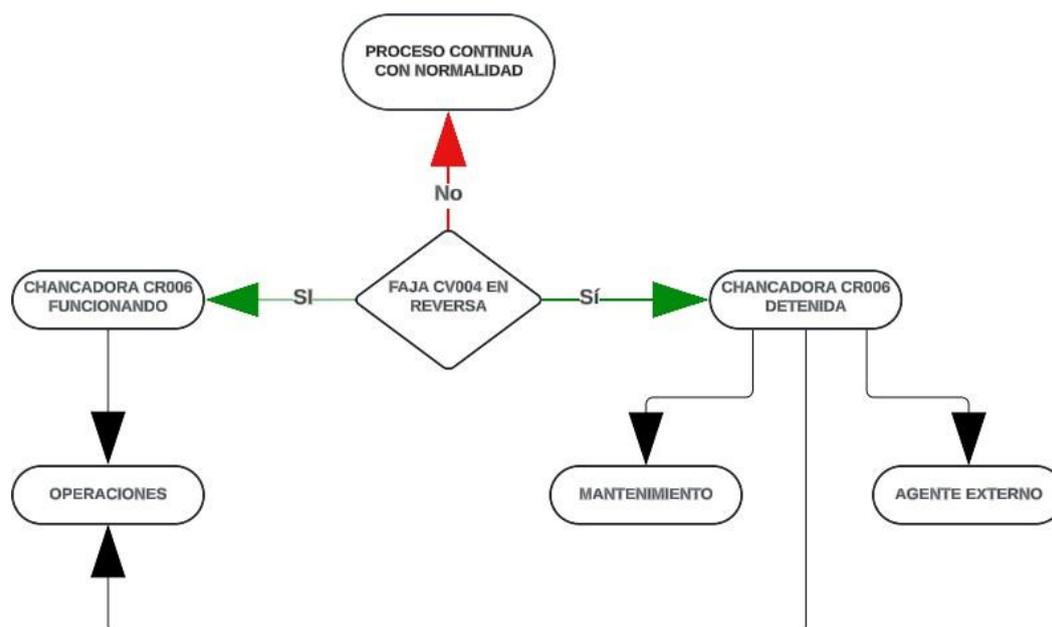
Fuente: Elaboración propia

De igual forma, se elaboró un diagrama de flujo del circuito de pebbles, nombrando las causas que dan lugar a detenciones en el proceso por cada equipo en el circuito, dicho diagrama se puede observar en el anexo 2.

Mediante la recolección de datos históricos provenientes de bases de datos de años anteriores, se identificaron reportes sobre detenciones basados en la chancadora CR006 en estado “Detenido”. Estos reportes se encuentran en el anexo 3. Sin embargo, gracias a las observaciones y la experiencia del personal de operaciones y mantenimiento, se logró identificar detenciones cuando la chancadora CR006 se encontraba en estado “Funcionando”. La imagen 5.2 presenta un diagrama de flujo que describe el proceso clasificando las detenciones bajo ambos eventos; cuando la Chancadora CR006 se encuentra en estado “Funcionando” y “Detenido”, además el diagrama incluye un punto crítico como el estado de la Faja CV004 en reversa siendo está fundamental para la continuidad del proceso, permitiendo determinar si las detenciones están asociadas a las disciplinas operativas ya antes mencionadas.

Imagen 5.2

Diagrama de flujo del proceso, cuando ocurren los eventos “funcionando” y “detenido”



Fuente: Elaboración propia

5.2.1.3 Marco del proyecto

Se elaboró el marco del proyecto con ayuda del árbol de CTQ's y del diagrama del proceso teniendo claro los cuellos de botella que generan las detenciones en el circuito de pebbles, así como los bloques que no intervienen en el proyecto; con la intención de describir el proyecto de tal manera que haya un entendimiento más claro del mismo, con el objetivo de optimizar el circuito de pebbles bajo la metodología Lean Six Sigma, detallando el plan a seguir. Dicho marco del proyecto lo podemos apreciar en la tabla 5.2.

Tabla 5.2

Marco del proyecto

Marco del proyecto	
Información general del proyecto	Fecha: 10/2024
Título	Optimización del circuito de pebbles mediante la metodología lean six sigma
Nombre de la empresa	Gold Fields La Cima S.A. – Cerro Corona
Patrocinador del proyecto	Gerencia de operaciones
Responsable del proyecto	Operaciones – Procesos
Equipo	Ingenieros metalúrgicos, técnicos de mantenimiento, operadores del circuito de pebbles y especialistas en análisis de datos y metodología lean six sigma.
Fecha de inicio del proyecto	Octubre de 2023
Fecha de fin del proyecto	Diciembre de 2024
Necesidades a ser atendidas	<ul style="list-style-type: none"> • Mejorar la disponibilidad y utilización operativa del circuito • Optimizar el circuito bajo estándares de calidad disminuyendo defectos operativos
Descripción del problema	El circuito de pebbles presenta frecuentes detenciones relacionadas a eventos producto de disciplinas operativas, de mantenimiento y agentes externos; generando tiempo de producción perdido que afectan la estabilidad operativa del proceso.
Objetivo del proyecto	Incrementar la eficiencia operativa del circuito de pebbles en la unidad minera cerro corona mediante la reducción del tiempo de producción perdido, disminución de defectos y mejora del nivel sigma.
Alcance del proyecto	El alcance se llevará a cabo mediante la identificación de las principales causas que generan detenciones y perdidas dentro del circuito. Se implementará la mejora continua mediante el uso de herramientas enfocadas en la metodología lean Six sigma.
Recursos	Dentro de los recursos a utilizar en el proyecto tenemos: Software PI System, Power BI, MS Excel, Minitab; recursos humanos como operadores de planta y especialista en la metodología lean Six sigma.

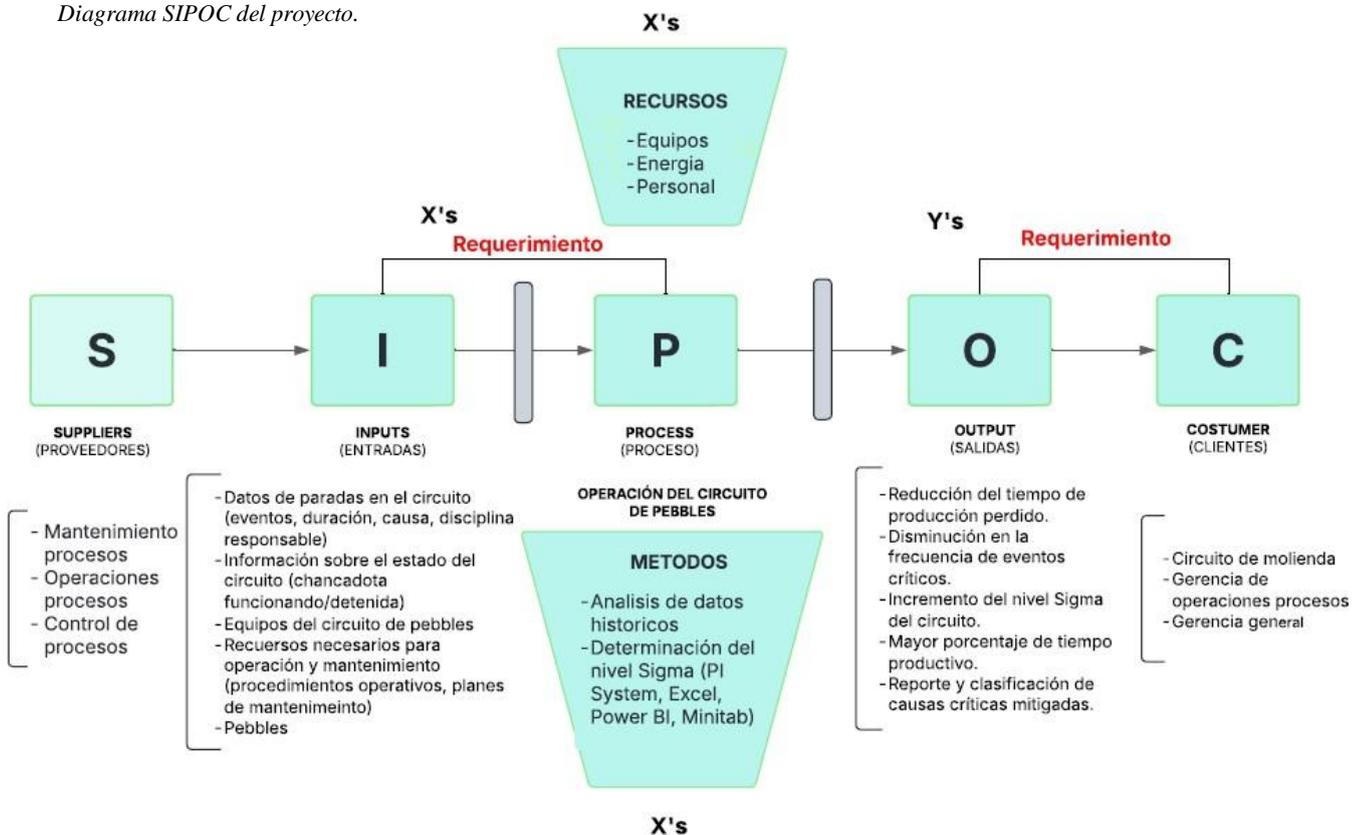
Fuente: Elaboración propia

5.2.2 Fase medir

Para empezar con la fase medir, se elaboró el diagrama SIPOC siguiendo los criterios mencionados en el marco teórico. En la imagen 5.3 se observan los “proveedores” y “clientes” del proyecto, las entradas necesarias, los recursos y métodos utilizados; así como las salidas que se utilizarán para optimizar el proceso. Gracias a esto se pudo organizar la información y obtener una visión más clara del proyecto.

Imagen 5.3

Diagrama SIPOC del proyecto.



Fuente: Elaboración propia con Lucidchart.

5.2.2.1 Muestreo

En esta etapa, la confiabilidad de los datos es fundamental. Al analizar el anexo 3, se observó que solo contenía datos en los cuales el estado de la chancadora (CR006) era “Detenido”. Dichos datos carecían de seguimiento adecuado presentando variabilidad y situaciones ilógicas en la toma de muestra, es decir no eran fiables.

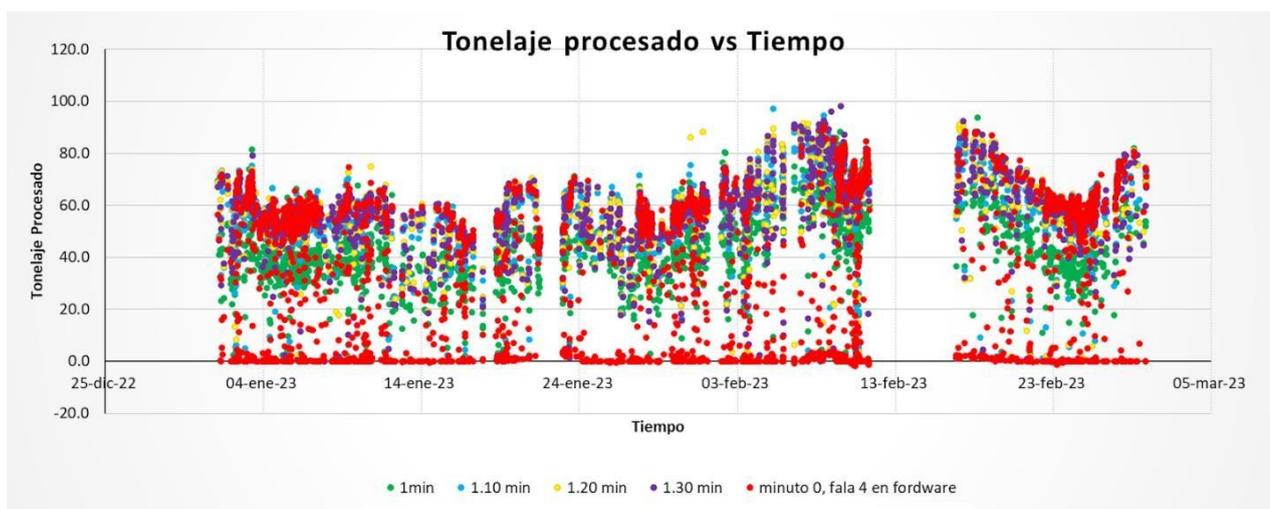
Para asegurar la toma de muestra precisa del tonelaje de pebbles procesado y calcular el tonelaje perdido por cada disciplina, se realizó la recolección de data histórica extraída del Delta V de acuerdo al Anexo 4, considerando filtros los cuales aseguran el correcto funcionamiento del circuito de pebbles. Los filtros utilizados fueron:

- CV003 Funcionando (Faja principal alimentadora al Molino SAG)
- Molino SAG Funcionando
- Válvula del chute Pantalón cerrada confirmada
- CV004 en Funcionando hacia adelante (Forward)
- CR006 Funcionando

Se consideran estos filtros para evaluar el tiempo de inicio de los eventos observando así la estabilidad del tonelaje calculados en tiempos de 0 minutos, 1 minuto, 1:10 minutos, 1:20 minutos, 1:30 minutos y 1:40 minutos. En la imagen 5.4 se observa que en el minuto 0 inicia el evento con la CV004 en adelante donde se perciben tonelajes en 0 y en negativos, al pasar minuto 1:10 el tonelaje va tomando valores estables, y se estabiliza a partir del minuto 1:20.

Imagen 5.4

Dispersión del tiempo de inicio de estabilidad del tonelaje, calculado para los intervalos de 0, 1:10 min, 1:20 min, 1:30 min y 1:40 min



Fuente: Elaboración propia con Excel 2019.

La tabla 5.3 presenta un análisis estadístico de la gráfica 5.4 donde se muestra la desviación estándar

Tabla 5.3

Análisis estadístico del tonelaje perdido

Tiempo	Mediana	Desviación	Q1	Q2
0min	39.6	28.5	0.6	58.6
1min	46.2	15.9	37.4	58
1.10 min	56.5	16.5	50.6	64.2
1.20 min	57.8	17.4	51.8	65.2
1.30 min	57.7	17.8	51.6	64.9
1.40 min	57.6	17.4	51.4	64.8

Fuente: Elaboración propia

Ya teniendo un criterio de inicio de eventos en base al cálculo del tonelaje procesado, realizando la limpieza de datos se procedió a calcular el tonelaje perdido. Para elaborar la nueva base de datos y continuar con la etapa de medir, se adaptaron nuevas categorías al anexo 3 como: evento, tiempo de detención, tonelaje perdido, disciplina, equipo y causa ocurrida, dando como resultado el anexo 5, siendo esta una plantilla automatizada que muestra la base de datos definitiva recopilada durante un periodo de seis meses tomados como línea base para el desarrollo de la investigación.

Con base a la ecuación 2.14. se realizó el cálculo de tamaño de muestra para el informe de capacidad del circuito; reemplazando tenemos:

$$n = \left(\frac{(1.96)^2 \cdot (0.5)(0.5)(7825)}{(0.05)^2 \cdot (7825 - 1) + (1.96)^2(0.5)(0.5)} \right)^2$$

$$n = 384 \text{ datos}$$

El cálculo de tamaño de muestra arroja un resultado de 366 datos de tonelaje perdido que se analizarán, los cuales agruparemos en 3 subgrupos de 128 partes de acuerdo a las disciplinas del circuito para el análisis de medias y rangos, como podemos observar en el anexo 6.

Del anexo 6 se observa un promedio de rango de tonelaje perdido de 18.06 que es relativamente alto, lo que demuestra que existe alta variabilidad dentro de los subgrupos analizados que están siendo causados por las disciplinas de mantenimiento correctivo y preventivo, en cuanto a la media de los datos de tonelaje perdido podemos observar que es 6.73, lo que indica que nuevamente las disciplinas de mantenimiento correctivo y preventivo están afectando significativamente sobre los valores de muestra del circuito en general; lo que ocasiona muchas detenciones y pérdidas en el circuito que generalmente se dan como detenciones no programadas afectando significativamente la continuidad y la eficiencia global del circuito.

5.2.2.2 Disponibilidad, utilización y eficiencia

De acuerdo con el anexo 7 y con ayuda de las ecuaciones 2.15, 2.16 y 2.17 se realizó la tabla 5.4, la cual nos muestra la disponibilidad, utilización y eficiencia del circuito respectivamente.

Tabla 5.4

Disponibilidad, utilización y eficiencia del circuito

Mes	Año	Disponibilidad (%)	Utilización (%)	Eficiencia (%)
Octubre	2023	88.9	84.7	75.28
Noviembre	2023	60.0	83.7	50.28
Diciembre	2023	90.0	63.3	56.98
Enero	2024	89.2	62.9	56.17
Febrero	2024	89.5	81.1	72.63
Marzo	2024	90.9	83.3	75.77
	Promedio	84.8	76.5	64.51

Fuente: Elaboración propia

De la tabla 5.4 podemos observar que el circuito mostro una disponibilidad en promedio alta (84.8%), lo que nos indica que los equipos estuvieron disponibles para su utilización;

pero si observamos el promedio de utilización del circuito nos damos cuenta que es menor (76.5%) en comparación a la disponibilidad del mismo, lo que pone en evidencia que, aunque el circuito estaba disponible, no fue utilizado plenamente.

Observamos también que la eficiencia promedio tiene un valor relativamente bajo (64.51%), lo que refleja pérdidas significativas en el circuito en varios meses, especialmente en noviembre, diciembre y enero, donde sus valores son menores a 60%.

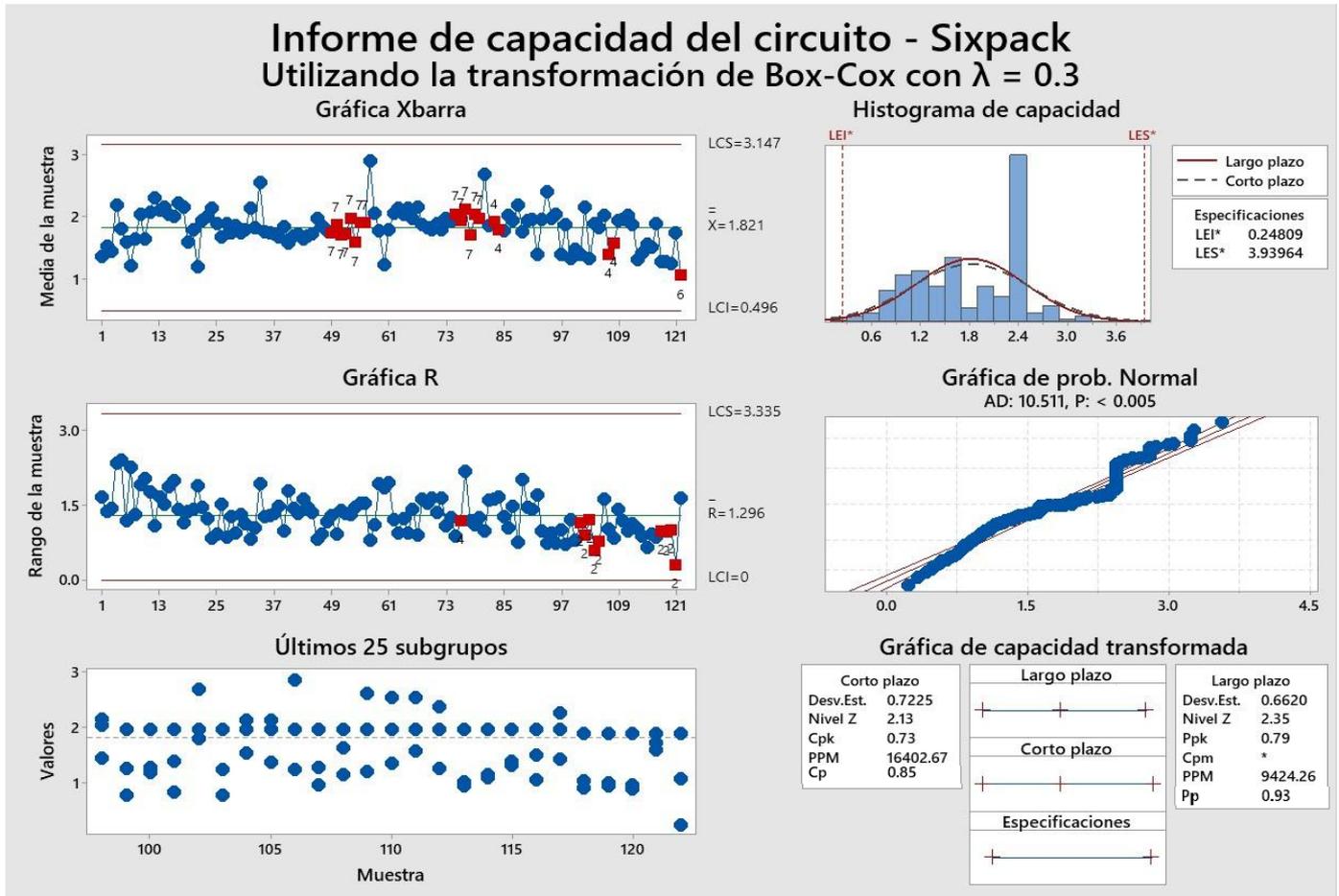
Cuando la utilización disminuye como en los meses de diciembre y enero, también lo hace la eficiencia.

5.2.2.3 Informe de capacidad del circuito

Con ayuda del software Minitab se realizó el informe de capacidad del circuito, el cual se observa en la imagen 5.5; se observa en primera instancia la gráfica Xbarra que muestra el control de la media a lo largo de los 6 meses de estudio, esta gráfica da a conocer la existencia de variabilidad e inestabilidad de los datos dentro del circuito.

Seguidamente la gráfica R, muestra la variabilidad interna de los subgrupos siendo notorio en estos los puntos que están fuera del control; y debajo, la gráfica de los últimos 25 subgrupos que presenta el comportamiento más reciente del proceso, indicando que sigue habiendo dispersión, pero no tanto como en la muestra completa.

A su vez se tiene el Histograma de capacidad del circuito, la cual indica la distribución de los datos concentrados cerca del valor de 2, pero con notoria dispersión hacia ambos lados, indica también que el proceso no es centrado ni es normal.



Fuente: Elaboración propia con Minitab 19.

Debajo de esta, la gráfica de probabilidad normal, la cual verifica si los datos siguen una distribución normal, evidentemente no es el caso y esto se puede confirmar con los valores de AD (Anderson-Darling) el cual es 10.511, un valor muy alto y el valor de P (probabilidad) que es menor a 0.005, indicando no normalidad es por eso que se realiza la transformación de Box-Cox para mejorar la normalidad.

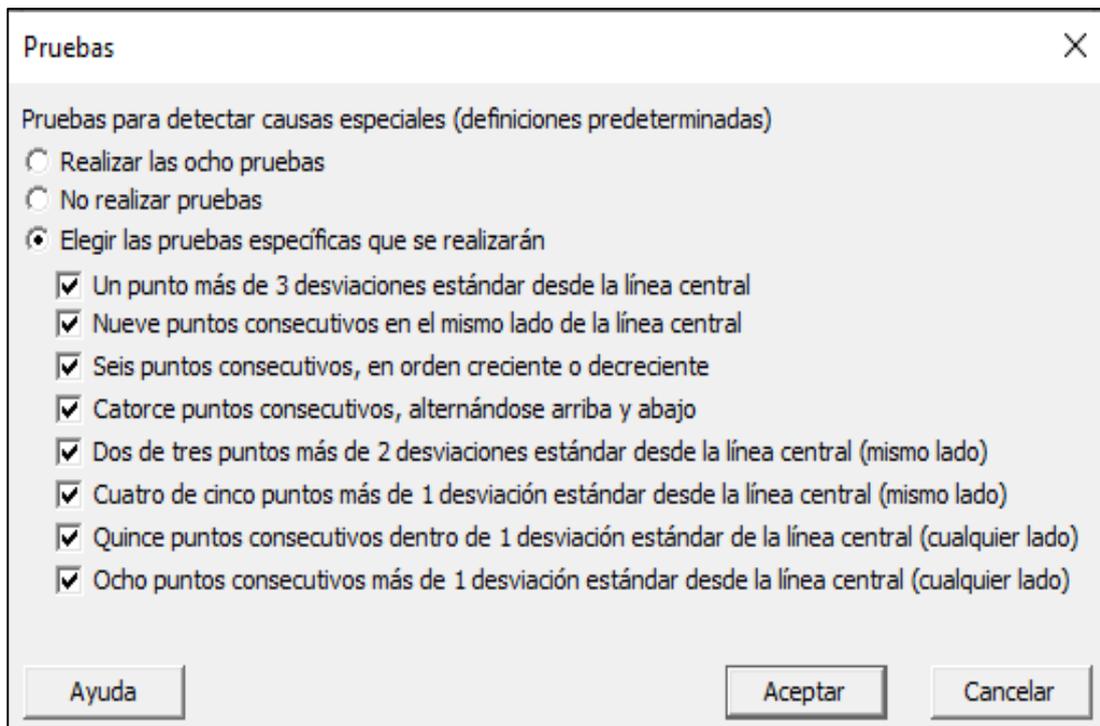
Finalmente, la gráfica de capacidad transformada, observando los principales indicadores se da a conocer que a corto plazo la desviación estándar tiene un valor de 0.7225, el índice **Cp** es 0.85 que de acuerdo a la tabla 2.1 este valor es considerado clase 3, lo que indica que el proceso no es adecuado y requiere un análisis, el índice **Cpk** es 0.73 que es una

valor aproximadamente igual al C_p , según la imagen 2.6 se entiende que el proceso está centrado entre los límites de especificación; por otro lado los indicadores a largo plazo son los siguientes, la desviación estándar es 0.6620, el Ppk es 0.79, según la imagen 2.7 este valor indica que el proceso no es capaz, el Pp es 0.93, al ser un valor aproximadamente igual al Ppk indica que el proceso a largo plazo estará centrado entre los límites de especificaciones; por ultimo los PPM a corto plazo (16402) y a largo plazo (9424) indican valores altos, aunque la diferencia es notoria, los valores a largo plazo no cumplen con los requisitos para que el proceso sea capaz.

Para entender mejor las variaciones observadas en el informe de análisis de capacidad, se aplicaron ciertas pruebas para detectar posibles causas especiales. Las pruebas mostradas en la imagen 5.6 ayudan a identificar comportamientos inusuales en los datos; es por eso que se observan ciertos puntos rojos en la imagen 5.5, lo que quiere decir que dichos datos están fuera de control en las gráficas correspondientes.

Imagen 5.6

Selección de pruebas de causas especiales para gráficas de control.



Fuente: Recuperado de Minitab 19

Entonces de lo observado en la imagen 5.5 y con la aclaración de las pruebas que se realizaron según la imagen 5.6, se observa que para la gráfica de **Xbarra** existen puntos rojos identificadas por las pruebas 4, 6 y 7 lo que nos indica que cuatro puntos fallaron en la prueba cuatro, quiere decir que en cuatro puntos existen catorce datos consecutivos, alternándose de arriba y abajo, de igual manera sucede para dos puntos que fallaron en la prueba seis lo que significa que en dos puntos existen cuatro de cinco puntos con más de 1 desviación estándar de la línea central, de la misma manera existen catorce puntos que fallaron la prueba siete, lo que se traduce en que en catorce puntos existen quince datos consecutivos dentro de 1 desviación estándar de la línea central.

Así mismo sucede en la **gráfica R**, en la cual existen nueve puntos que fallaron en la prueba 2, o sea que existen nueve puntos en los que aparecen nueve datos consecutivos en el mismo lado de la línea central.

5.2.2.4 Cálculo de DPO, DPMO y rendimiento del circuito

Se elaboro la tabla 5.5 con los datos recopilados durante los 6 primeros meses de la investigación, el cual se usará para el cálculo del rendimiento del circuito.

Tabla 5.5

Datos de entrada para calcular DPO, DPMO y rendimiento

Datos	Número de unidades inspeccionadas		Número de oportunidades por unidad			Numero de defectos Muestra
	Tiempo de estudio (días)	Guardia (GA y GB)	Disciplina	Mantenimiento correctivo	Mantenimiento preventivo	
	183	2	Operaciones			
Total	366			3		384

Fuente: Elaboración propia

Con base en la tabla 5.5 y usando la ecuación 2.11 se realiza el cálculo de defectos por oportunidades (DPO), dando como resultado la ecuación 5.1.

$$DPO = \frac{\text{Total de defectos}}{\text{Total de und. inspeccionadas} \times \text{Numero de oportunidades por und.}} = \frac{384}{366 \times 3} = 0.349727 \quad (5.1)$$

De la misma manera se realizó el cálculo de los defectos por millón de oportunidades, utilizando la ecuación 2.12, dando como resultado la ecuación 5.2.

$$DPMO = \frac{\text{Total de defectos}}{\text{Total de und inspeccionadas} \times \text{Numero de oportunidades por unidad}} \times 1000000 = \frac{384}{366 \times 3} \times 1000000 = 349,727 \quad (5.2)$$

Para el cálculo del rendimiento se utilizó las ecuaciones 2.13.

$$\text{Rendimiento} = (1 - DPO) \times 100 = (1 - 0.349727) \times 100 = 65.03\% \quad (5.3)$$

Los resultados de las ecuaciones reflejan baja capacidad y alta variabilidad dentro del circuito, esto quiere decir que el 65% de los eventos registrados en el total de días analizados no registraron defectos y el 35% sí.

5.2.3 Fase Analizar

Para el desarrollo de esta fase aplicaremos en primera instancia la herramienta de los 5 porqués, para determinar las causas del problema de eficiencia y productividad dentro del circuito de pebbles, como se observa en la tabla 5.6.

Tabla 5.6

Herramienta 5 porqués.

	PREGUNTA	RESPUESTA
1er	¿Por qué la eficiencia y productividad del circuito de pebbles es baja?	Porque se presentan fallas mecánicas y operativas con frecuencia.
2do	¿Por qué se presentan frecuentemente estas fallas?	Porque no existe control adecuado sobre mantenimiento preventivo u ocurren eventos imprevistos operativos.
3er	¿Por qué no existe control adecuado sobre estos eventos imprevistos?	Porque no se cuenta con un análisis detallado ni con sistematización de datos para prevenirlos.
4to	¿Porque no se cuenta con un análisis detallado ni sistematización de datos?	Porque depende de registros manuales y el uso pleno de herramientas automatizadas.
5to	¿Por qué no se usan plenamente las herramientas automatizadas?	Porque no existe coordinación efectiva entre disciplinas (mantenimiento y operaciones), lo que limita aprovechar los datos en tiempo real y tomar decisiones en conjunto.

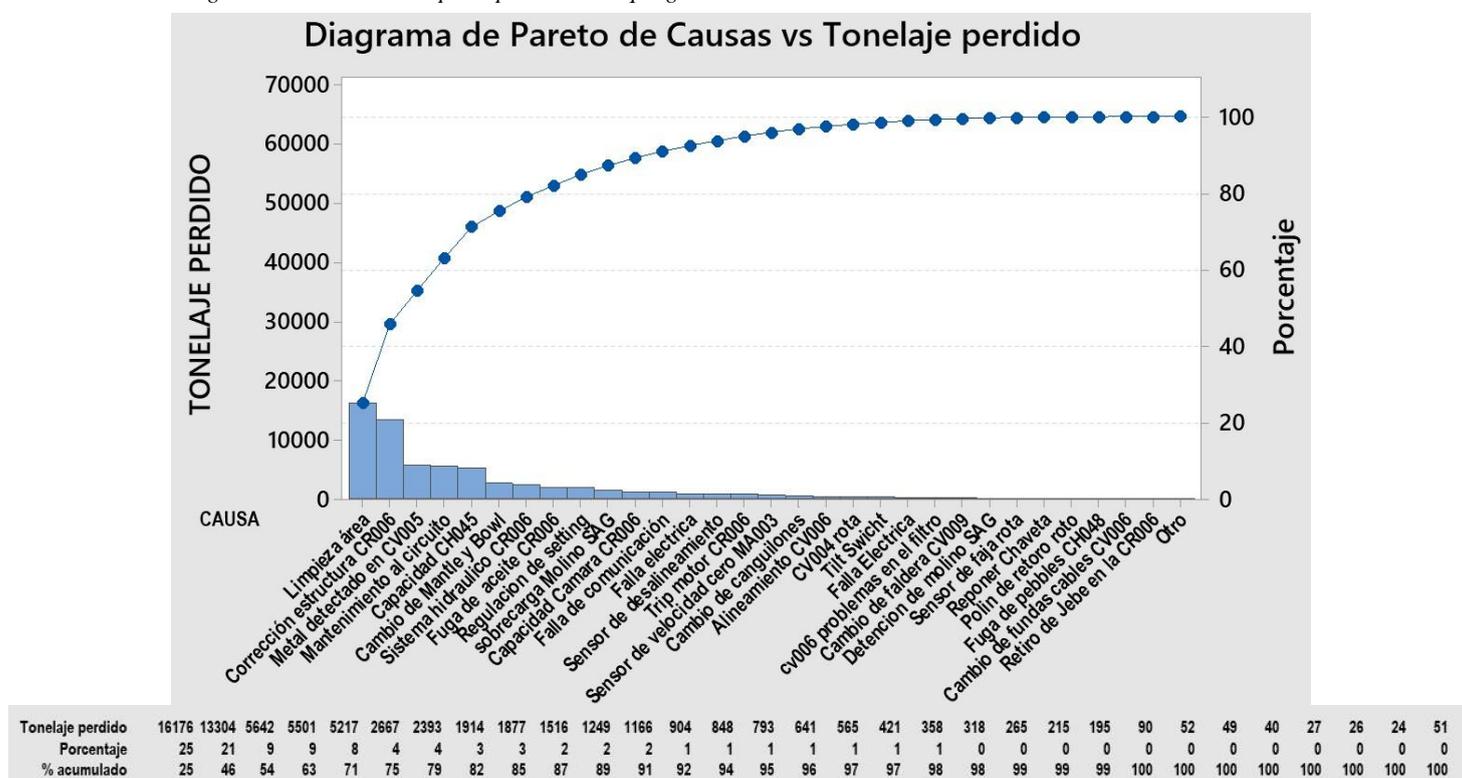
Fuente: Elaboración propia

Del anexo 5, se elaboró diagramas de Pareto para determinar el 80% de las causas que generan detenciones en el circuito.

En la imagen 5.7 se observa que las principales causas que generan detenciones y pérdidas en el circuito son: limpieza en el área, corrección en la estructura CR006, metal detectado en CV005 y mantenimiento eléctrico CV006, capacidad en CH045, cambio de mantile bowl, sistema hidráulico de la CR006, las cuales representan más del 80% del tonelaje perdido en el circuito.

Imagen 5.7

Diagrama de Pareto de las principales causas que generan detenciones en el circuito.

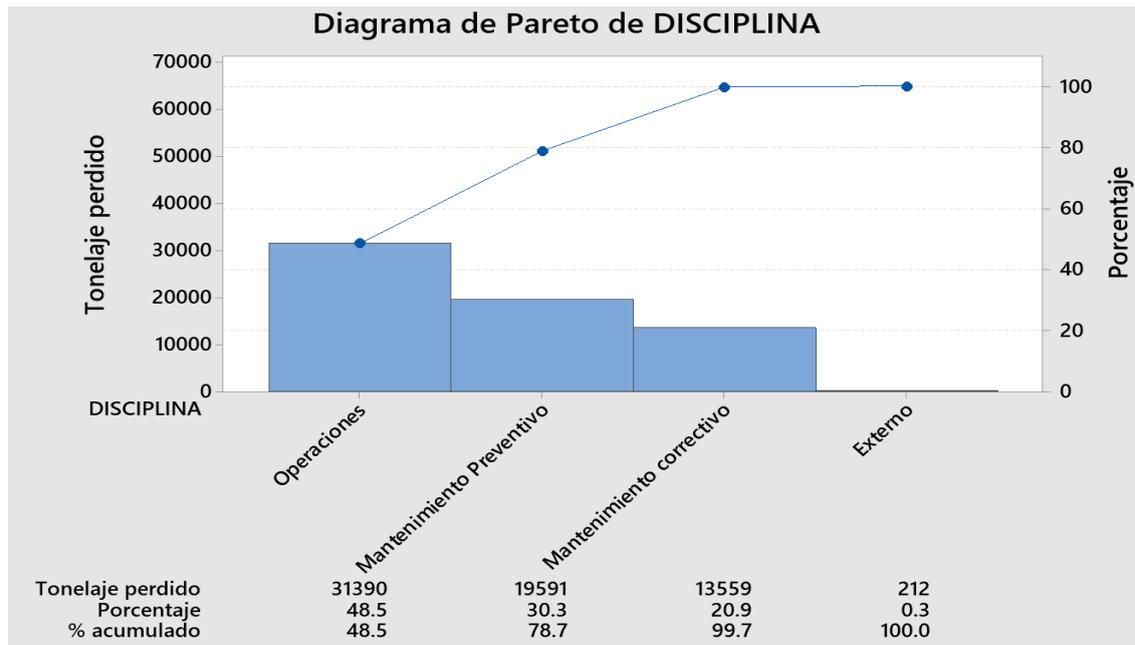


Fuente: Elaboración propia con Minitab 19.

La imagen 5.8 muestra la distribución de las detenciones en el circuito por disciplinas, siendo “operaciones” la que representa la mayor parte de pérdidas totales con 48.5%, seguido de “mantenimiento preventivo” con 30.3% y “mantenimiento correctivo” con 20.9% la cual tiene menos representación, pero aun es relevante para el análisis.

Imagen 5.8

Diagrama de Pareto de las principales causas que generan detenciones en el proceso, teniendo en cuenta las disciplinas.

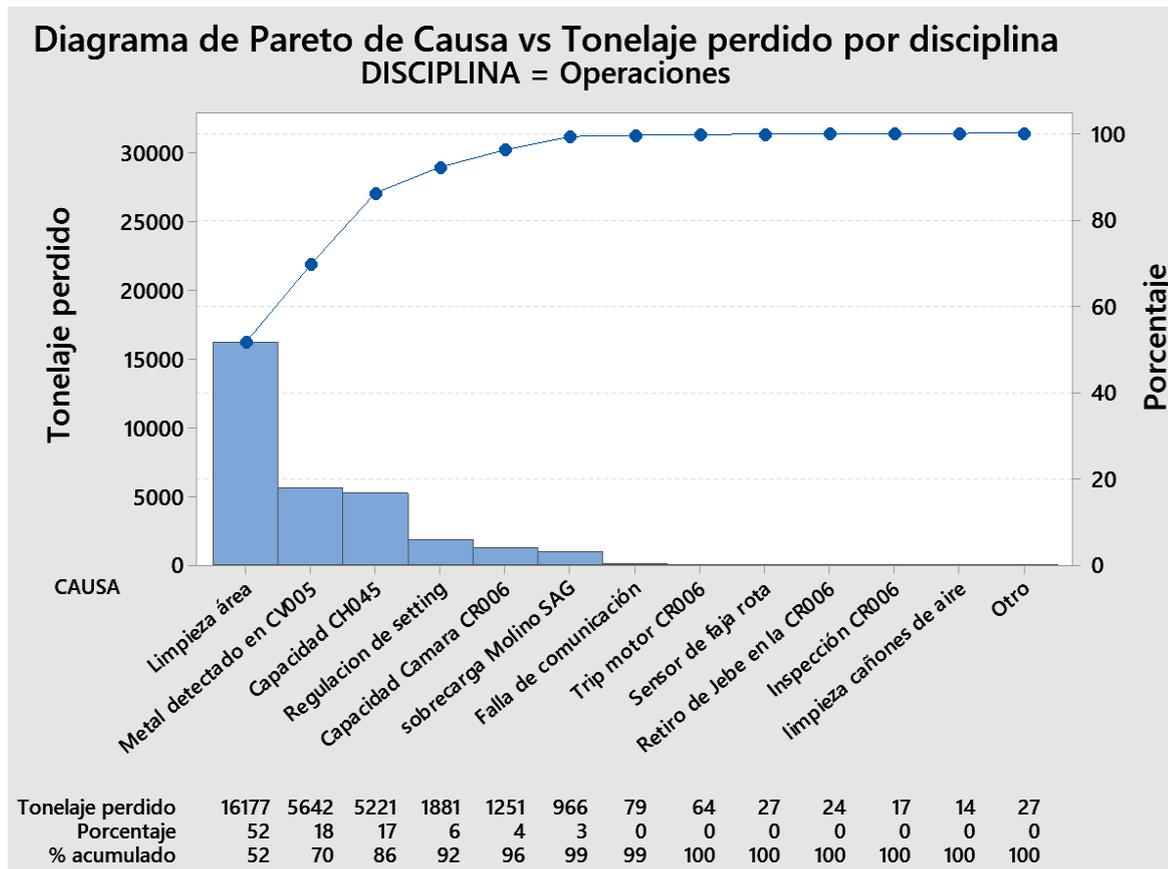


Fuente: Elaboración propia con Minitab 19.

En la imagen 5.9 se observa que para la disciplina “Operaciones”, la principal causa que genera pérdidas es la limpieza del área, que está presente en 52%, seguida por metal detectado en la CV005 con 18% y capacidad de la CH045 con 17%.

Imagen 5.9

Diagrama de Pareto de las principales causas que generan detenciones según la disciplina de operaciones.

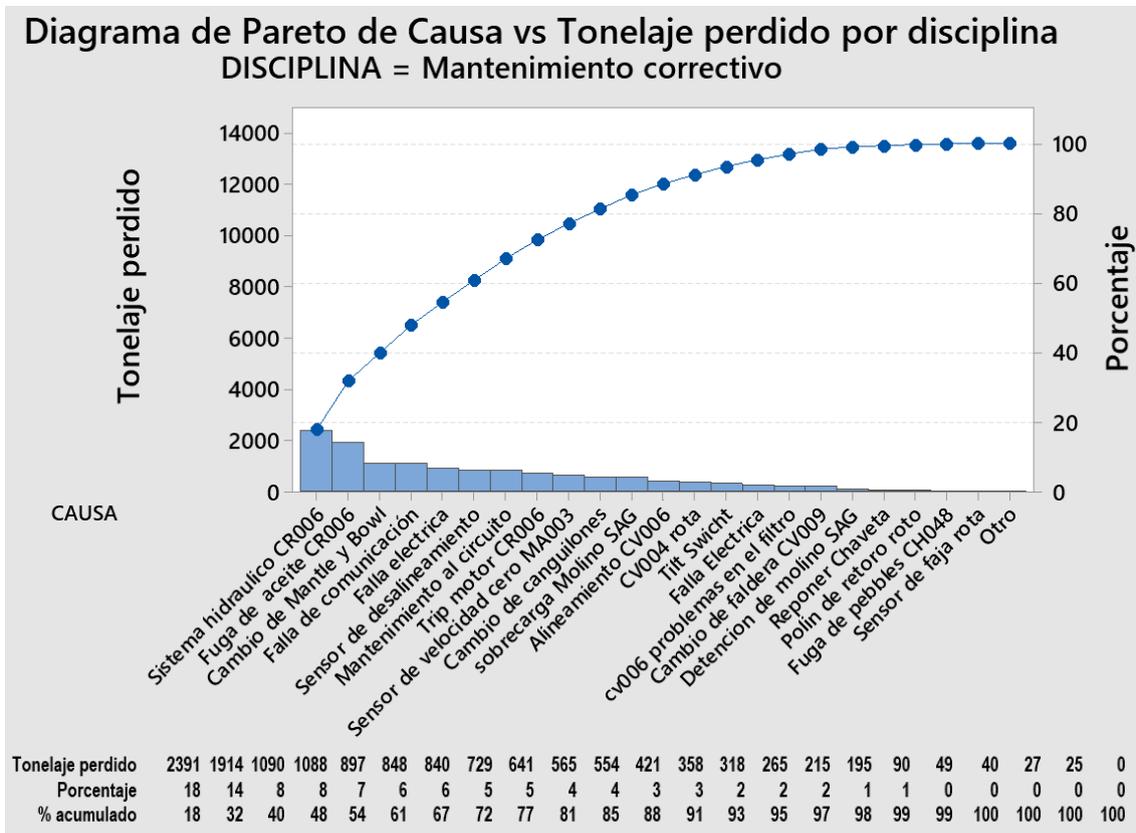


Fuente: Elaboración propia con Minitab 19.

La imagen 5.10 muestra que para “mantenimiento correctivo” las causas que generan perdidas están más distribuidas, dentro de los cuales las principales son el sistema hidráulico de la CR006 con 18%, fugas de aceite de la CR006 con 14%, cambio de mantle bowl y falta de comunicación con 8% cada una y fallas eléctricas con 7%, lo cual indica que para esta disciplina son muchas las causas que en conjunto generan las perdidas, pero aun así es importante analizarlas cada una de ellas.

Imagen 5.10

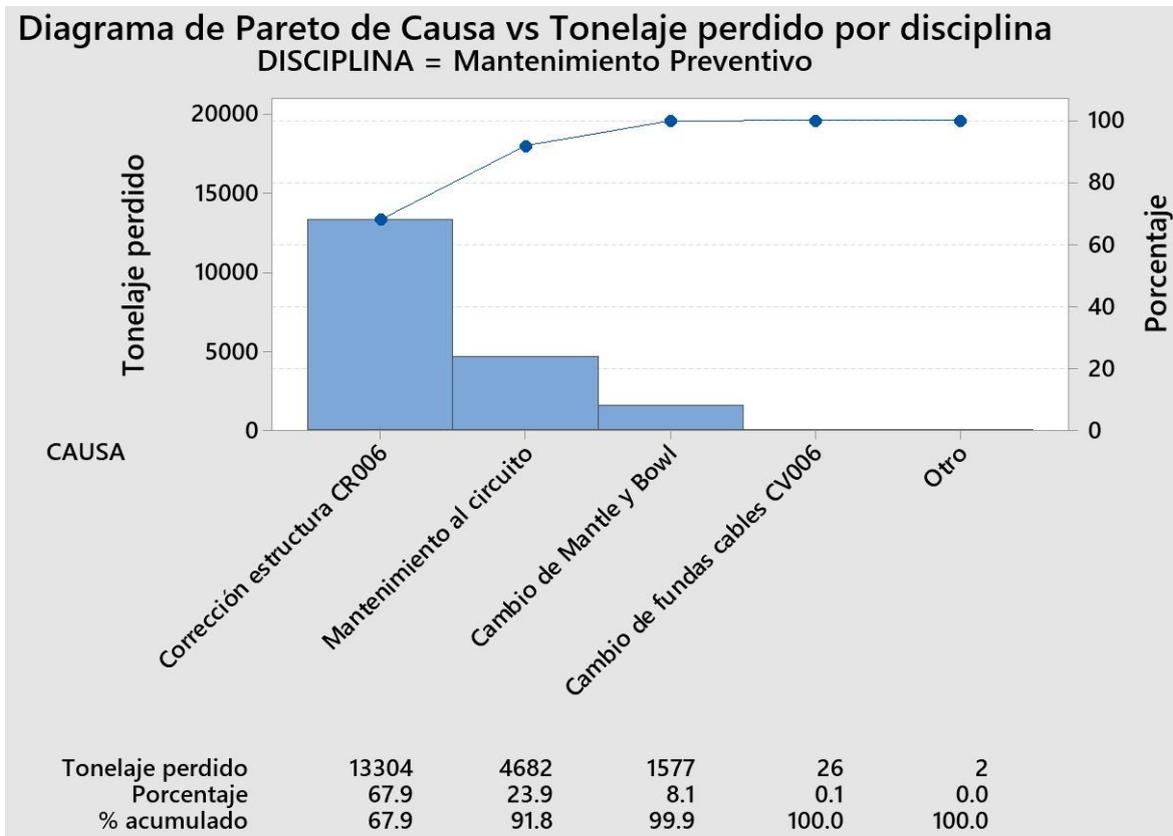
Diagrama de Pareto de las principales causas que generan detenciones según la disciplina de mantenimiento correctivo.



Fuente: Elaboración propia con Minitab 19.

Imagen 5.11:

Diagrama de Pareto de las principales causas que generan detenciones según la disciplina de mantenimiento preventivo.



Fuente: Elaboración propia con Minitab 19.

Por otro lado, en la imagen 5.11, para “mantenimiento preventivo” se observa que la principal causa es corrección de estructura CR006 la cual representa por si sola 67.9% y mantenimiento al circuito 23.9%.

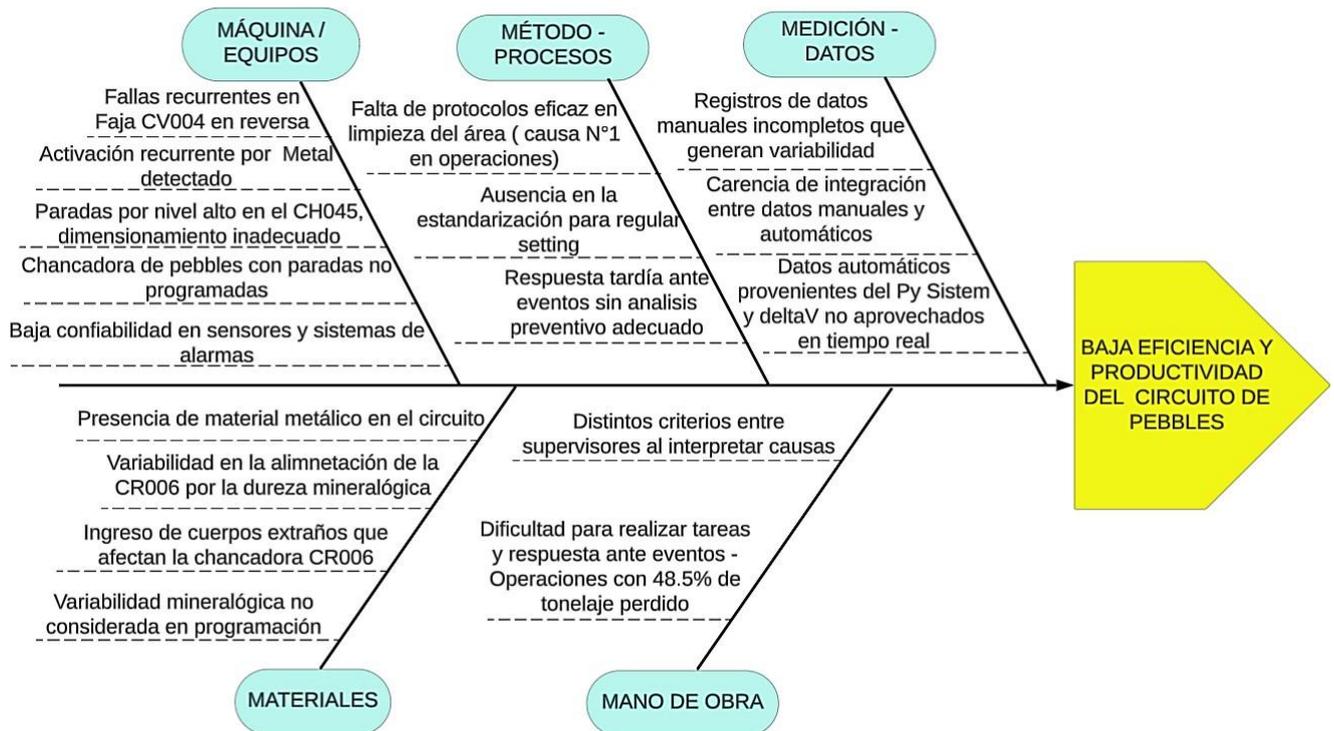
Los diagramas de Pareto mostradas en las imágenes 5.7, 5.8, 5.9, 5.10 y 5.11 nos permiten determinar visualmente las principales causas de perdidas dentro del circuito; para lo cual es necesario desarrollar la investigación centrándonos en el análisis de los datos que en conjunto representan aproximadamente el 80% del total en cada uno de los diagramas.

Otra de las herramientas empleadas para determinar las causas del problema de eficiencia y productividad dentro del circuito de pebbles es el diagrama de Ishikawa (causa –

efecto); las categorías que se aplicaron para el desarrollo del diagrama de Ishikawa que se puede observar en la imagen 5.12 son: maquina, método, medición, materiales y mano de obra.

Imagen 5.12

Diagrama de Ishikawa



Fuente: Elaboración propia con Lucidchart.

El diagrama de Ishikawa presentado ayuda a identificar y organizar de manera ordenada y estructurada las principales causas que contribuyen a la baja eficiencia y productividad del circuito de pebbles. Por medio de las categorías mencionadas se evidencian muchas de las deficiencias tanto técnicas como operativas. Las que destacan son las fallas recurrentes en los equipos, la ausencia de estandarización en los procesos, la baja confiabilidad de los datos disponibles, así como la presencia de materiales no adecuados y distinta interpretación de causas entre supervisores.

5.2.3.1 Análisis ANOVA de un factor

Se aplicó este análisis para determinar las diferencias entre tiempos de detenciones en base a las causas, permitiendo identificar estadísticamente las causas de mayor impacto como complemento a los análisis de Pareto y capacidad del proceso.

Tabla 5.7

Método de análisis

Hipótesis nula	Todas las medias son iguales
Hipótesis alterna	No todas las medias son iguales
Nivel de significancia	$\alpha = 0.05$

Fuente: Elaboración propia con Minitab 19.

Tabla 5.8

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Causa	34	5.389	0.158512	240.64	0
Error	7790	5.131	0.000659		
Total	7824	10.521			

Fuente: Elaboración propia con Minitab 19.

Se observa en la tabla 5.8 un valor $p < 0.005$, rechazando la hipótesis nula y demostrando que al menos una causa tiene una media de duración significativamente diferente, es decir algunas causas generan pérdidas mayores en comparación a otras.

La imagen 5.13 muestra las causas críticas que contienen valores altos, tanto de ocurrencias (N) como de medias, a partir de esta la imagen 5.14 permite observar la variabilidad interna y frecuencia de cada causa; lo que justifica implementar un plan de mejora.

Imagen 5.13

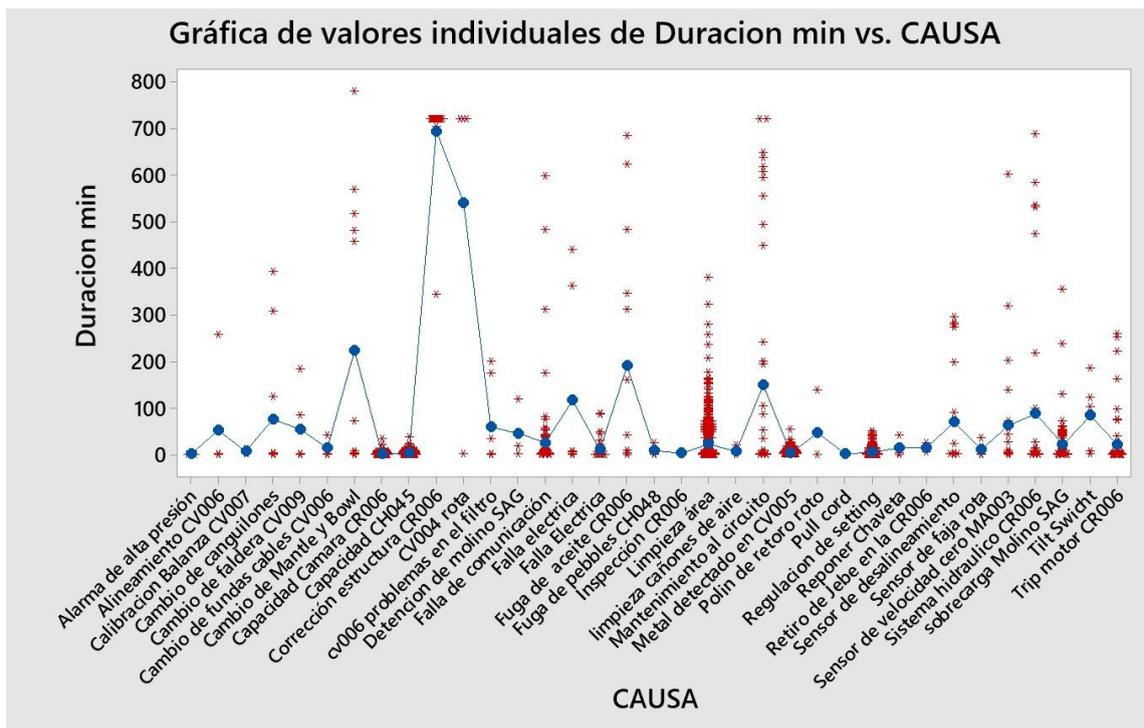
Causas críticas con base a las ocurrencias

CAUSA	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
Alarma de alta presión	10	1.397	0.577	(-21.513; 24.307)
Alineamiento CV006	5	52.5	114.8	(20.1; 84.9)
Calibración Balanza CV007	2	6.93	8.49	(-44.30; 58.16)
Cambio de canguilones	11	76.0	141.5	(54.1; 97.8)
Cambio de faldera CV009	5	54.6	81.0	(22.2; 87.0)
Cambio de fundas cables CV006	3	14.4	23.4	(-27.5; 56.2)
Cambio de Mantle y Bowl	13	222.7	288.9	(202.6; 242.8)
Capacidad Camara CR006	837	2.2176	2.4035	(-0.2866; 4.7218)
Capacidad CH045	2493	3.1075	2.5354	(1.6565; 4.5585)
Corrección estructura CR006	15	693.9	96.9	(675.2; 712.6)
CV004 rota	4	540	359	(504; 577)
cv006 problemas en el filtro	7	59.0	88.7	(31.6; 86.4)
Detención de molino SAG	3	45.9	63.5	(4.1; 87.7)
Falla de comunicación	102	25.97	82.54	(18.79; 33.14)
Falla electrica	7	116.7	195.3	(89.3; 144.1)
Falla Electrica	39	10.03	21.66	(-1.57; 21.63)
Fuga de aceite CR006	14	190.6	252.3	(171.2; 210.0)
Fuga de pebbles CH048	3	8.99	13.51	(-32.83; 50.82)
Inspección CR006	9	2.920	2.474	(-21.229; 27.070)
Limpieza área	1134	22.67	37.19	(20.52; 24.82)
limpieza cañones de aire	3	6.95	10.97	(-34.88; 48.78)
Mantenimiento al circuito	48	149.3	245.4	(138.9; 159.8)
Metal detectado en CV005	2290	3.6415	2.7549	(2.1275; 5.1554)
Polin de retoro roto	3	46.6	80.0	(4.7; 88.4)
Pull cord	6	2.072	1.661	(-27.505; 31.649)
Regulación de setting	496	5.033	7.615	(1.780; 8.286)
Reponer Chaveta	3	15.1	23.0	(-26.7; 56.9)
Retiro de Jebe en la CR006	2	15.2	15.1	(-36.0; 66.5)
Sensor de desalineamiento	22	69.7	112.6	(54.2; 85.1)
Sensor de faja rota	6	11.20	14.04	(-18.38; 40.77)
Sensor de velocidad cero MA003	23	62.6	141.8	(47.5; 77.7)
Sistema hidráulico CR006	37	87.7	195.9	(75.7; 99.6)
sobrecarga Molino SAG	95	21.59	48.46	(14.15; 29.02)
Tilt Swicht	5	83.8	78.8	(51.4; 116.2)
Trip motor CR006	70	21.35	54.54	(12.69; 30.01)

Desv.Est. agrupada = 36.9583

Imagen 5.14

Gráfica de valores individuales del tiempo de detención vs causa



Fuente: Elaboración propia con Minitab 19.

5.2.4 Fase Mejorar

En esta fase, se propone un plan de mejora con acciones correctivas orientadas a disminuir o eliminar las principales causas que generan detenciones en el circuito de pebbles, las cuales se identificaron en las fases “medir” y “analizar”.

El plan de mejora fue diseñado a partir de los resultados obtenidos del diagrama de Pareto aplicado por disciplinas (operaciones, mantenimiento correctivo y mantenimiento preventivo) los cuales se observan en las imágenes 5.9, 5.10 y 5.11 respectivamente y el diagrama de Ishikawa observado en la imagen 5.12, enfocándose en las causas que generan más del 80% de tonelaje perdido; a su vez busca mejorar la coordinación entre las áreas involucradas garantizando un funcionamiento más confiable y continuo del proceso.

Los diagramas de Pareto demuestran que las principales causas de detención y pérdida de tonelaje fueron:

- **Operaciones:** Limpieza del área, metal detectado y capacidad del chute CH045.
- **Mantenimiento:** Fallas hidráulicas, cambio de componentes y corrección de estructuras en la CR006.

Con este plan de mejora se espera un aumento del nivel sigma con un valor > 2.4 ; el plan de mejora se detalla en la tabla 5.9.

Tabla 5.9:

Plan de mejora

N °	Problema identificado	Propuesta de mejora
1	Limpieza de área (operaciones)	Implementar charlas de retroalimentación (feedback), estableciendo un máximo de 1 hora de limpieza por guardia según el PRO- PETS del circuito
2	Metal detectado en la faja CV005 (operaciones)	<ul style="list-style-type: none"> • Calibración del detector de metales (MD 001). • Reemplazo del magneto (MA003) por magneto MA004 tras análisis de desempeño.
3	Capacidad del chute CH045 (mantenimiento)	Rediseño del chute CH045 para aumento capacidad
4	Falla continua chancadora CR006 (Mantenimiento)	Reemplazo de la chancadora CR006 modelo SP 200 por chancadora modelo HP 200 por deficiencias hidráulicas, estructurales y de componentes.
5	Sistema de datos y registros manuales (operaciones)	<ul style="list-style-type: none"> • Uso del PI System para registro de eventos integrados en tiempo real y digitalización de datos. • Uso de Power BI para visualización de datos en tiempo real.
6	Comunicación entre supervisores y operadores (operaciones)	Reuniones entre áreas para análisis de eventos críticos y revisión de desempeño.

Fuente: Elaboración propia.

A partir del plan de mejora presentado en la tabla 5.9, se evaluaron cuidadosamente cada uno de los problemas identificados, considerando su impacto en el rendimiento del circuito, así como los beneficios que daría su solución.

Con base en este análisis, se dieron prioridad a las acciones que pudieran implementarse de manera rápida y efectiva; como resultado, se definieron acciones de mejora para solucionar los problemas identificados, las cuales se encuentran detalladas en la tabla 5.10.

Tabla 5.10

Acciones de mejora

N°	Problema identificado	Acción de mejora	Responsable	Indicador de éxito	Plazo de ejecución
1	Limpieza de área (operaciones)	Implementación de charlas de retroalimentación (feedback), en la que se establece un tiempo máximo de 1 hora de limpieza por guardia según el PRO- PETS del circuito. Ver anexo 9.	Supervisor de operaciones	Tiempo de limpieza \leq 1 hora	Inmediato – permanente
2	Metal detectado en la faja CV005 (operaciones)	Reemplazo del magneto Eriez 220 MA003 debido a deterioro por magneto Eriez 220 MA004. Ver anexo 10.	Área de mantenimiento y operaciones.	Reducción del 60 – 80 % en eventos por metal detectado	1 mes
3	Falla continua chancadora CR006 (Mantenimiento)	Reemplazo de la chancadora CR006 modelo SP 200F por chancadora modelo HP 200e por deficiencias hidráulicas, estructurales y de componentes. Ver anexo 11.	Área de mantenimiento y operaciones.	Tiempo de parada por mantenimiento \leq 40%	2 meses
4	Sistema de datos y registros manuales (operaciones)	Uso del PI System (PI event frames) y Power BI para automatizar la captura de eventos, ingreso de datos y visualización de perdidas en el circuito, mejorando el alcance y facilitando el trabajo de los operadores. Ver anexo 12.	Área de control de procesos / Operaciones – procesos	Eliminación de registros manuales	1 mes
5	Comunicación entre supervisores y operadores (operaciones)	Reuniones entre áreas para análisis de eventos críticos y revisión de desempeño. Ver anexo 13.	Supervisor de mantenimiento y operaciones.	Participación del 100% del personal	Inmediato – permanente

Fuente: Elaboración propia.

5.2.5 Fase controlar

Luego de implementar las acciones de mejoras en el circuito de pebbles, el objetivo de la fase controlar es asegurar que los resultados obtenidos se mantengan constantes y evitar el retorno de las fallas que se identificaron anteriormente.

5.2.5.1 Muestreo después de mejoras

Con base en la ecuación 2.14 se realizó una toma de muestra de la nueva base de datos de alrededor de 6 meses luego de las mejoras realizadas; reemplazando tenemos:

$$n = \left(\frac{(1.96)^2 \cdot (0.5)(0.5)(7825)}{(0.05)^2 \cdot (7825 - 1) + (1.96)^2(0.5)(0.5)} \right)^2$$

$$n = 279$$

Dicha determinación nos arroja un tamaño de muestra de 279 datos que se analizaran, los cuales agruparemos en 3 subgrupos de 93 partes de acuerdo a las disciplinas del circuito para el análisis medias y rangos, el cual podemos apreciar en el anexo 8.

Del anexo 8 se observa un promedio de rango de tonelaje perdido de 11.21 siendo este significativamente más bajo que el promedio de rango de la fase “medir” demostrando menor variabilidad dentro de los subgrupos analizados aunque esta variación sigue siendo causada por las disciplina de operaciones, en cuanto a la media de tonelaje perdido podemos observar que es 5.77 que es un valor relativamente mediano; estos valores se pueden traducir en un circuito más continuo y con muchas menos detenciones.

5.2.5.2 Disponibilidad, utilización y eficiencia después de mejoras

Se realizo el cálculo de la disponibilidad, utilización y eficiencia después de las mejoras, de acuerdo con el anexo 14 y con ayuda de las ecuaciones 2.15, 2.16 y 2.17 respectivamente, los cuales podemos apreciar en la tabla 5.11.

Tabla 5.11

Disponibilidad, utilización y eficiencia del circuito después de mejoras

Mes	Año	Disponibilidad (%)	Utilización (%)	Eficiencia (%)
Julio	2024	99.8	99.5	99.36
Agosto	2024	96.3	94.0	90.52
Septiembre	2024	99.2	96.0	95.20
Octubre	2024	99.2	96.1	95.36
Noviembre	2024	99.2	96.0	95.20
Diciembre	2024	99.2	96.1	95.36
	Promedio	98.8	96.3	95.17

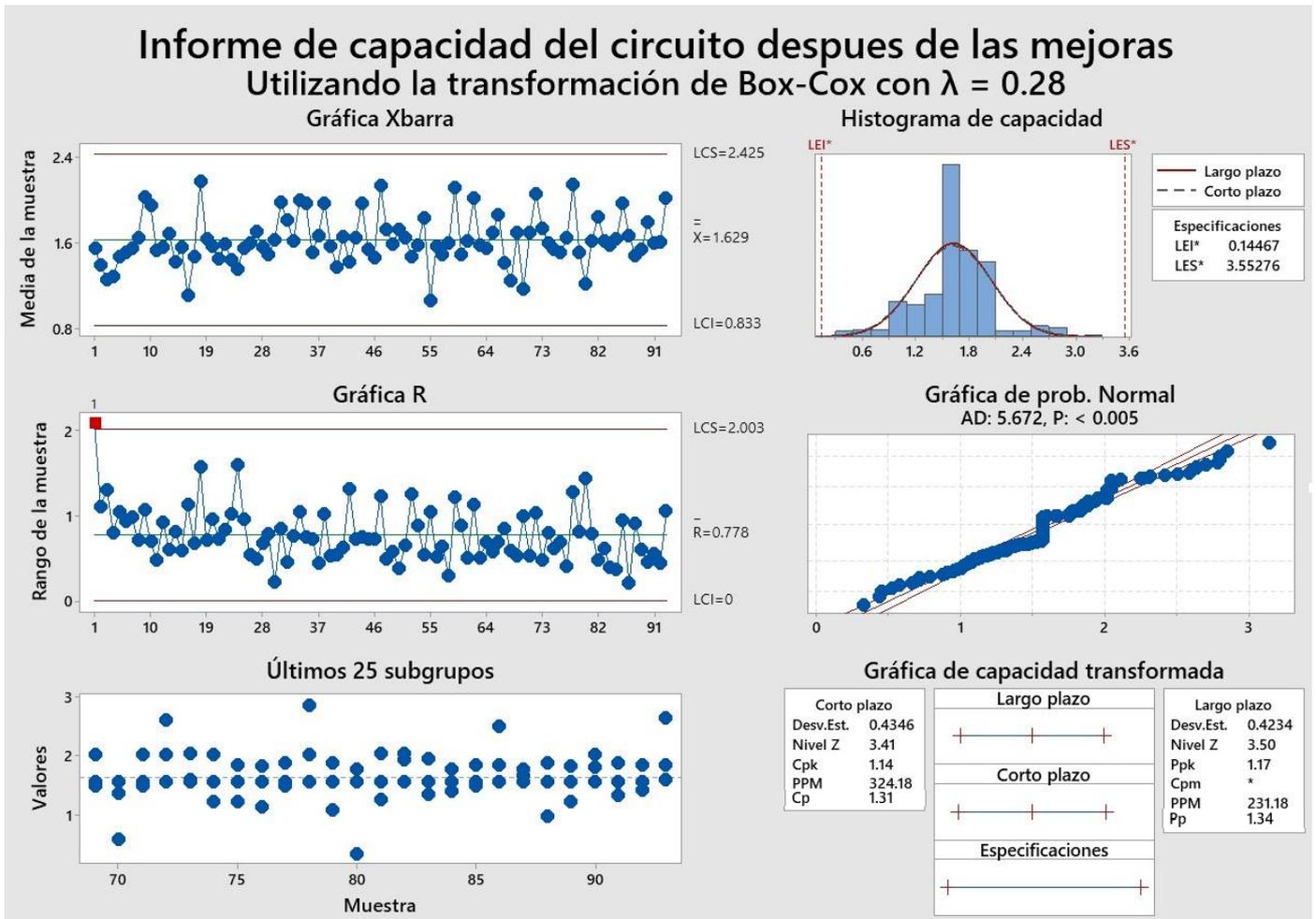
Fuente: Elaboración propia.

De la tabla 5.11 se observa que el circuito mostro una disponibilidad en promedio alta (98.8%), lo que nos indica que los equipos estuvieron disponibles para su utilización; ahora bien, observando el promedio de utilización del circuito es 96.3% en comparación a la disponibilidad del mismo se entiende que la utilización es mayor después de las mejoras, lo que evidencia que los controles dan como resultado estabilidad eficiente en el circuito.

A su vez se observa que la eficiencia promedio tiene un valor relativamente alto (95.17%), lo que indica que las mejoras implementadas mejoraron la estabilidad del circuito.

5.2.5.3 Informe de capacidad del circuito después de las mejoras

Con ayuda del software Minitab se realizó el informe de capacidad del circuito, el cual se observa en la imagen 5.15, se aprecia la gráfica Xbarra que muestra el control de la media a lo largo de los 6 meses de estudio después de las mejoras, esta gráfica da a conocer que la variabilidad de los datos dentro del circuito es consistente y predecible, podemos interpretar de esta que todos los puntos están dentro de los límites de control.



Fuente: Elaboración propia.

Seguidamente la gráfica R, muestra la variabilidad interna de los subgrupos, apreciando que todos los puntos excepto uno, se encuentran dentro de los límites de control, la gráfica de los últimos 25 subgrupos que presenta el comportamiento más reciente del proceso, indicando que sigue habiendo dispersión.

A su vez se tiene el Histograma de capacidad del circuito, la cual indica una distribución más estrecha y centrada conteniendo los datos dentro de los límites de especificación inferior y superior.

Debajo de esta, la gráfica de probabilidad normal, muestra el valor de AD (Anderson-Darling) el cual es 5.672, un valor relativamente mediano y el valor de P (probabilidad) que es menor a 0.005, indicando no normalidad.

Finalmente, la gráfica de capacidad transformada, observando los principales indicadores se da a conocer que a corto plazo la desviación estándar tiene un valor de 0.4346, el índice **Cp** es 1.31 que de acuerdo a la tabla 2.1 este valor es considerado clase 2, lo que indica que el circuito es adecuado pero requiere un control estricto, el índice **Cpk** es 1.14 que es un valor aproximadamente igual al Cp, según la imagen 2.6 se entiende que el circuito está centrado entre los límites de especificación y que es capaz; por otro lado los indicadores a largo plazo son los siguientes, la desviación estándar es 0.4234, el **Ppk** es 1.17, según la imagen 2.7 este valor indica que el circuito es considerado capaz y aceptable, el **Pp** es 1.34, al ser un valor aproximadamente igual al **Ppk** indica que el proceso a largo plazo estará centrado entre los límites de especificaciones y será parcialmente capaz; por ultimo los **PPM** a corto plazo (324.18) y a largo plazo (231.18) indican disminución en el números de defectos por millón lo cual evidencia una mejora significativa.

5.2.5.4 Cálculo del DPO, DPMO y rendimiento del circuito después de las mejoras

Con los datos recopilados durante 6 meses después de las mejoras se elaboró la tabla 5.12, la cual se usará para el cálculo de rendimiento del circuito.

Tabla 5.12

Datos para calcular DPO, DPMO y rendimiento del circuito

Datos	Número de unidades inspeccionadas		Número de oportunidades por unidad			Numero de defectos Muestra
	Tiempo de estudio (días)	Guardia (GA y GB)	Disciplina	Mantenimiento correctivo	Mantenimiento preventivo	
	183	2	Operaciones			
Total	366			3		279

Fuente: Elaboración propia.

Con base en la tabla 5.12 y usando la ecuación 2.11 se realiza el cálculo de defectos por oportunidades (DPO), dando como resultado la ecuación 5.4.

$$DPO = \frac{\text{Total de defectos}}{\text{Total de und. inspeccionadas} \times \text{Numero de oportunidades por und.}} = \frac{279}{366 \times 3} = 0.254098 \quad (5.4)$$

De la misma manera se realizó el cálculo de los defectos por millón de oportunidades, utilizando la ecuación 2.12, dando como resultado la ecuación 5.5.

$$DPMO = \frac{\text{Total de defectos}}{\frac{\text{Total de und. inspeccionadas}}{\times} \frac{\text{Numero de oportunidades por unidad}}{\cdot}} \times 1000000 = \frac{279}{366 \times 3} \times 1000000 = 254,098 \quad (5.5)$$

Para el cálculo del rendimiento se utilizó las ecuaciones 2.13.

$$\text{Rendimiento} = (1 - DPO) \times 100 = (1 - 0.254098) \times 100 = 74.59\% \quad (5.6)$$

Los resultados de las ecuaciones 5.4, 5.5 y 5.6 reflejan capacidad relativamente alta y baja variabilidad dentro del circuito, esto quiere decir que el 74.59% de los eventos registrados en el total de días analizados no registraron defectos y el 25.41% sí.

CAPTULO VI

Discusión de resultados

6.1 Implementación de acciones de mejora

Las mejoras implementadas en el circuito de pebbles, se tradujeron en avances claros y medibles en las distintas disciplinas las cuales inicialmente presentaban diversas limitaciones, en la tabla 6.1 se aprecia el problema identificado y la comparación entre el indicador de éxito de cada uno antes y después de la implementación de acciones de mejora.

Tabla 6.1

Impacto de las acciones de mejora

N°	Problema	Indicador de éxito	Antes de mejoras	Después de mejoras
1	Limpieza de área	Tiempo de limpieza \leq 1 hora	Se obtuvo 426:57:20 horas, equivalentes a 17.78 días	Se redujo a 50:51:02 horas, equivalentes a 2.12 días
2	Metal detectado en la faja CV005	Reducción del 60 – 80 % en eventos por metal detectado	Se obtuvo 2289 eventos registrados	Se redujo a 1176 eventos registrados
3	Falla continua chancadora CR006	Tiempo de parada por mantenimiento \leq 40%	Se obtuvo 664:47:54 horas equivalentes a 27.7 días	Se redujo a 51:45:37 horas, equivalentes a 2.16 días.

Fuente: Elaboración propia.

Una de las mejoras más notables es el tiempo de limpieza de área, que registro un 88% de reducción en el total de horas de detención por dicho evento. Esto no solo implica una optimización del tiempo, sino también una mayor eficiencia en la forma en que se organiza y ejecuta esta actividad.

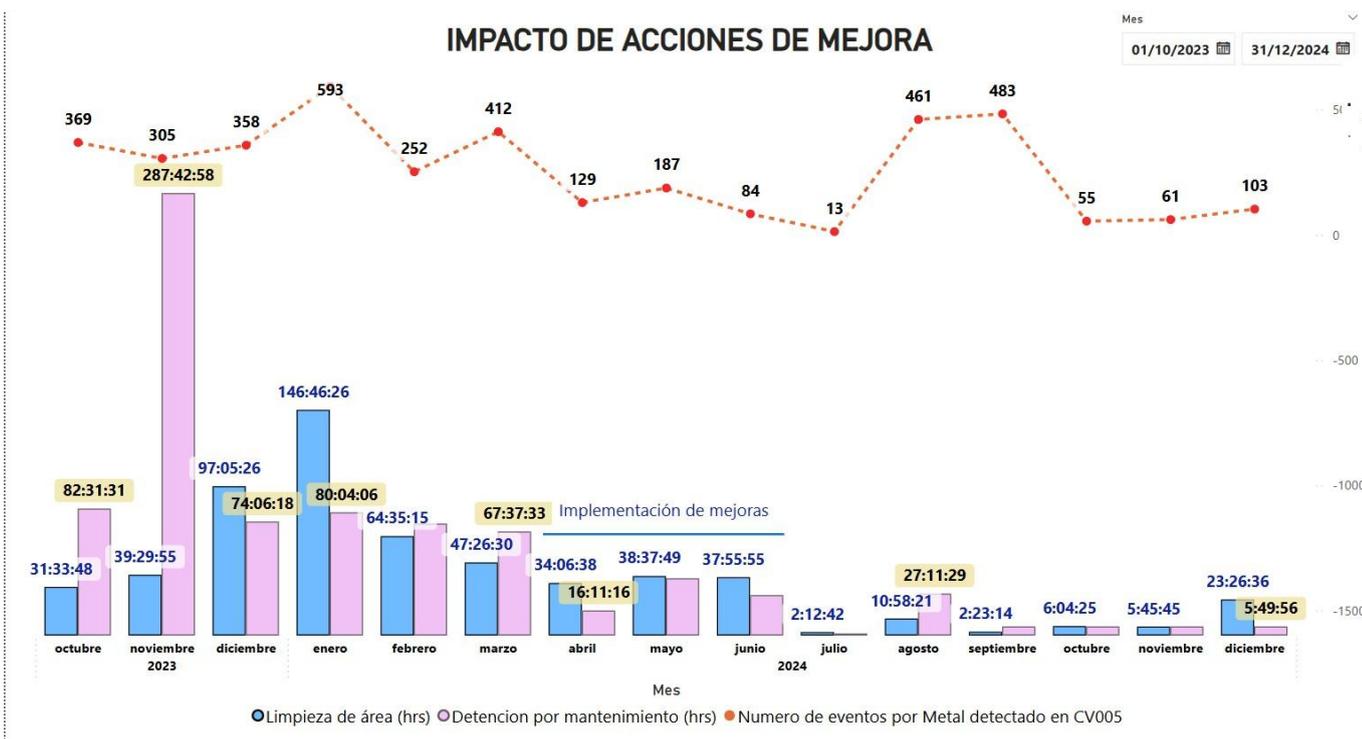
Sin embargo, la causa metal detectado en la faja CV005 registro un 48.62% de reducción, siendo este un resultando desfavorable de acuerdo al indicador de éxito, por lo que se considera que la causa no fue controlada de manera efectiva.

Con respecto a la chancadora CR006, con el cambio del modelo SP 200 al HP 200e, los esfuerzos por disminuir las paradas por mantenimiento dieron resultados; se registró una reducción en las detenciones del 92.2%, lo que habla de una mejor gestión del mantenimiento.

La imagen 6.1 muestra el impacto de las acciones de mejora a lo largo de la investigación.

Imagen 6.1

Impacto de las acciones de mejora a lo largo de la investigación



Fuente: Elaboración propia con Power BI.

Debemos de mencionar que se analizó rediseñar el chute CH045, pero con el cambio de la chancadora CR006, el problema de la capacidad de este quedó resuelto gracias a que

la chancadora modelo HP 200e cuenta con una cámara de chancado más alta que la antigua.

Con estos resultados no solo se demuestra que las acciones tomadas fueron efectivas, sino que también reflejan un cambio gradual en la manera de trabajo.

6.2 Comparativa de los CTQ's

La tabla 6.2 muestra el impacto de las mejoras en el tiempo de producción perdido.

Tabla 6.2

Impacto de las mejoras en el tiempo de producción perdido.

Determinante	CTQ's	Antes de las mejoras	Después de las mejoras
	Total de días de funcionamiento.	Se registro 122.26 días de funcionamiento.	Se incremento a 174.59 días de funcionamiento.
Tiempo de producción perdido	Tiempo de detenciones en días	Se registro 60.74 días de parada.	Se redujo a 9.41 días de parada.
	Tonelaje perdido	Se registró una pérdida de 64,141.15 toneladas.	Se redujo a 12,295.92 toneladas perdidas.

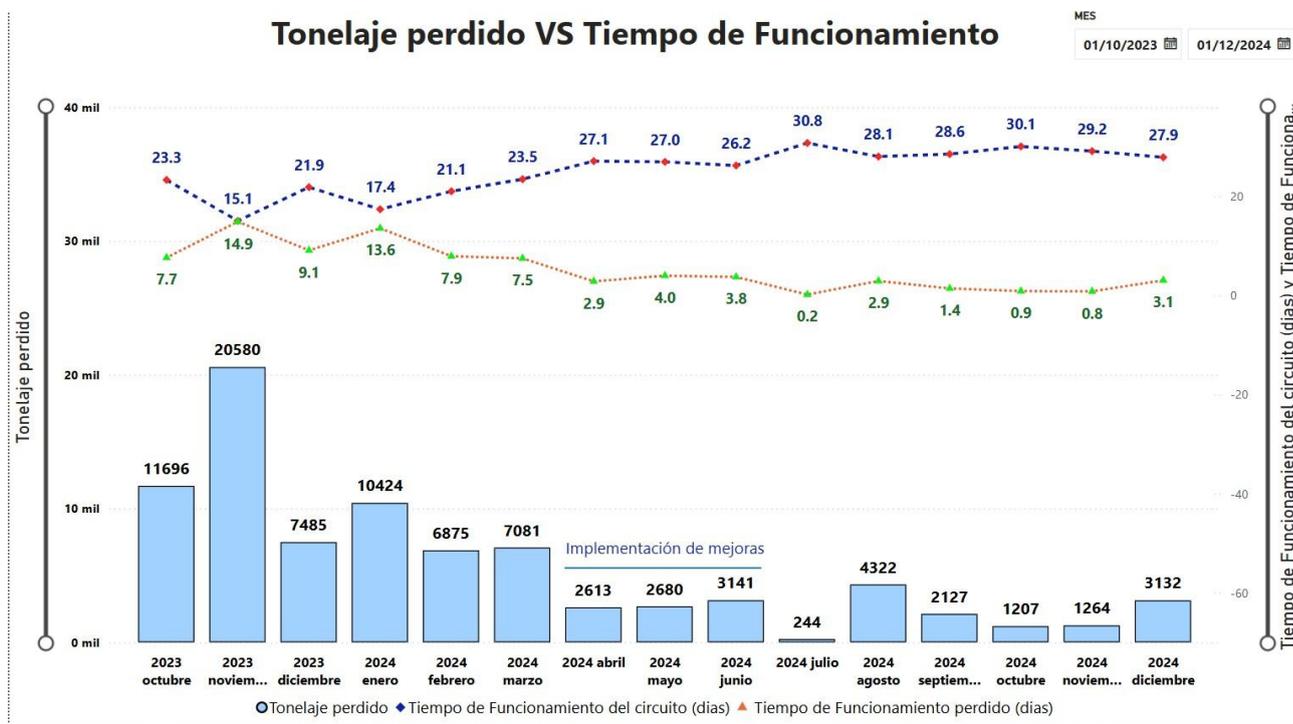
Fuente: Elaboración propia.

La tabla 6.2 demuestra que las mejoras implementadas tuvieron un impacto positivo en la operatividad del circuito; aumentando el tiempo de funcionamiento en un 29.97%, reduciendo el tiempo de detenciones en 84.51% y alcanzando una mejora notable sobre el tonelaje, reduciendo en 80.83% las pérdidas.

La imagen 6.2 presenta el tonelaje perdido respecto al tiempo de funcionamiento del circuito al largo de la investigación.

Imagen 6.2

Tonelaje perdido respecto al tiempo de funcionamiento del circuito de pebbles a lo largo de la investigación.



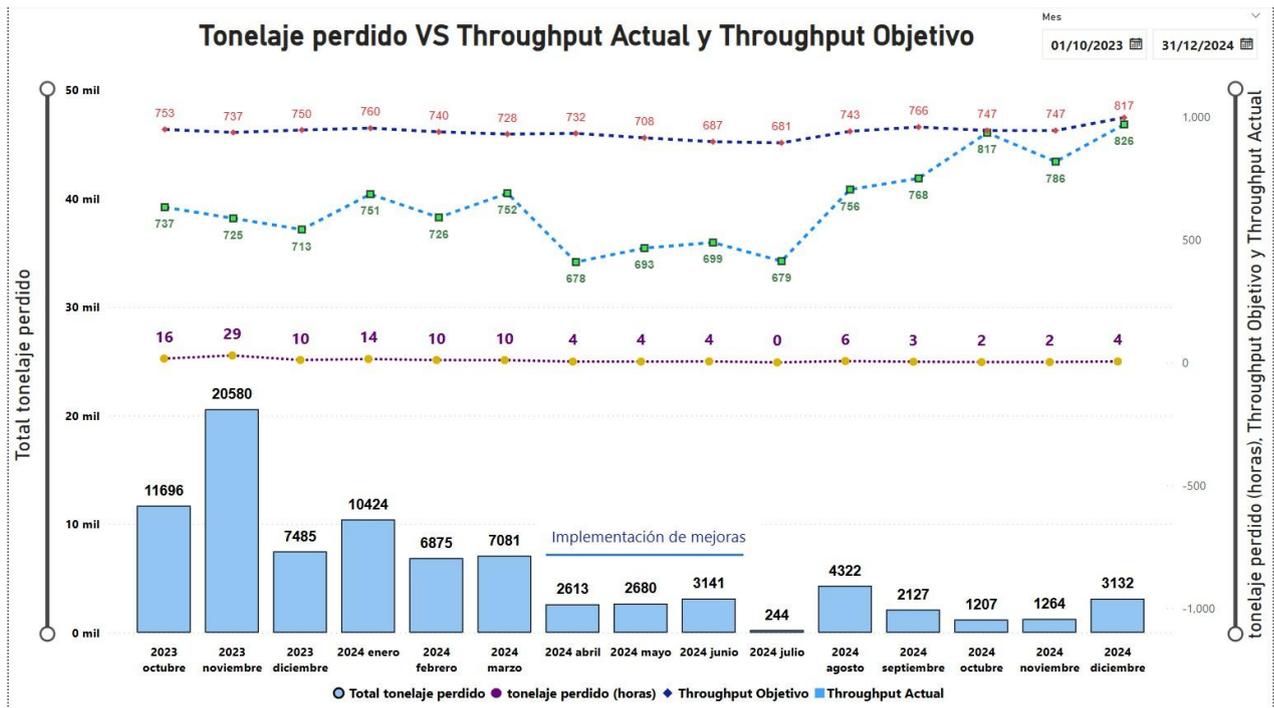
Fuente: Elaboración propia con Power BI.

De la imagen 6.2 se interpreta que los datos de octubre de 2023 hasta marzo de 2024 representan la fase de “medir” y “analizar”, en las que se identifican valores altos en el tonelaje perdido y en el tiempo de funcionamiento de circuito; los datos de julio a diciembre de 2024 (luego de las mejoras implementadas) indican notable disminución en el tiempo de producción perdido, así como en el tonelaje perdido.

A su vez la imagen 6.3 muestra el comparativo del tonelaje perdido en circuito respecto al throughput actual, throughput objetivo y al tonelaje perdido

Imagen 6.3

Tonelaje perdido respecto al throughput del circuito de pebbles a lo largo de la investigación.



Fuente: Elaboración propia con Power BI.

Con el fin de demostrar que las mejoras implementadas ayudaron a reducir las brechas para alcanzar el throughput objetivo establecido para cada mes.

6.2.1 Disponibilidad, utilización y eficiencia del circuito

El anexo 15 muestra la evolución de tres indicadores fundamentales para evaluar el desempeño del circuito operativo: disponibilidad, utilización y eficiencia durante un periodo de 15 meses, dividiéndose en tres etapas clave: una etapa inicial (de octubre de 2023 a marzo de 2024), una etapa de implementación de mejoras (de abril a julio de 2024), y finalmente, un periodo de control y evaluación de los resultados obtenidos (de agosto a diciembre de 2024).

En la etapa inicial se observa una notoria inestabilidad en la eficiencia, que cae hasta un 50.28% en noviembre. Esto sugiere que el circuito presentaba problemas en su capacidad para mantener un ritmo de trabajo sostenido, ocasionadas por las detenciones constantes del circuito.

Durante la implementación de mejoras, los indicadores comienzan a mostrar una recuperación notable. La eficiencia supera el 90% en abril y se mantiene estable en los siguientes meses. Esto refleja que las acciones de mejora comenzaron a dar resultados visibles en poco tiempo.

La etapa final, correspondiente al control del circuito después de las mejoras, muestra una consolidación sostenida. Los tres indicadores se estabilizan por encima del 95%, lo que evidencia la efectividad de las mejoras aplicadas, En este sentido, el sistema no solo mejoró, sino que evolucionó hacia una forma de trabajo más eficiente y controlada.

6.2.2 Indicadores de capacidad y desempeño del circuito

Para evaluar la efectividad de las mejoras dentro del circuito de pebbles, se realizó un análisis de capacidad del circuito antes y después de aplicar la metodología Lean Six Sigma. La tabla 6.3 presenta la comparación entre los resultados obtenidos.

Tabla 6.3

Comparación de indicadores de capacidad del circuito antes y después de las mejoras.

Indicador	Antes de mejoras (corto plazo / largo plazo)	Después de mejoras (corto plazo / largo plazo)	Mejora observada
Cp/Cpk	0.85 / 0.73	1.31 / 1.14	Mejora de capacidad del circuito, pasa de clase 3 a clase 2
Pp/Ppk	0.93 / 0.79	1.34 / 1.17	Mayor estabilidad a largo plazo
Z (nivel sigma)	2.73 / 2.35	3.41 / 3.04	Mejora significativa
PPM	16,402 / 9,424	324 / 231	Disminución de defectos
DPMO	349,727	254,098	Mejora del 27% aproximadamente
Rendimiento en base a los defectos	65.03 %	74.59%	Mejora de casi 10%

Fuente: Elaboración propia.

La tabla 6.3 muestra que el análisis del circuito de pebbles presento un incremento significativo luego de la implementación de las acciones de mejora. Al inicio de la investigación el circuito presento alta variabilidad y baja capacidad ($C_p = 0.85$, $C_{pk} = 0.73$) y un nivel sigma bajo (Z largo plazo = 2.35), con un alto número de defectos ($DPMO = 349,727$) y rendimiento respecto al comportamiento de los defectos igual a 65.03%.

Tras la implementación de las acciones de mejora bajo la metodología Lean Six Sigma, se demostró un considerable aumento en el desempeño del circuito. Los nuevos indicadores ($C_p = 1.31$, $C_{pk}=1.14$, Z largo plazo = 3.04) ubican al circuito como un proceso adecuado (clase 2), con una notoria disminución en defectos ($DPMO = 254,098$) y rendimiento mejorado respecto al comportamiento de los defectos de 74.59%.

Conclusiones

- Se optimizó el circuito de pebbles en la unidad minera Cerro Corona aplicando la metodología Lean Six Sigma, incrementando su eficiencia de 64.51% a 95.16%, reflejándose en mejoras operativas, de calidad y aumento de producción.
- Se determinó y cuantificó las causas que generaban pérdidas en el circuito, las cuales fueron tres: limpieza de área, metal detectado en la CV005 y fallas en la chancadora CR006.
- Se estimó el tiempo de producción perdido por detenciones en el circuito de pebbles, inicialmente el circuito presentó detenciones de hasta 60.74 días y posteriormente 9.41 días de detenciones.
- Se incrementó el nivel sigma del circuito de 2.35 a 3.04, acompañado de una notable reducción en los defectos (PPM y DPMO).
- Finalmente, la optimización del circuito de Pebbles mejoró su desempeño y redujo pérdidas, impulsando una cultura de mejora continua.

Recomendaciones

- Se recomienda al área de mantenimiento e instrumentación revisar y mejorar el sistema de detección de metales para reducir falsas alarmas e interrupciones innecesarias.
- Se recomienda a la gerencia de operaciones – procesos realizar evaluaciones periódicas de las mejoras implementadas para monitorear el desempeño del circuito y anticipar impactos futuros.
- Se sugiere a la gerencia de operaciones expandir la aplicación de la metodología Lean Six Sigma a otras áreas críticas para alcanzar el objetivo de producción.
- Se sugiere a los supervisores de cada área desarrollar manuales y guías accesibles sobre el impacto de la metodología Lean Six Sigma dirigido al personal involucrado para futuras capacitaciones sobre mejora continua.
- Se recomienda a los futuros profesionales impulsar la aplicación de metodologías de mejora continua para identificar y reducir pérdidas operativas fortaleciendo competencias en gestión de proyectos.

Bibliografía

- Andres, F. (s.f.). *8 desperdicios en Lean Manufacturing: La guía definitiva*. Obtenido de <https://www.franciscoandres.com/8-desperdicios-en-lean-manufacturing-la-guia-definitiva/>
- AZIZA, S., AHMET, E., NADEEM, S., GARZA, J. R., & Vikas, K. A. (2018). *Lean Implementation Framework for the Mining Industry. ScienceDirect-IFAC Papers Online, 51-11*.
- Baena Paz, G. M. (2017). *Metodología de la Investigación*. Mexico: Grupo Editorial Patria.
- Bennasar, P. (2017). *Proyecto de mejora de una operación de descarga de resina de poliéster saturado aplicando Lean Six Sigma en una planta química*. Barcelona : Universitat Politècnica de Catalunya Barcelonatech.
- Compania minera Cobre las cruces . (2007). *Curso: Fundamentos de molienda*. Ingenieria y Capacitacion.
- Coricaza Salazar, E. s. (2021). *Aplicación de Lean Six Sigma para la mejora de la productividad en la operación de clasificación de arenas de relave*. Arequipa: UNSA.
- DATAtab Team. (2024). *DATAtab*. Obtenido de <https://datatab.es/tutorial/cohens-kappa>
- De Saeger, A. (2018). *El diagrama de Ishikawa: Solucionar los problemas desde su raíz*. Economía y empresa en 50 minutos.
- Dominguez Machuca, G. G. (2014). *Dirección de operaciones: aspectos estratégicos y tácticos* . Madrid: McGraw-Hill Education. .

- Engeman. (s.f.). *¿Que es la disponibilidad y como calcularla*. Obtenido de <https://blog.engeman.com/es/que-es-disponibilidad-y-como-calcularla-en-mantenimiento>
- Gutiérrez, H., & De la Vara, R. (2009). *Control Estadístico de Calidad y Seis Sigma*. México: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
- Hernandez Sampieri, R., Fernandez Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2010). *Metodologia de la Investigacion*. Mexico : McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
- Huanca Parqui, C. J. (2024). *Implementacion de la metodología six sigma en el circuito de flotación de una planta concentradora de cobre de 95000 ton/d*. Arequipa: Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.
- Martínez, A., & Morales, J. (2022). *Lean Six Sigma para la mejora de procesos*. España: Universidad Miguel Hernandez de Elche.
- Mayoral, A., & Javier, M. (2022). *Lean Seis Sigma para la mejora de procesos*. España: Instituto Universitario de Investigacion CIO-UMH.
- Minitab. (2024). *Nivel Z como una estimación de la capacidad sigma*. Obtenido de Minitab, LLC. All Rights Reserved: <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/help-and-how-to/quality-and-process-improvement/capability-analysis/supporting-topics/capability-metrics/z-bench-as-an-estimate-of-sigma-capability/>
- MolyCop Adesur. (2011). *Curso de molienda de minerales con aplicaciones en ambiente*. Moly-Cop.
- Morales Sacuellanos, J. (2022). *Lean Six Sigma para la mejora de procesos*. Universidad Miguel Hernandez de Elche.

- Muñoz Verón, R. (2007). *Aplicación de herramientas Seis Sigma a la etapa de chancado de pebbles – Concentradora Compañía Contractual Minera Candelaria*. Atacama: Universidad de Atacama.
- OPX MENTOR. (s.f.). *Lean Six Sigma Green Belt*. Costa Rica: Opex Mentor.
- Peña, R. (2019). *Mejora de la eficiencia del circuito de molienda utilizando herramientas Lean Six Sigma en una planta concentradora de cobre*. Lima, Perú.: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Presa Garcia, S. (2016). *Aplicación de la metodología Lean Six Sigma en la mejora continua de procesos: Un estudio de caso*. Madrid. Obtenido de Aplicación de la metodología Lean Six Sigma en la mejora continua de procesos: Un estudio de caso.
- Reyes, P. (2022). *Manufactura delgada (Lean) y seis Sigma en empresas mexicanas: experiencias y reflexiones*.
- Rivero Lazo, M. S., Meneses Jara, P. W., Garcia Cespedes, J., Anibal Rivero, R. A., & Zevallos Choy, E. L. (2021). *Metodologia de la investigacion* . Huanuco, Peru : Universidad Nacional Hermilio Valdizán.
- Sánchez Hipólito, B. J. (2021). *Reducción del flúor en el concentrado de cobre controlando el %masspull aplicando la metodología six sigma*. Lima: UNMSM.
- Silva Balocchi, M. A. (2013). *Variables operacionales y su influencia en la operación, pro optimizacion del consumo energetico en la molienda SAG*. . Santiago de Chile: Universidad de Chile.
- SNMPE. (Mayo de 2008). *Antamina inaugura planta chancadora de pebbles*. Obtenido de Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía.:

<https://www.snmpe.org.pe/prensa/notas-de-prensa/notas-de-prensa-de-asociados/671-antamina-inaugura-planta-chancadora-de-pebble.html>

Soto Jara, P. A. (2022). *Propuesta de un modelo de mejora continua basado en herramientas Lean con enfoque Seis Sigma en planta concentradora de empresa minera*. Universidad de Concepción.

Tejada Martínez, M. A. (2016). *Aplicación de la metodología Six Sigma para la mejora de la productividad en el proceso de filtrado de concentrado en la Compañía Minera Antamina Huaráz-Perú*. Universidad César Vallejo.

Tejada, J. (2024). *Blogspot.com*. Obtenido de <https://ingenieriaindustrial-aqp.blogspot.com/2018/01/indices-de-capacidad-de-procesos.html>

Tovar, O. (12 de Mayo de 2016). Obtenido de <https://imp.org.pe/pptjm/jm12052016-Optimizacion-de-operaciones-mediante-aplicacion-de-Six-Sigma.pdf>

APÉNDICE 1

Matriz de consistencia

TÍTULO: “OPTIMIZACIÓN DEL CIRCUITO DE PEBBLES MEDIANTE LA METODOLOGÍA LEAN SIX SIGMA EN UNIDAD MINERA CERRO CORONA – REGIÓN CAJAMARCA”

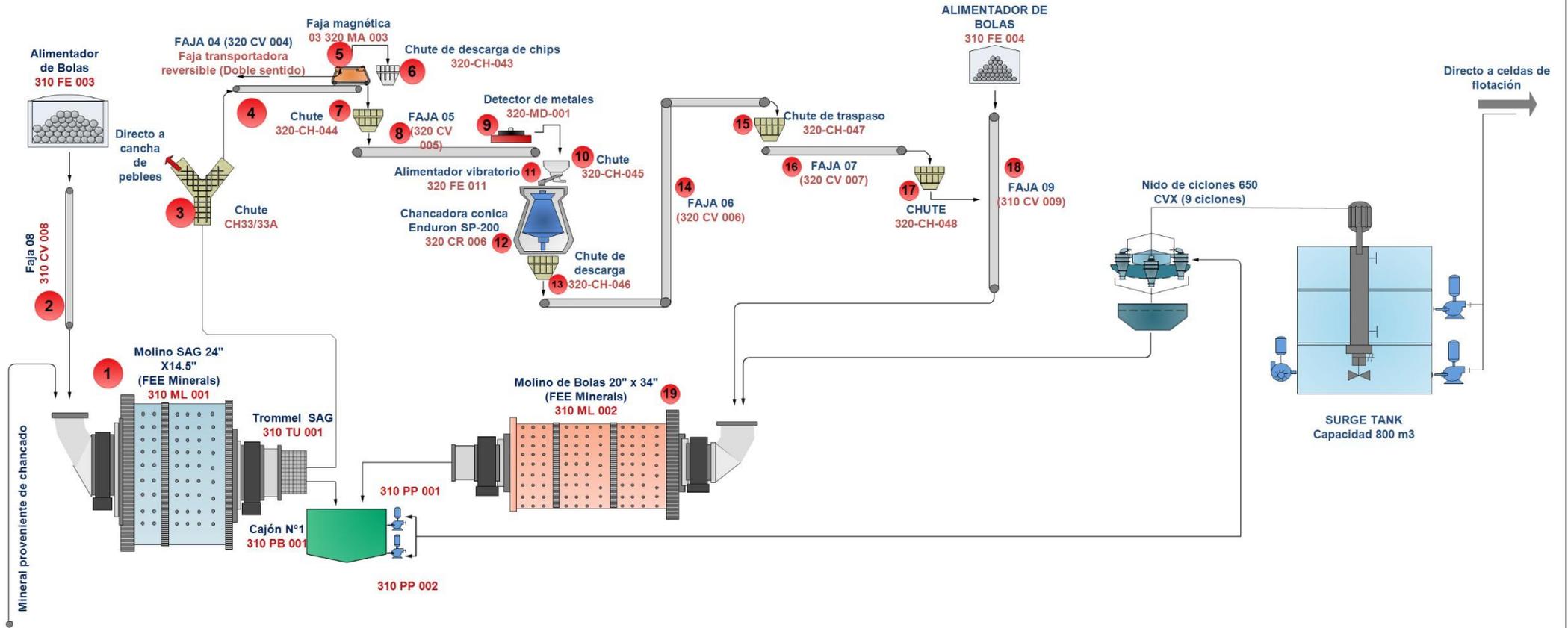
FORMULACIÓN DE PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES	METODOLOGIA
<p>Problema general:</p> <p>¿Será posible optimizar el circuito de Pebbles mediante la metodología lean six sigma en la unidad minera Cerro Corona?</p>	<p>Objetivo general:</p> <p>Optimizar el circuito de Pebbles mediante la metodología lean six sigma en la unidad minera Cerro Corona para tener mayor producción.</p>	<p>Hipótesis general:</p> <p>La aplicación de la metodología Lean Six Sigma optimiza el circuito de pebbles en la unidad minera cerro corona, reduciendo el tiempo promedio de detenciones y mejorando el nivel sigma del proceso hasta un nivel de 3.5 o superior.</p>	<p>Dependiente</p> <p>Optimización del circuito de pebbles</p>	<p>Tipo de investigación</p> <p>Cuantitativo – No experimental con enfoque longitudinal</p> <p>Nivel de investigación</p> <p>Explicativo</p>
<p>Problemas específicos:</p> <p>PE1: ¿Se podrán determinar y cuantificar las causas que generan pérdidas en el throughput del circuito de pebbles de la unidad minera Cerro Corona?</p> <p>PE2: ¿Se podrá estimar el tiempo de producción perdido por detenciones en el circuito de pebbles de la unidad minera Cerro Corana?</p> <p>PE3: ¿Será posible incrementar el nivel sigma del circuito de pebbles de la unidad minera Cerro Corona mediante la aplicación de Lean Six Sigma?</p>	<p>Objetivos específicos:</p> <p>OE1: Determinar y cuantificar las causas que generan perdidas en el throughput del circuito de pebbles de la unidad minera Cerro Corona mediante la aplicación de Lean Six Sigma,</p> <p>OE2: Estimar el tiempo de producción perdido por detenciones en el circuito de pebbles de la unidad minera Cerro Corona.</p> <p>OE3: Incrementar el nivel sigma del circuito de pebbles en la unidad minera Cerro Corona mediante la aplicación de Lean Six Sigma.</p>	<p>Hipótesis específicas:</p> <p>HE1: Se determinan y cuantifican las causas que generan perdidas en el throughput del circuito de pebbles mediante la aplicación de Lean Six Sigma.</p> <p>HE2: El tiempo de producción perdido debido a las detenciones en el circuito de pebbles se estima con la recopilación de datos.</p> <p>HE3: El nivel sigma del circuito de pebbles se incrementa al implementar la metodología Lean Six Sigma, alcanzando un nivel de 3.5 o superior.</p>	<p>Independientes</p> <p>Causas de perdidas</p> <p>Tiempo de producción perdido</p> <p>Nivel sigma</p>	<p>Diseño experimental</p> <ul style="list-style-type: none"> • Diseño no experimental • ANOVA de un factor <p>Población</p> <p>Abarca datos históricos y operativos de 15 meses</p> <p>Muestra</p> <p>Datos recopilados de 6 meses</p> <p>Técnicas e Instrumentación</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tablas de datos • PI System • DeltaV • Minitab • Power BI

ANEXOS

Anexo 1

Diagrama de flujo del circuito de pebbles en la unidad minera Cerro Corona

CIRCUITO DE PEBBLES - UNIDAD MINERA CERRO CORONA

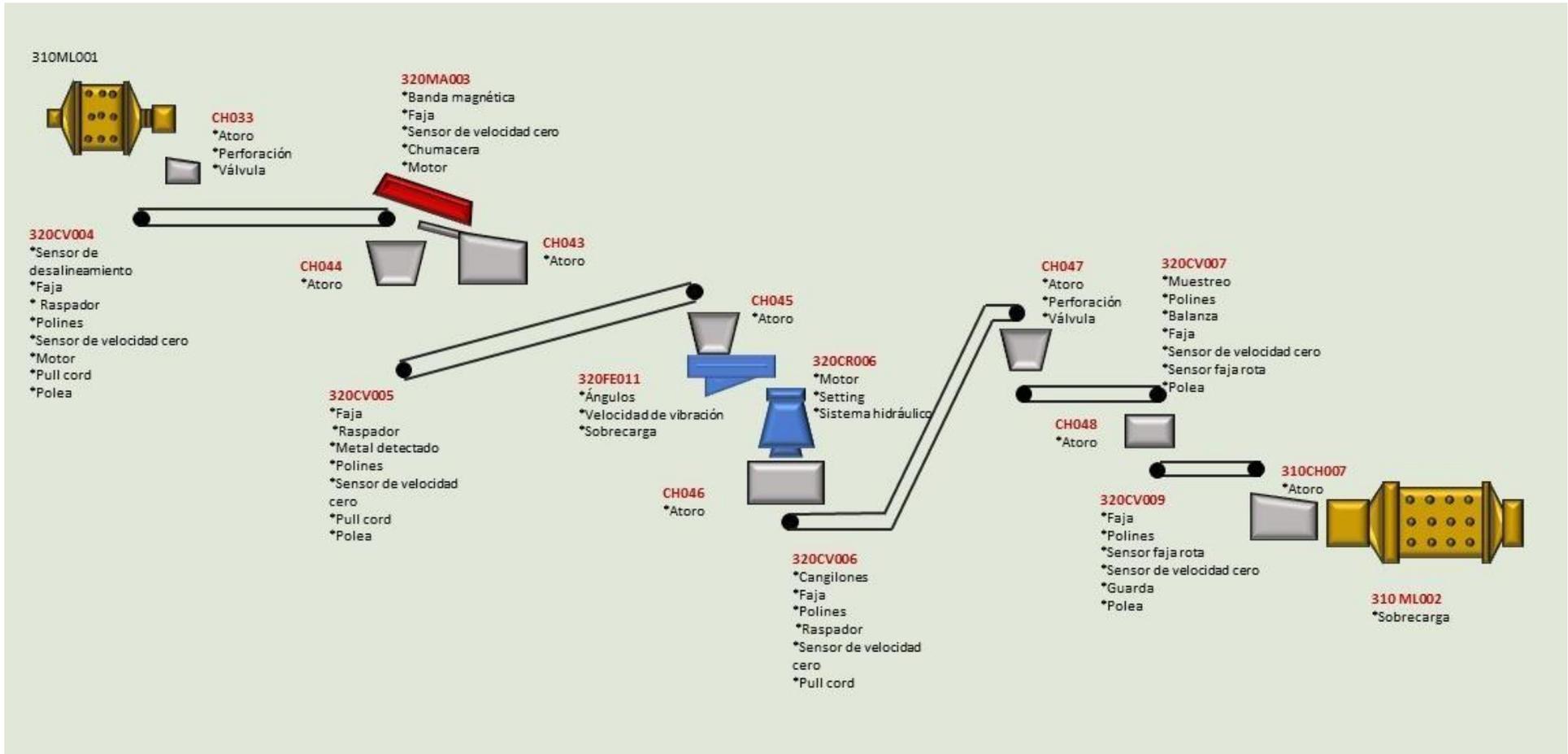


LEYENDA

- | | |
|--|-----------------------------|
| 1. Molino SAG 24' X14.5' (FEE Minerals) | 12. Chancadora Conica |
| 2. Faja 08 | 13. Chute de descarga |
| 3. Chute pantalón | 14. Faja 06 |
| 4. Faja 04 transportadora reversible (Doble sentido) | 15. Chute de traspaso |
| 5. Faja magnética | 16. Faja 07 |
| 6. Chute de descarga de chips | 17. Chute de descarga |
| 7. Chute de descarga | 18. Faja 09 |
| 8. Faja 05 | 19. Molino de Bolas 20'x34' |
| 9. Detector de metales | |
| 10. Chute de descarga | |
| 11. Alimentador Vibratorio | |

Anexo 2

Diagrama de flujo del circuito de pebbles de la unidad minera Cerro Corona con causas de detenciones específicas



Anexo 3

Reporte de detenciones de la chancadora CR006 es estado detenido

REPORTE DE OPERACIONES DE DETENCIONES DE CHANCADORA DE PEBBLES

Set-23

Nombre de tag utilizado:	320CR006MD1.DCS		Modificar fecha para actualizar tabla	234:53:37	Mantenimiento Correctivo	171:45:14
Expresiones de filtro utilizadas:	("320CR006MD1.DCS"="Detenido")					
	("320CR006MD1.DCS"="Funcionando")					
Tiempo de Inicio	01-Ago-23 07:00:00					
Tiempo de Fin	01-Set-23 07:00:00					
TIEMPO DE DETENCIÓN	POR MANTENIMIENTO	196:10:54			Mantenimiento Preventivo	24:25:39
	POR OPERACIÓN	38:42:43			Externo	1:42:06
TIEMPO DE OPERACIÓN		#¡REF!			Operativo	37:00:37
TOTAL		#¡REF!				
DISPONIBILIDAD		#¡REF!				
UTILIZACIÓN		#¡REF!				

HORA DE PARADA	Condicion	HORA DE ARRANQUE	Estado	DURACIÓN	RESPONSABLE DE PARADA	DESCRIPCIÓN DEL EVENTO
01-Ago-23 04:11:05	CHANCADORA DETENIDA	01-Ago-23 04:47:13		0:36:08	Operativo	Limpieza
01-Ago-23 16:02:32	CHANCADORA DETENIDA	01-Ago-23 17:10:07		1:07:35	Operativo	Limpieza
01-Ago-23 19:26:31	CHANCADORA DETENIDA	01-Ago-23 19:36:55		0:10:24	Operativo	Setting
02-Ago-23 04:01:52	CHANCADORA DETENIDA	02-Ago-23 04:33:42		0:31:51	Operativo	Limpieza
02-Ago-23 10:09:38	CHANCADORA DETENIDA	02-Ago-23 10:25:48		0:16:10	Operativo	Limpieza
02-Ago-23 15:50:14	CHANCADORA DETENIDA	02-Ago-23 19:35:53		3:45:39	Operativo	Setting
02-Ago-23 19:48:43	CHANCADORA DETENIDA	02-Ago-23 19:58:24		0:09:40	Operativo	Setting
03-Ago-23 04:04:12	CHANCADORA DETENIDA	03-Ago-23 04:36:21		0:32:09	Operativo	Limpieza
03-Ago-23 09:27:06	CHANCADORA DETENIDA	03-Ago-23 22:44:28		13:17:23	Mantenimiento correctivo	Mantenimiento correctivo
03-Ago-23 22:45:46	CHANCADORA DETENIDA	03-Ago-23 22:50:55		0:05:08	Operativo	Motor
03-Ago-23 23:14:58	CHANCADORA DETENIDA	03-Ago-23 23:21:52		0:06:54	Operativo	Setting
04-Ago-23 04:02:08	CHANCADORA DETENIDA	04-Ago-23 04:54:42		0:52:34	Operativo	Limpieza
04-Ago-23 16:12:15	CHANCADORA DETENIDA	04-Ago-23 17:04:47		0:52:32	Operativo	Limpieza
04-Ago-23 19:45:02	CHANCADORA DETENIDA	04-Ago-23 19:53:07		0:08:05	Operativo	Setting
05-Ago-23 04:05:06	CHANCADORA DETENIDA	05-Ago-23 04:35:12		0:30:07	Operativo	Limpieza
05-Ago-23 07:59:07	CHANCADORA DETENIDA	05-Ago-23 08:21:07		0:22:00	Operativo	Setting
05-Ago-23 16:04:32	CHANCADORA DETENIDA	05-Ago-23 16:13:26		0:08:54	Operativo	Setting
06-Ago-23 04:05:19	CHANCADORA DETENIDA	06-Ago-23 05:03:29		0:58:10	Operativo	Limpieza
06-Ago-23 07:43:38	CHANCADORA DETENIDA	06-Ago-23 07:52:43		0:09:05	Operativo	Setting
06-Ago-23 16:06:56	CHANCADORA DETENIDA	06-Ago-23 16:35:41		0:28:44	Operativo	Limpieza
06-Ago-23 22:17:19	CHANCADORA DETENIDA	06-Ago-23 22:34:10		0:16:51	Operativo	Setting
07-Ago-23 04:03:27	CHANCADORA DETENIDA	07-Ago-23 05:01:25		0:57:58	Operativo	Limpieza
07-Ago-23 16:01:59	CHANCADORA DETENIDA	07-Ago-23 16:47:38		0:45:40	Operativo	Limpieza
08-Ago-23 04:02:17	CHANCADORA DETENIDA	08-Ago-23 05:02:19		1:00:02	Operativo	Limpieza
08-Ago-23 09:11:52	CHANCADORA DETENIDA	08-Ago-23 09:23:30		0:11:38	Operativo	Setting
08-Ago-23 16:00:12	CHANCADORA DETENIDA	08-Ago-23 17:20:33		1:20:21	Mantenimiento correctivo	Mantenimiento correctivo
08-Ago-23 17:21:05	CHANCADORA DETENIDA	08-Ago-23 17:25:27		0:04:22	Mantenimiento correctivo	Mantenimiento correctivo
08-Ago-23 21:31:14	CHANCADORA DETENIDA	08-Ago-23 21:36:58		0:05:44	Operativo	Limpieza
08-Ago-23 23:29:21	CHANCADORA DETENIDA	08-Ago-23 23:50:07		0:20:47	Operativo	MEDIR DISTANCIA DEL DETECTOR HACIA EL METAL DETECTADO
09-Ago-23 03:23:04	CHANCADORA DETENIDA	09-Ago-23 03:39:00		0:15:56	Operativo	MEDIR DISTANCIA DEL DETECTOR HACIA EL METAL DETECTADO
09-Ago-23 04:06:14	CHANCADORA DETENIDA	09-Ago-23 05:05:13		0:58:59	Operativo	Limpieza
09-Ago-23 09:59:58	CHANCADORA DETENIDA	09-Ago-23 10:06:33		0:06:35	Operativo	Setting

HORA DE PARADA	Condicion	HORA DE ARRANQUE	Estado	DURACIÓN	RESPONSABLE DE PARADA	DESCRIPCIÓN DEL EVENTO
09-Ago-23 09:59:58	CHANCADORA DETENIDA	09-Ago-23 10:06:33		0:06:35	Operativo	Setting
09-Ago-23 16:07:15	CHANCADORA DETENIDA	09-Ago-23 17:03:36		0:56:21	Mantenimiento correctivo	Mantenimiento correctivo
10-Ago-23 04:01:12	CHANCADORA DETENIDA	10-Ago-23 04:14:04		0:12:52	Operativo	Limpieza
10-Ago-23 07:49:39	CHANCADORA DETENIDA	10-Ago-23 11:00:52		3:11:13	Mantenimiento correctivo	Mantenimiento correctivo
10-Ago-23 16:00:42	CHANCADORA DETENIDA	10-Ago-23 16:42:01		0:41:19	Operativo	Limpieza
11-Ago-23 04:01:31	CHANCADORA DETENIDA	11-Ago-23 04:54:39		0:53:08	Operativo	Limpieza
11-Ago-23 07:27:50	CHANCADORA DETENIDA	11-Ago-23 19:00:01		11:32:11	Mantenimiento correctivo	Mantenimiento correctivo
11-Ago-23 19:00:01	CHANCADORA DETENIDA	12-Ago-23 07:00:01		12:00:00	Mantenimiento correctivo	Mantenimiento correctivo
12-Ago-23 07:00:01	CHANCADORA DETENIDA	12-Ago-23 19:00:01		12:00:00	Mantenimiento correctivo	Mantenimiento correctivo
12-Ago-23 19:00:01	CHANCADORA DETENIDA	13-Ago-23 07:00:00		11:59:59	Mantenimiento correctivo	Mantenimiento correctivo
13-Ago-23 07:00:01	CHANCADORA DETENIDA	13-Ago-23 19:00:00		11:59:59	Mantenimiento correctivo	Mantenimiento correctivo
13-Ago-23 19:00:01	CHANCADORA DETENIDA	14-Ago-23 07:00:00		11:59:59	Mantenimiento correctivo	Mantenimiento correctivo
14-Ago-23 07:00:01	CHANCADORA DETENIDA	14-Ago-23 19:00:00		11:59:59	Mantenimiento correctivo	Mantenimiento correctivo
14-Ago-23 19:00:01	CHANCADORA DETENIDA	15-Ago-23 07:00:00		11:59:59	Mantenimiento correctivo	Mantenimiento correctivo
15-Ago-23 07:00:01	CHANCADORA DETENIDA	15-Ago-23 19:00:00		11:59:59	Mantenimiento correctivo	Mantenimiento correctivo
15-Ago-23 19:00:01	CHANCADORA DETENIDA	16-Ago-23 07:00:00		11:59:59	Mantenimiento correctivo	Mantenimiento correctivo
16-Ago-23 07:00:01	CHANCADORA DETENIDA	16-Ago-23 21:04:00		14:03:59	Mantenimiento preventivo	Mantenimiento Preventivo
16-Ago-23 21:24:58	CHANCADORA DETENIDA	16-Ago-23 21:53:45		0:28:47	Operativo	Motor
16-Ago-23 22:07:29	CHANCADORA DETENIDA	16-Ago-23 22:22:02		0:14:33	Operativo	Setting
16-Ago-23 22:43:06	CHANCADORA DETENIDA	16-Ago-23 22:59:36		0:16:31	Operativo	Setting
17-Ago-23 07:55:40	CHANCADORA DETENIDA	17-Ago-23 08:05:16		0:09:36	Operativo	Setting
17-Ago-23 08:06:45	CHANCADORA DETENIDA	17-Ago-23 08:09:26		0:02:41	Operativo	Setting
17-Ago-23 14:00:35	CHANCADORA DETENIDA	17-Ago-23 14:24:46		0:24:11	Externo	Retiro de espaciador
17-Ago-23 16:14:34	CHANCADORA DETENIDA	17-Ago-23 17:13:08		0:58:34	Operativo	Limpieza
17-Ago-23 19:23:02	CHANCADORA DETENIDA	17-Ago-23 19:31:48		0:08:46	Operativo	Setting
18-Ago-23 04:00:09	CHANCADORA DETENIDA	18-Ago-23 04:49:40		0:49:31	Operativo	Limpieza
18-Ago-23 09:40:38	CHANCADORA DETENIDA	18-Ago-23 10:00:40		0:20:03	Operativo	Setting
18-Ago-23 16:15:32	CHANCADORA DETENIDA	18-Ago-23 17:13:50		0:58:18	Operativo	Limpieza
18-Ago-23 19:34:38	CHANCADORA DETENIDA	18-Ago-23 19:43:00		0:08:23	Operativo	Setting
19-Ago-23 03:58:43	CHANCADORA DETENIDA	19-Ago-23 04:53:42		0:54:59	Operativo	Limpieza
19-Ago-23 14:13:57	CHANCADORA DETENIDA	19-Ago-23 14:22:36		0:08:39	Operativo	Setting
19-Ago-23 16:15:54	CHANCADORA DETENIDA	19-Ago-23 17:12:12		0:56:19	Operativo	Limpieza
19-Ago-23 23:30:13	CHANCADORA DETENIDA	19-Ago-23 23:38:28		0:08:15	Mantenimiento correctivo	Mantenimiento correctivo
20-Ago-23 00:10:17	CHANCADORA DETENIDA	20-Ago-23 00:13:05		0:02:49	Mantenimiento correctivo	Mantenimiento correctivo
20-Ago-23 00:21:54	CHANCADORA DETENIDA	20-Ago-23 07:00:00		6:38:06	Mantenimiento correctivo	Mantenimiento correctivo
20-Ago-23 07:00:00		20-Ago-23 11:56:37		04 : 56 : 37	Mantenimiento correctivo	Mantenimiento correctivo
20-Ago-23 17:04:04		20-Ago-23 17:27:47		00 : 23 : 43	Operativo	Limpieza
21-Ago-23 03:59:36		21-Ago-23 04:53:17		00 : 53 : 42	Operativo	Limpieza
21-Ago-23 14:15:42		21-Ago-23 14:22:59		00 : 07 : 17	Operativo	Setting
21-Ago-23 16:11:12		21-Ago-23 16:42:43		00 : 31 : 31	Operativo	Limpieza
22-Ago-23 04:01:56		22-Ago-23 05:02:43		01 : 00 : 46	Operativo	Limpieza
22-Ago-23 13:57:28		22-Ago-23 15:00:27		01 : 02 : 58	Mantenimiento correctivo	Mantenimiento correctivo
22-Ago-23 15:10:31		22-Ago-23 15:34:39		00 : 24 : 08	Mantenimiento correctivo	Mantenimiento correctivo
22-Ago-23 15:39:15		22-Ago-23 15:39:18		00 : 00 : 02	Mantenimiento correctivo	Mantenimiento correctivo
22-Ago-23 15:39:18		22-Ago-23 15:43:02		00 : 03 : 44	Mantenimiento correctivo	Mantenimiento correctivo

HORA DE PARADA	Condicion	HORA DE ARRANQUE	Estado	DURACIÓN	RESPONSABLE DE PARADA	DESCRIPCIÓN DEL EVENTO
22-Ago-23 15:50:41		23-Ago-23 00:06:32		08 : 15 : 50	Mantenimiento correctivo	Mantenimiento correctivo
23-Ago-23 08:14:28		23-Ago-23 18:47:44		10 : 33 : 16	Mantenimiento correctivo	Mantenimiento correctivo
23-Ago-23 19:34:58		23-Ago-23 19:39:17		00 : 04 : 19	No hubo PI	No hubo PI
23-Ago-23 20:02:16		23-Ago-23 20:12:23		00 : 10 : 07	No hubo PI	No hubo PI
23-Ago-23 20:29:50		23-Ago-23 22:00:16		01 : 30 : 26	No hubo PI	No hubo PI
23-Ago-23 22:02:19		23-Ago-23 22:11:49		00 : 09 : 30	No hubo PI	No hubo PI
23-Ago-23 22:38:13		24-Ago-23 07:00:00		08 : 21 : 47	No hubo PI	No hubo PI
24-Ago-23 17:14:37		24-Ago-23 17:14:39		00 : 00 : 02	Operativo	Setting
24-Ago-23 17:14:40		24-Ago-23 17:19:55		00 : 05 : 15	Operativo	Setting
24-Ago-23 17:21:29		24-Ago-23 18:39:13		01 : 17 : 44	Mantenimiento correctivo	cambio de polines faja 5
24-Ago-23 20:04:19		24-Ago-23 20:08:21		00 : 04 : 03	Operativo	Setting
25-Ago-23 04:10:41		25-Ago-23 04:51:48		00 : 41 : 07	Operativo	Limpieza
25-Ago-23 16:02:36		25-Ago-23 16:44:44		00 : 42 : 08	Operativo	Limpieza
26-Ago-23 04:06:10		26-Ago-23 04:42:19		00 : 36 : 09	Operativo	Limpieza
26-Ago-23 08:56:20		26-Ago-23 19:18:00		10 : 21 : 40	Mantenimiento Preventivo	Mantenimiento Preventivo
26-Ago-23 20:15:50		26-Ago-23 20:18:28		00 : 02 : 38	Operativo	Setting
27-Ago-23 16:01:31		27-Ago-23 16:46:03		00 : 44 : 32	Operativo	Limpieza
27-Ago-23 16:53:46		27-Ago-23 16:56:19		00 : 02 : 33	Operativo	Limpieza
27-Ago-2023 23:41:30		28-Ago-2023 00:59:25		01 : 17 : 55	Externo	Cambio tarjeta de control SER DRIVE
28-Ago-2023 16:04:09		28-Ago-2023 16:51:05		00 : 46 : 56	Operativo	Metal detectado
28-Ago-2023 20:42:54		28-Ago-2023 20:49:31		00 : 06 : 38	Operativo	Setting
29-Ago-2023 04:02:59		29-Ago-2023 04:40:00		00 : 37 : 01	Operativo	Limpieza
29-Ago-2023 15:59:37		29-Ago-2023 16:51:21		00 : 51 : 44	Operativo	Limpieza
30-Ago-2023 04:02:59		30-Ago-2023 04:52:11		00 : 49 : 12	Operativo	Limpieza
29-Ago-2023 15:59:37		29-Ago-2023 16:51:21		00 : 51 : 44	Operativo	Limpieza
30-Ago-2023 04:02:59		30-Ago-2023 04:52:11		00 : 49 : 12	Operativo	Limpieza
31-Ago-2023 16:01:44		31-Ago-2023 16:48:03		00 : 46 : 19	Operativo	Limpieza
31-Ago-2023 22:08:21		31-Ago-2023 22:19:50		00 : 11 : 29	Operativo	Setting

Anexo 4

Data histórica extraída del Delta V considerando filtros

DATA HISTORICA EXTRAIDA DEL DELTA V: TONELAJE DE PEBBLES PROCESADO							
Fecha Inicial	1/01/2023 07:00						
Fecha Final	5/09/2023 07:00						
Periodo	1 minuto						
Filtro	'Downtimes.Faja CV003.Funcionando'=1 and 'Downtimes.Molino SAG ML001.Funcionando'=1 and '320HV2910.ST.DCS'='Cerrada Confirmada' and 'Downtimes.Chancadora CR006.Detención' = 1 and '210FE001M.DCS' ='Funcionando' and '320CV004MFORWD1.DCS' = 'Adelante' and Preval('320CV004MFORWD1.DCS') = 'Detenido' or 'Downtimes.Faja CV003.Funcionando'=1 and 'Downtimes.Molino SAG ML001.Funcionando'=1 and '320HV2910.ST.DCS'='Cerrada Confirmada' and 'Downtimes.Chancadora CR006.Detención' = 1 and '210FE002M.DCS' ='Funcionando' and '320CV004MFORWD1.DCS' = 'Adelante' and Preval('320CV004MFORWD1.DCS') = 'Detenido' 320WI2560.DCS						
TIMESTAMP	TONELAJE PEBBLES TMH/h	TIMESTAMP	TONELAJE PEBBLES TMH/h	TIMESTAMP	TONELAJE PEBBLES TMH/h	TIMESTAMP	TONELAJE PEBBLES TMH/h
1/01/2023 07:00	2.350522518	1/01/2023 07:52	28.23471451	1/01/2023 08:41	42.31126785	1/01/2023 09:30	27.7880882
1/01/2023 07:01	55.3388443	1/01/2023 07:53	32.01843643	1/01/2023 08:42	53.6842804	1/01/2023 09:31	29.64443588
1/01/2023 07:02	69.37226868	1/01/2023 07:54	35.46898651	1/01/2023 08:43	45.46605682	1/01/2023 09:32	27.07154465
1/01/2023 07:03	69.88967896	1/01/2023 07:55	41.79344177	1/01/2023 08:44	27.38045311	1/01/2023 09:33	32.54401398
1/01/2023 07:04	66.38556671	1/01/2023 07:56	38.88422775	1/01/2023 08:45	0.000125222	1/01/2023 09:34	42.47860936
1/01/2023 07:05	69.85158539	1/01/2023 07:57	40.58646393	1/01/2023 08:46	0.660415709	1/01/2023 09:35	52.7318306
1/01/2023 07:06	68.36056519	1/01/2023 07:58	39.02812195	1/01/2023 08:47	0.006655472	1/01/2023 09:36	64.20313263
1/01/2023 07:07	67.05053711	1/01/2023 07:59	36.51527405	1/01/2023 08:48	0.86544317	1/01/2023 09:37	67.57780457
1/01/2023 07:08	69.18369293	1/01/2023 08:00	36.97010422	1/01/2023 08:49	70.19070435	1/01/2023 09:38	71.19087219
1/01/2023 07:09	66.36732483	1/01/2023 08:01	35.21176529	1/01/2023 08:50	69.21664429	1/01/2023 09:39	69.24373624
1/01/2023 07:10	71.6580658	1/01/2023 08:02	38.99521255	1/01/2023 08:51	71.74983215	1/01/2023 09:40	68.88200378
1/01/2023 07:11	68.52415466	1/01/2023 08:03	33.43608093	1/01/2023 08:52	74.03809357	1/01/2023 09:41	69.19013977
1/01/2023 07:12	70.31352997	1/01/2023 08:04	35.66853333	1/01/2023 08:53	71.61161041	1/01/2023 09:42	72.8739624
1/01/2023 07:13	69.93263245	1/01/2023 08:05	37.91707993	1/01/2023 08:54	73.60494232	1/01/2023 09:43	8.502245903
1/01/2023 07:14	70.46341705	1/01/2023 08:06	39.66311646	1/01/2023 08:55	67.47148895	1/01/2023 09:44	7.779030323
1/01/2023 07:15	65.4145813	1/01/2023 08:07	44.20774841	1/01/2023 08:56	29.71556664	1/01/2023 09:45	2.655590534
1/01/2023 07:16	69.01292419	1/01/2023 08:08	44.29258347	1/01/2023 08:57	0.298404306	1/01/2023 09:46	43.37307358
1/01/2023 07:17	71.43740845	1/01/2023 08:09	45.31103516	1/01/2023 08:58	0.194679812	1/01/2023 09:47	68.40426162
1/01/2023 07:18	69.47060394	1/01/2023 08:10	44.94257355	1/01/2023 08:59	0.073517159	1/01/2023 09:48	56.70755768
1/01/2023 07:19	68.87242889	1/01/2023 08:11	43.07049179	1/01/2023 09:00	46.37213898	1/01/2023 09:49	58.73416519
1/01/2023 07:20	64.28447723	1/01/2023 08:12	43.25234985	1/01/2023 09:01	0.093775071	1/01/2023 09:50	60.44347763
1/01/2023 07:21	59.36675644	1/01/2023 08:13	42.58827972	1/01/2023 09:02	66.8542099	1/01/2023 09:51	61.34526062
1/01/2023 07:22	57.13661575	1/01/2023 08:14	41.9679451	1/01/2023 09:03	68.50932312	1/01/2023 09:52	58.56750488
1/01/2023 07:23	56.10137177	1/01/2023 08:15	48.57873535	1/01/2023 09:04	68.93998811	1/01/2023 09:53	57.11984634
1/01/2023 07:24	59.0310173	1/01/2023 08:16	41.13353348	1/01/2023 09:05	67.63317871	1/01/2023 09:54	55.81051636
1/01/2023 07:25	43.10454941	1/01/2023 08:17	39.23981094	1/01/2023 09:06	70.29379272	1/01/2023 09:55	48.46595001
1/01/2023 07:26	0.153203487	1/01/2023 08:18	38.786091385	1/01/2023 09:07	69.94767761	1/01/2023 09:56	47.51447678
1/01/2023 07:27	6.640329361	1/01/2023 08:19	39.35381317	1/01/2023 09:08	67.92372894	1/01/2023 09:57	44.62100983
1/01/2023 07:28	60.21282959	1/01/2023 08:20	38.00959778	1/01/2023 09:09	69.89923859	1/01/2023 09:58	44.95920181
1/01/2023 07:29	60.75756836	1/01/2023 08:21	37.60069656	1/01/2023 09:10	73.1029129	1/01/2023 09:59	43.24461746
1/01/2023 07:30	54.50533295	1/01/2023 08:22	41.66412735	1/01/2023 09:11	67.81048584	1/01/2023 10:00	43.06986618
1/01/2023 07:31	57.12729645	1/01/2023 08:23	49.00486755	1/01/2023 09:12	67.94696808	1/01/2023 10:01	39.60945892
1/01/2023 07:32	18.13692474	1/01/2023 08:24	50.17964935	1/01/2023 09:13	69.07008362	1/01/2023 10:02	37.02685818
1/01/2023 07:33	23.89258194	1/01/2023 08:25	53.16334915	1/01/2023 09:14	58.5658493	1/01/2023 10:03	36.28488159
1/01/2023 07:34	16.50424957	1/01/2023 08:26	52.65005112	1/01/2023 09:15	53.93980408	1/01/2023 10:04	39.02839661
1/01/2023 07:35	50.82662201	1/01/2023 08:27	52.04571533	1/01/2023 09:16	54.1710701	1/01/2023 10:05	34.62246323
1/01/2023 07:36	44.21606445	1/01/2023 08:28	50.51192474	1/01/2023 09:17	46.36242676	1/01/2023 10:06	33.81657028
1/01/2023 07:37	36.02318192	1/01/2023 08:29	52.56207275	1/01/2023 09:18	41.62728119	1/01/2023 10:07	30.015028
1/01/2023 07:38	32.87948227	1/01/2023 08:30	0.191063911	1/01/2023 09:19	40.03923798	1/01/2023 10:08	31.26839828
1/01/2023 07:39	32.71619797	1/01/2023 08:31	10.18103695	1/01/2023 09:20	42.44084819	1/01/2023 10:09	33.17083359
1/01/2023 07:43	0.23736766	1/01/2023 08:32	57.49089813	1/01/2023 09:21	44.08042908	1/01/2023 10:10	33.04042435

Anexo 5

Plantilla automatizada considerando estado de la chancadora “funcionando” y “detenida”

 PERDIDA DE TONELAJE EN CANCHA DE PEBLES										
FECHA INICIAL:		18/03/2023 07:00								
FECHA FINAL:		19/03/2023 07:00								
										
ITEM	EVENTO	HORA DE INICIO	HORA DE FIN	DURACION	REFERENCIA	TONELAJE PERDIDO	TONELAJE PERDIDO	DISCIPLINA	EQUIPO	CAUSA
1	Faja CV004 Reversa Nivel Alto Chute	18-Mar-23 07:06:21	18-Mar-23 07:09:48	0:03:27	18-Mar-23 06:06:21	62.17	3.58	Operaciones	I320CH045	Capacidad CH045
2	Faja CV004 Reversa Nivel Alto Chute	18-Mar-23 07:23:12	18-Mar-23 07:26:58	0:03:46	18-Mar-23 06:23:12	61.45	3.85	Operaciones	I320CH045	Capacidad CH045
3	Faja CV004 Reversa Nivel Alto Chute	18-Mar-23 07:32:37	18-Mar-23 07:34:42	0:02:05	18-Mar-23 06:32:37	60.70	2.10	Operaciones	I320CH045	Capacidad CH045
4	Faja CV004 Reversa Nivel Alto Chute	18-Mar-23 07:38:56	18-Mar-23 07:42:35	0:03:39	18-Mar-23 06:38:56	61.35	3.73	Operaciones	I320CH045	Capacidad CH045
5	Faja CV004 Reversa Nivel Alto Chute	18-Mar-23 07:57:01	18-Mar-23 08:01:11	0:04:11	18-Mar-23 06:57:01	60.85	4.24	Operaciones	I320CH045	Capacidad CH045
6	Faja CV004 Reversa y Chancadora de Pebbles Funcionando	18-Mar-23 08:12:33	18-Mar-23 08:13:41	0:01:07	18-Mar-23 07:12:33	61.14	1.15			
7	Faja CV004 Reversa y Chancadora de Pebbles Funcionando	18-Mar-23 08:27:10	18-Mar-23 08:30:45	0:03:35	18-Mar-23 07:27:10	60.91	3.64			
8	Faja CV004 Reversa Nivel Alto Chute	18-Mar-23 08:40:34	18-Mar-23 08:44:37	0:04:04	18-Mar-23 07:40:34	60.24	4.07	Operaciones	I320CH045	Capacidad CH045
9	Faja CV004 Reversa y Chancadora de Pebbles Funcionando	18-Mar-23 08:52:18	18-Mar-23 08:58:10	0:05:52	18-Mar-23 07:52:18	60.29	5.90			
10	Faja CV004 Reversa Nivel Alto Chute	18-Mar-23 09:07:44	18-Mar-23 09:12:19	0:04:35	18-Mar-23 08:07:44	59.88	4.57	Operaciones	I320CH045	Capacidad CH045
11	Faja CV004 Reversa Nivel Alto Chute	18-Mar-23 09:29:34	18-Mar-23 09:35:16	0:05:41	18-Mar-23 08:29:34	60.15	5.71	Operaciones	I320CH045	Capacidad CH045
12	Faja CV004 Reversa Nivel Alto Chute	18-Mar-23 09:40:54	18-Mar-23 09:50:37	0:09:43	18-Mar-23 08:40:54	60.21	9.75	Operaciones	I320CH045	Capacidad CH045
13	Faja CV004 Reversa Nivel Alto Chute	18-Mar-23 09:57:33	18-Mar-23 10:05:02	0:07:30	18-Mar-23 08:57:33	60.51	7.56	Operaciones	I320CH045	Capacidad CH045
14	Faja CV004 Reversa Metal Detectado	18-Mar-23 10:11:35	18-Mar-23 10:21:48	0:10:13	18-Mar-23 09:11:35	60.46	10.30	Operaciones	I320CV005	Metal detectado en CV005
15	Faja CV004 Reversa Nivel Alto Chute	18-Mar-23 10:33:53	18-Mar-23 10:38:21	0:04:28	18-Mar-23 09:33:53	60.04	4.47	Operaciones	I320CH045	Capacidad CH045
16	Faja CV004 Reversa Nivel Alto Chute	18-Mar-23 10:41:37	18-Mar-23 10:45:19	0:03:42	18-Mar-23 09:41:37	59.78	3.69	Operaciones	I320CH045	Capacidad CH045
17	Faja CV004 Reversa Nivel Alto Chute	18-Mar-23 12:42:33	18-Mar-23 12:46:31	0:03:58	18-Mar-23 11:42:33	42.00	8.28	Operaciones	I320CH045	Capacidad CH045
18	Faja CV004 Reversa Nivel Alto Chute	18-Mar-23 13:09:15	18-Mar-23 13:15:07	0:05:52	18-Mar-23 12:09:15	54.24	5.30	Operaciones	I320CH045	Capacidad CH045
19	Faja CV004 Reversa Nivel Alto Chute	18-Mar-23 13:18:18	18-Mar-23 13:23:19	0:04:02	18-Mar-23 12:18:18	57.93	3.89	Operaciones	I320CH045	Capacidad CH045
20	Faja CV004 Reversa Nivel Alto Chute	18-Mar-23 13:27:56	18-Mar-23 13:32:00	0:04:03	18-Mar-23 12:27:56	60.75	4.11	Operaciones	I320CH045	Capacidad CH045
21	Faja CV004 Reversa Nivel Alto Chute	18-Mar-23 13:35:58	18-Mar-23 13:39:05	0:03:07	18-Mar-23 12:35:58	61.56	3.20	Operaciones	I320CH045	Capacidad CH045
22	Faja CV004 Reversa Nivel Alto Chute	18-Mar-23 14:02:23	18-Mar-23 14:09:15	0:06:52	18-Mar-23 13:02:23	60.81	6.95	Operaciones	I320CH045	Capacidad CH045
23	Faja CV004 Reversa y Chancadora de Pebbles Funcionando	18-Mar-23 16:21:32	18-Mar-23 16:23:38	0:02:06	18-Mar-23 15:21:32	51.05	1.78			
24	Faja CV004 Reversa y Chancadora de Pebbles Detenida	18-Mar-23 16:23:38	18-Mar-23 16:29:14	0:05:37	18-Mar-23 15:23:38	51.20	4.79			
25	Faja CV004 Reversa y Chancadora de Pebbles Funcionando	18-Mar-23 16:29:14	18-Mar-23 16:33:20	0:04:05	18-Mar-23 15:29:14	50.88	3.47			
26	Faja CV004 Reversa y Chancadora de Pebbles Funcionando	18-Mar-23 16:48:38	18-Mar-23 16:49:19	0:00:42	18-Mar-23 15:48:38	50.77	0.59			
27	Faja CV004 Reversa y Chancadora de Pebbles Detenida	18-Mar-23 16:49:19	18-Mar-23 17:15:36	0:26:17	18-Mar-23 15:49:19	50.50	22.12			
28	Faja CV004 Reversa y Chancadora de Pebbles Funcionando	18-Mar-23 17:15:36	18-Mar-23 17:16:51	0:01:15	18-Mar-23 16:15:36	45.04	0.94			
29	Faja CV004 Reversa Nivel Alto Chute	18-Mar-23 18:28:55	18-Mar-23 18:43:26	0:14:31	18-Mar-23 17:28:55	58.55	14.17	Operaciones	I320CH045	Capacidad CH045
30	Faja CV004 Reversa Nivel Alto Chute	18-Mar-23 18:48:38	18-Mar-23 18:50:56	0:02:18	18-Mar-23 17:48:38	62.54	2.40	Operaciones	I320CH045	Capacidad CH045
31	Faja CV004 Reversa Nivel Alto Chute	18-Mar-23 18:58:41	18-Mar-23 18:59:55	0:01:14	18-Mar-23 17:58:41	62.18	1.27	Operaciones	I320CH045	Capacidad CH045
32	Faja CV004 Reversa Metal Detectado	18-Mar-23 19:03:57	18-Mar-23 19:05:19	0:01:22	18-Mar-23 18:03:57	62.46	1.43	Operaciones	I320CV005	Metal detectado en CV005
33	Faja CV004 Reversa Metal Detectado	18-Mar-23 19:18:26	18-Mar-23 19:21:16	0:02:50	18-Mar-23 18:18:26	64.63	3.05	Operaciones	I320CV005	Metal detectado en CV005
34	Faja CV004 Reversa Metal Detectado	18-Mar-23 19:46:16	18-Mar-23 19:50:40	0:04:24	18-Mar-23 18:46:16	58.04	4.26	Operaciones	I320CV005	Metal detectado en CV005
35	Faja CV004 Reversa Metal Detectado	18-Mar-23 19:54:47	18-Mar-23 19:58:28	0:03:41	18-Mar-23 18:54:47	57.44	3.52	Operaciones	I320CV005	Metal detectado en CV005
36	Faja CV004 Reversa Nivel Alto Chute	18-Mar-23 20:07:52	18-Mar-23 20:09:09	0:01:17	18-Mar-23 19:07:52	56.93	1.22	Operaciones	I320CH045	Capacidad CH045
37	Faja CV004 Reversa Nivel Alto Chute	18-Mar-23 20:13:07	18-Mar-23 20:14:42	0:01:34	18-Mar-23 19:13:07	57.13	1.50	Operaciones	I320CH045	Capacidad CH045
38	Faja CV004 Reversa Nivel Alto Chute	18-Mar-23 22:45:44	18-Mar-23 22:47:24	0:01:40	45003.90676	65.0336	1.8065	Operaciones	I320CH045	Capacidad CH045
39	Faja CV004 Reversa Nivel Alto Chute	19-Mar-23 00:18:32	19-Mar-23 00:19:40	0:01:08	45003.9712	68.4295	1.2970	Operaciones	I320CH045	Capacidad CH045
40	Faja CV004 Reversa y Chancadora de Pebbles Funcionando	19-Mar-23 03:06:16	19-Mar-23 03:12:36	0:06:20	45004.08768	60.2711	6.3620			
41	Faja CV004 Reversa y Chancadora de Pebbles Detenida	19-Mar-23 04:11:11	19-Mar-23 04:52:17	0:41:05	45004.13277	59.6158	40.8277			
42	Faja CV004 Reversa y Chancadora de Pebbles Funcionando	19-Mar-23 04:52:17	19-Mar-23 04:53:18	0:01:01	45004.16131	64.4791	1.1015			
43	Faja CV004 Reversa Nivel Alto Chute	19-Mar-23 05:07:12	19-Mar-23 05:14:31	0:07:19	45004.17167	69.6185	8.4848	Operaciones	I320CH045	Capacidad CH045

Anexo 6

Resultados de la toma de muestra, distribuido en subgrupos de acuerdo a las diciplinas circuito.

N °	Subgrupos			Rango (R)	Media (X)
	Operaciones	Mantenimiento correctivo	Mantenimiento preventivo		
1	0.365654825	0.770553999	18.04979527	17.68414045	1.719684944
2	1.574802228	1.094088414	18.04979527	16.95570686	3.144731518
3	0.871478043	0.933736255	18.04979527	17.17831723	2.448974806
4	0.678955572	48.49881975	18.04979527	47.81986418	8.407785091
5	0.506688776	48.49881975	2.698250954	47.99213097	4.047482048
6	2.580156273	1.408876028	15.79116377	14.38228774	3.857544778
7	0.28763352	0.0273186	23.50241026	23.47509166	0.569469031
8	1.389758768	2.978205447	18.53508	17.14532023	4.249092373
9	0.656229532	29.88342893	18.535079	29.22719939	7.136636008
10	2.770408635	29.88342893	0.400181858	29.48324707	3.21176592
11	1.102756468	29.88342893	17.80518476	28.78067246	8.371799955
12	5.975595979	29.88342893	17.80518476	23.90783295	14.704583
13	1.462779054	29.88342893	17.80518476	28.42064987	9.198532533
14	2.19511272	29.88342893	17.80518476	27.68831621	10.53120127
15	0.75836231	29.88342893	17.80518476	29.12506662	7.389548172
16	0.478935867	29.88342893	17.80518476	29.40449306	6.339934314
17	2.925191436	29.88342893	20.49915003	26.95823749	12.1461934
18	3.003868863	22.03421422	20.49915003	19.03034536	11.07060776
19	1.473526271	1.526697952	20.49915003	19.02562376	3.58604405
20	1.30131548	6.975690835	20.49915003	19.19783455	5.709111937
21	0.138600596	0.165483786	19.17222846	19.03362787	0.760438997
22	0.958226389	17.30471716	19.17222846	18.21400207	6.824985651
23	1.916995482	17.30471716	19.17222846	17.25523298	8.599754695
24	4.726809502	17.30471716	19.17222846	14.44541896	11.61809884
25	3.998295881	5.645231335	19.17222846	15.17393258	7.563853167
26	0.774026306	4.972495617	19.17222846	18.39820216	4.19437808
27	4.575476792	4.972495617	19.17222846	14.59675167	7.58393241
28	1.642329476	4.972495617	19.17222846	17.52989899	5.38975591
29	3.890362915	4.972495617	19.17222846	15.28186555	7.18476179
30	1.468495073	4.972495617	19.17222846	17.70373339	5.192460077
31	2.495217279	4.972495617	19.17222846	16.67701118	6.196100566
32	16.02636332	4.972495617	19.17222846	14.19973285	11.51756476
33	3.031981045	4.972495617	19.17222846	16.14024742	6.611872884
34	66.951196	4.969733105	19.17222846	61.98146289	18.54618839
35	1.698775089	4.972495617	19.17222846	17.47345338	5.450808981
36	1.59587498	4.972495617	19.17222846	17.57635348	5.338451361
37	1.447889221	4.972495617	19.17222846	17.72433924	5.168058804
38	0.88631159	4.972495617	19.17222846	18.28591687	4.388113084
39	3.462896595	4.972495617	19.17222846	15.70933187	6.911338688
40	0.239799739	4.972495617	19.17222846	18.93242873	2.838127511
41	1.005662431	4.972495617	19.17222846	18.16656603	4.576847166
42	1.385044261	4.972495617	19.17222846	17.7871842	5.092177718
43	0.532984288	4.972495617	19.17222868	18.63924439	3.703853542
44	0.920129854	4.972495617	19.17222868	18.25209882	4.443229138
45	1.310431883	4.972495617	19.17222868	17.8617968	4.999046236
46	7.488721871	4.972495617	19.17222868	14.19973306	8.937544906
47	3.953038238	4.972495617	19.17222868	15.21919044	7.223139597
48	2.188216317	4.972495617	19.17222868	16.98401236	5.930788278

49	1.59938543	4.972495617	19.17222846	17.57284303	5.342362829
50	4.060969653	4.972495617	19.17222846	15.11125881	7.288288961
51	1.141640415	4.972495617	19.17222846	18.03058805	4.774473052
52	1.401809902	4.972495617	19.17222846	17.77041856	5.112641913
53	1.516151519	16.79556443	19.17222846	17.65607695	7.874142464
54	2.500355592	0.954726223	19.17222846	18.21750224	3.576990125
55	0.72892535	17.28439761	19.17222846	18.44330311	6.227828329
56	0.703079435	17.28439761	19.17222846	18.46914903	6.153332922
57	48.4106484	37.67420832	19.17222846	29.23841994	32.70036071
58	2.651698427	17.28439761	19.17222846	16.52053004	9.578194643
59	0.100548516	17.28439761	19.17222846	19.07167995	3.217862646
60	0.168846464	0.265063668	19.17222846	19.003382	0.950250829
61	0.090674407	19.26489856	19.17222846	19.17422415	3.223354087
62	2.077656699	19.26489856	19.17222846	17.18724186	9.155267475
63	3.821167189	19.26489856	19.17222846	15.44373137	11.21704479
64	1.917406733	19.26489856	19.17222846	17.34749183	8.913559957
65	3.869838433	19.26489856	19.17222846	15.39506013	11.26446885
66	1.13083357	19.26489856	19.17222846	18.13406499	7.475025379
67	4.190838659	19.26489856	19.17222846	15.0740599	11.56769301
68	0.529106476	17.20033281	19.17222846	18.64312199	5.587928507
69	0.693601466	11.91288031	19.17222846	18.478627	5.410862014
70	0.467135668	11.91288031	19.17222846	18.7050928	4.742901815
71	1.359334049	11.91288031	19.17222846	17.81289442	6.771296897
72	0.468332597	11.91288031	19.17222846	18.70389587	4.746949231
73	2.711154456	11.91288031	19.17222846	16.46107401	8.523432865
74	1.754460461	11.91288031	19.17222846	17.417768	7.37243558
75	4.410714535	11.91288031	19.17222846	14.76151393	10.0245782
76	2.143695011	11.91288031	19.17222846	17.02853345	7.881655659
78	0.60282773	39.69172206	19.17222846	39.08889433	7.712382955
79	2.084461328	3.043094785	19.17222846	17.08776714	4.954433147
80	2.645417947	15.5812438	19.17222846	16.52681052	9.245342503
81	1.784445998	15.5812438	19.17222846	17.38778247	8.108229687
82	50.25208788	15.5812438	19.17222846	34.67084408	24.66851139
83	0.545797597	15.5812438	19.17222846	18.62643087	5.463053404
84	0.574483698	19.9294755	19.17222846	19.3549918	6.032287862
85	0.422932545	12.55890782	19.17222846	18.74929592	4.669802622
86	1.709550414	5.620870527	19.17222846	17.46267805	5.690092982
87	2.979989571	14.28007168	19.17222846	16.19223889	9.344137972
88	0.887289864	17.89791664	19.17222846	18.2849386	6.727394032
89	5.658417734	17.89791664	19.17222846	13.51381073	12.47546363
90	0.061586567	17.89791664	19.17222846	19.1106419	2.764736155
91	0.959077038	17.89791664	19.17222846	18.21315143	6.904138953
92	1.087058762	17.89791664	19.17222846	18.0851697	7.19851144
93	0.351998515	1.060518063	19.17222846	18.82022995	1.927127723
94	3.123083348	17.9661584	10.54599324	14.84307506	8.395413588
95	29.17602036	17.9661584	10.54599324	18.63002712	17.68165539
96	3.431584816	17.9661584	10.54599324	14.53457359	8.663216147
97	5.454441649	17.9661584	10.54599324	12.51171676	10.11030687
98	1.389354354	1.107490026	10.54599324	9.43850321	2.531707022
99	3.330798605	12.54967803	10.54599324	9.218879424	7.610668672
100	2.129809051	0.414017415	9.400108944	8.986091529	2.02378352
101	1.748786766	2.200774265	9.400108944	7.651322178	3.30736212

102	2.989792738	0.521849677	9.400108944	8.878259267	2.447784213
103	6.994222203	26.50530717	9.400108944	19.51108497	12.03377032
104	2.037536749	0.414103271	9.400108944	8.986005672	1.994262546
105	4.18763973	12.17005941	9.400108944	7.982419675	7.824650812
106	2.788211808	12.17005941	9.400108944	9.381847597	6.832565165
107	1.992652087	32.40204041	9.400108944	30.40938832	8.46666237
108	2.205183753	0.857314776	9.400108944	8.542794168	2.609592286
109	4.942316818	1.542056572	9.400108944	7.858052372	4.153248578
110	1.850953044	24.12990974	9.400108944	22.2789567	7.487922289
111	2.651984562	21.75948281	9.400108944	19.10749824	8.1555042
112	4.393191523	21.75948281	9.400108944	17.36629128	9.649849294
113	2.118039372	17.38304971	9.400108944	15.26501034	7.020978277
114	1.059227658	0.810124429	9.400108944	8.589984515	2.005509126
115	1.549243939	1.343516102	9.400108944	8.056592841	2.694626167
116	2.46	2.900642913	9.400108944	6.940108944	4.063067967
117	3.758754843	1.158735317	9.400108944	8.241373626	3.446569528
118	3.169985195	15.01728146	9.400108944	11.84729626	7.648808957
119	0.697030302	1.085553384	8.165945724	7.468915422	1.835001588
120	0.984940712	0.800485661	8.165945724	7.365460063	1.860330237
121	0.868039523	0.646154872	8.165945724	7.519790851	1.660711542
122	4.602711705	6.125464576	8.165945724	3.563234019	6.128954985
123	6.994222203	26.50530717	9.400108944	19.51108497	12.03377032
124	2.037536749	0.414103271	9.400108944	8.986005672	1.994262546
125	4.18763973	12.17005941	9.400108944	7.982419675	7.824650812
126	2.788211808	12.17005941	9.400108944	9.381847597	6.832565165
127	1.992652087	32.40204041	9.400108944	30.40938832	8.46666237
128	2.205183753	0.857314776	9.400108944	8.542794168	2.609592286
			Promedio	18.06153051	6.737448129

Anexo 7

Disponibilidad, utilización y eficiencia del circuito dentro de los 6 primeros meses de investigación.

Año	Fecha inicio	Fecha fin	Mes	Mantenimiento correctivo (horas)	Mantenimiento preventivo (horas)	Operaciones (horas)	Detención por mantenimiento (horas)	Detención por operaciones (horas)	Tiempo de operación (horas)	Total (horas)	Disponibilidad %	Utilización %	Eficiencia %
2023	1/10/2023 07:00	1/11/2023 07:00	Octubre-23	44:34:02	37:57:29	101:21:16	82:31:31	101:21:16	560:07:13	744:00:00	88.9	84.7	75.28
2023	1/11/2023 07:00	1/12/2023 07:00	Noviembre-23	97:24:04	190:18:54	70:18:12	287:42:58	70:18:12	361:58:50	720:00:00	60.0	83.7	50.28
2023	1/12/2023 07:00	1/01/2024 07:00	Diciembre-23	34:56:32	39:09:46	245:59:25	74:06:18	245:59:25	423:54:17	744:00:00	90.0	63.3	56.98
2024	1/01/2024 07:00	1/02/2024 07:00	Enero-24	66:05:41	13:58:24	245:59:25	80:04:06	245:59:25	417:56:30	744:00:00	89.2	62.9	56.17
2024	1/02/2024 07:00	1/03/2024 07:00	Febrero-24	60:16:53	12:28:35	117:45:49	72:45:28	117:45:49	505:28:43	696:00:00	89.5	81.1	72.63
2024	1/03/2024 07:00	1/04/2024 07:00	Marzo-24	63:33:44	4:03:49	112:37:35	67:37:33	112:37:35	563:44:51	744:00:00	90.9	83.3	75.77

Anexo 8

Resultados de la toma de muestra después de las mejoras, distribuido en subgrupos de acuerdo a las disciplinas circuito

N°	Subgrupos			Rango (R)	Media (X)
	Operaciones	Mantenimiento correctivo	Mantenimiento preventivo		
1	39.49682934	0.29946854	1.575961082	39.1973608	2.651467505
2	0.229667755	7.721700879	7.460295304	7.492033124	2.365137202
3	1.068391873	0.303865164	12.31745651	12.01359134	1.58724576
4	1.715170544	0.844110461	7.460295304	6.616184844	2.21048482
5	0.687321188	4.984226288	10.76875464	10.08143345	3.328952936
6	1.045906195	4.984226288	10.76875464	9.722848442	3.828999617
7	1.190210968	4.984226288	12.59114652	11.40093555	4.211424239
8	2.851575314	4.984226288	12.89832122	10.0467459	5.68074457
9	32.05558062	4.984226288	9.601137585	27.07135433	11.53297536
10	18.50013459	4.984226288	12.31745651	13.5159083	10.43352895
11	2.407606504	4.984226288	7.460295304	5.052688801	4.473489538
12	1.398364043	4.984226288	12.31745651	10.91909246	4.411432913
13	3.680771151	4.984226288	12.89832122	9.217550066	6.185240421
14	0.835067557	4.984226288	7.460295304	6.625227747	3.143101896
15	2.292763757	4.984226288	9.025732437	6.732968681	4.689715582
16	2.76568984	4.984226288	0.05255252	4.931673769	0.898114255
17	1.344532316	4.984226288	7.460295304	6.115762988	3.68390429
18	59.64188259	4.984226288	8.778177562	54.6576563	13.76737532
19	2.651109786	4.984226288	12.31745651	9.66634672	5.459868303
20	1.336793392	4.984226288	12.89832122	11.56152782	4.412977806
21	1.108184197	4.984226288	7.460295304	6.352111107	3.453996615
22	1.860733063	4.984226288	12.31745651	10.45672344	4.852150778
23	0.620114538	4.984226288	9.660652135	9.040537597	3.102358886
24	0.058369601	4.984226288	12.89832122	12.83995162	1.5539578
25	1.219806032	4.984226288	12.31745651	11.09765047	4.215054443
26	2.905023746	4.984226288	9.601137585	6.696113839	5.180321462
27	4.515646126	4.984226288	12.31745651	7.80181038	6.52047994
28	2.005723375	4.984226288	9.660652135	7.654928761	4.58801762
29	1.219726074	4.984226288	8.778177562	7.558451488	3.764911803
30	4.835224832	4.984226288	7.668531367	2.833306534	5.696072927
31	23.43184021	4.984226288	10.76875464	18.44761393	10.79418549
32	9.009087561	4.984226288	12.31745651	7.333230217	8.208551594
33	2.283424037	4.984226288	12.31745651	10.03403247	5.194795462
34	30.79297396	4.984226288	8.778177562	25.80874767	11.04463198
35	20.08498496	4.984226288	12.31745651	15.10075868	10.72334059
36	1.475194041	4.984226288	8.778177562	7.302983521	4.011287166
37	4.280019271	4.984226288	10.76875464	6.488735366	6.12448609
38	29.80192907	4.984226288	7.460295304	24.81770278	10.34822943
39	2.637095419	4.984226288	8.778177562	6.141082143	4.868284898
40	1.090137403	4.984226288	4.548083161	3.894088886	2.912744984
41	3.30743599	4.984226288	12.31745651	9.010020516	5.877645817
42	12.01590426	4.984226288	0.267251055	11.74865321	2.520139296
43	2.740681305	4.984226288	12.89832122	10.15763991	5.606129932
44	19.90566705	4.984226288	12.89832122	14.92144076	10.85681802
45	1.698794228	4.984226288	9.660652135	7.961857907	4.340918753
46	1.164378941	4.984226288	7.668531367	6.504152426	3.543790971
47	39.48459505	4.984226288	12.89832122	34.50036876	13.64120941
48	4.913453138	4.984226288	12.89832122	7.984868078	6.810399461

49	2.643916088	4.984226288	9.601137585	6.957221497	5.020219474
50	6.102485984	4.984226288	10.76875464	5.784528349	6.893239077
51	3.081552458	4.984226288	12.31745651	9.235904048	5.740672674
52	0.432313613	4.984226288	12.85704333	12.42472972	3.025839746
53	1.612180694	4.984226288	12.31745651	10.70527581	4.62570041
54	14.42382116	4.984226288	8.672596563	9.439594868	8.542973807
55	0.102607423	4.984226288	1.367342188	4.881618865	0.887601272
56	2.653538119	4.984226288	8.672596563	6.019058445	4.85874465
57	1.594807188	4.984226288	7.858421065	6.263613877	3.967775369
58	3.916838136	4.984226288	7.460295304	3.543457168	5.261341176
59	38.73150836	4.984226288	12.31745651	33.74728208	13.34733005
60	1.029735673	4.984226288	9.660652135	8.630916462	3.673753261
61	3.243463689	4.984226288	9.660652135	6.417188446	5.385231928
62	34.77889666	4.984226288	7.858421065	29.79467037	11.08535525
63	2.771360745	4.984226288	8.778177562	6.006816817	4.949542503
64	1.952084752	4.984226288	9.660652135	7.708567383	4.546748738
65	3.930991526	4.984226288	12.89832122	8.96732969	6.322337598
66	18.20129199	4.984226288	7.668531367	13.2170657	8.860754871
67	0.700518203	4.984226288	7.460295304	6.759777102	2.964315319
68	1.834170324	4.984226288	0.916145761	4.068080528	2.03080082
69	4.225074632	4.984226288	12.31745651	8.092381873	6.377508673
70	2.999490549	4.984226288	0.138828338	4.84539795	1.275580264
71	4.159818869	4.984226288	12.31745651	8.157637636	6.34450489
72	30.48385509	4.984226288	12.31745651	25.4996288	12.32337202
73	5.395482447	4.984226288	12.89832122	7.914094928	7.026198385
74	2.051967615	4.984226288	12.31745651	10.26548889	5.012985292
75	2.081545572	4.984226288	8.778177562	6.69663199	4.499138323
76	1.60467297	4.984226288	8.672596563	7.067923593	4.108763502
78	4.113062958	4.984226288	9.601137585	5.488074627	5.81694915
79	42.0706597	4.984226288	12.31745651	37.08643341	13.72037675
80	1.312223155	4.984226288	9.660652135	8.34842898	3.982941835
81	0.018508412	4.984226288	7.668531367	7.650022954	0.891031461
82	2.264350727	4.984226288	12.89832122	10.63397049	5.260474002
83	10.3950833	4.984226288	12.89832122	7.914094928	8.742848869
84	2.85775302	4.984226288	10.87431721	8.01656419	5.370418708
85	3.262246878	4.984226288	7.858421065	4.596174187	5.036744919
86	4.089466362	4.984226288	9.025732437	4.936266075	5.687424121
87	26.64304515	4.984226288	9.025732437	21.65881886	10.62236831
88	6.286935264	4.984226288	7.668531367	2.684305078	6.217030234
89	0.918106401	4.984226288	9.660652135	8.742545734	3.535892642
90	2.083690373	4.984226288	8.672596563	6.588906191	4.482566009
91	8.253208581	4.984226288	12.31745651	7.333230217	7.972243161
92	2.817143548	4.984226288	9.660652135	6.843508588	5.13812175
93	3.440067023	4.984226288	9.025732437	5.585665414	5.368863596
			Promedio	11.2162008	5.77927125

Anexo 9

Charlas de feedback



Reuniones para charla de feedback

(Guardia A)



Reuniones para charla de feedback

(Guardia A)

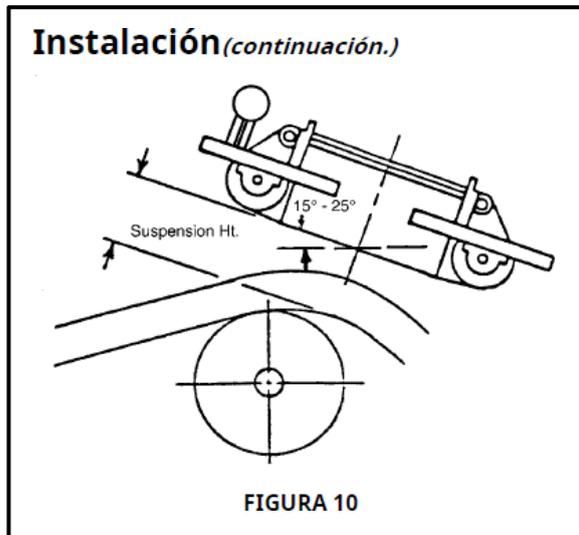


Reuniones para charla de feedback

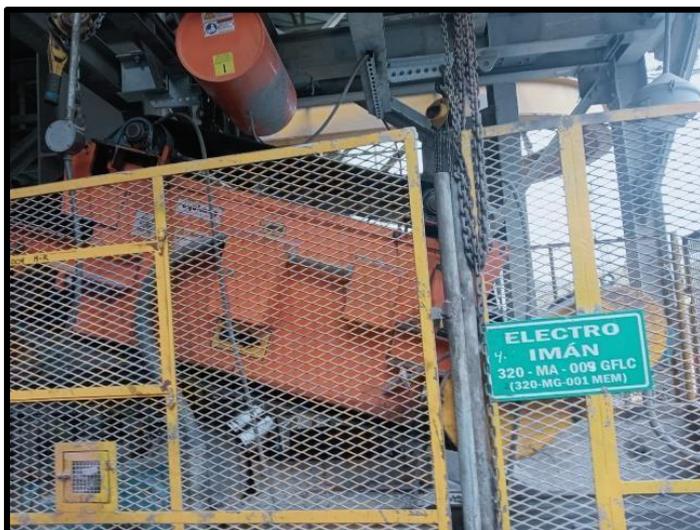
(Guardia B)

Anexo 10

Instalación del magneto Eriez 220 (M004)



Esquema de instalación de electroimán Eriez 220



Magneto Eriez 220 instalado (vista lateral izquierda)



Magneto Eriez 220 instalado (vista lateral derecha)

Anexo 11

Cambio de chancadora SP200 a HP200e



Chancadora SP 200



Retiro de chancadora SP 200



Chancadora HP 200e instalada

(Vista de arriba)



Chancadora HP 200e

(Vista de frente)



Pantalla de control de chancadora

HP 200e

Anexo 12

Base de datos con PI System

Administrador Sergio Alejandro Leon Leyva

Gestión de eventos

Gestión de Eventos: Turno Actual 07/05/2023 07:00:00 - 07/11/2023 19:00:00 Guardar todos los Eventos

10 filas Visualizar Columna Detenciones por Subproceso Detenciones por Equipo Exportar

Imputación	Nombre	Inicio	Fin	Dur.	Equipo Crítico	Equipo Causa	Clasificación	Subclasificación
Indeterminada	Detención - APC Molienda - 2023-07-07 01:31:50,236	07/07/2023 01:31:50	07/07/2023 01:37:04	0.08722	APC Molienda			CAMBIO DE LIN
Indeterminada	Detención - APC Molienda - 2023-07-07 02:40:20,260	07/07/2023 02:40:20	07/07/2023 02:48:34	0.13722	APC Molienda	Magneto 02		SE DETUVO EL A
Demora Operacional	Detención - APC Molienda - 2023-07-07 23:50:05,268	07/07/2023 23:50:05	07/07/2023 23:59:04	0.14972	APC Molienda			PARA ARRANCA
Stand By	Detención - Chancadora CR006 - 2023-07-06 16:11:58,568	06/07/2023 16:11:58	07/06/2023 17:15:24	697.057	Chancadora CR006	Chancadora CR006	Stand By	-
Indeterminada	Detención -	07/07/2023 03:59:53	07/07/2023 04:54:09					

Exportar Eventos

Imputación	Inicio	Fin	Dur.	Turno	Equipo Crítico	Equipo Causa	Clasificación	Subclasificación
	07/07/2023 01:31:50	07/07/2023 01:37:04	0.08722	Turno B	APC Molienda			
	07/07/2023 02:40:20	07/07/2023 02:48:34	0.13722	Turno B	APC Molienda	Magneto 02		
Demora Operacional	07/07/2023 23:50:05	07/07/2023 23:59:04	0.14972	Turno B	APC Molienda			
Stand By	06/07/2023 16:11:58	07/06/2023 17:15:24	697.057	Turno A	Chancadora CR006	Chancadora CR006	Stand By	
	07/07/2023 03:59:53	07/07/2023 04:54:09	0.90444	Turno B	Chancadora CR006	Chancadora CR006		
Demora Operacional	07/07/2023 08:44:05	07/07/2023 08:56:03	0.19944	Turno A	Chancadora CR006	Chancadora CR006	Regulación Setting	Regulación Setting
Mantenimiento	07/07/2023 16:01:11	07/07/2023 16:34:39	0.55777	Turno A	Chancadora CR006	Chancadora CR006	Mantenimiento no Programado	
Mantenimiento	07/07/2023 16:36:15	07/07/2023 16:51:07	0.24777	Turno A	Chancadora CR006	Chancadora CR006	Mantenimiento no Programado	
	07/07/2023 20:51:13	07/07/2023 20:58:10	0.11583	Turno B	Chancadora CR006	Chancadora CR006		
	07/11/2023 16:04:42	07/11/2023 16:54:46	0.83429	Turno A	Chancadora CR006			
Stand By	05/07/2023 15:42:03	07/05/2023 22:21:15	1422.65	Turno A	Chancadora CR007	Faja CV001	Stand By	
	07/07/2023 01:34:16	07/07/2023 09:10:38	7.60611	Turno B	Chancadora CR007			
	06/07/2023 01:45:31	07/06/2023 06:59:16	701.229	Turno B	Chancadora CR008			
Mantenimiento	07/06/2023 07:27:52	07/07/2023 01:09:01	17.6858	Turno A	Chancadora CR008		Mantenimiento Programado	Mantenimiento Program
	07/07/2023 01:14:11	07/07/2023 01:30:00	0.26361	Turno B	Chancadora CR008			
Stand By	07/07/2023 09:27:16	07/07/2023 23:43:16	14.2666	Turno A	Chancadora CR008		Stand By	Stand By
Demora Operacional	05/07/2023 15:41:37	07/05/2023 22:22:02	1422.67	Turno A	Faja CV001	Faja CV001	Detención Faja	
	07/07/2023 01:33:48	07/07/2023 09:17:23	7.72638	Turno B	Faja CV001	Faja CV001		
Demora Operacional	06/07/2023 01:45:14	07/06/2023 07:00:07	701.248	Turno B	Faja CV002	Faja CV002		
Demora Operacional	07/06/2023 07:27:22	07/07/2023 01:09:36	17.7038	Turno A	Faja CV002	Faja CV002		
	07/07/2023 01:13:40	07/07/2023 01:31:01	0.28916	Turno B	Faja CV002	Faja CV002		
	07/07/2023 02:39:42	07/07/2023 02:41:59	0.03805	Turno B	Faja CV002	Faja CV002		
Stand By	07/07/2023 09:26:52	07/07/2023 23:43:54	14.2838	Turno A	Faja CV002	Faja CV002	Stand By	Stand By
Mantenimiento	07/06/2023 09:09:22	07/07/2023 01:16:39	16.1213	Turno A	Falcon FC001		Mantenimiento Programado	Mantenimiento Program
	07/07/2023 21:32:44	07/07/2023 21:56:54	0.40277	Turno B	Falcon FC001			
	07/07/2023 22:20:25	07/07/2023 22:44:36	0.40305	Turno B	Falcon FC001			



Accumulated availability



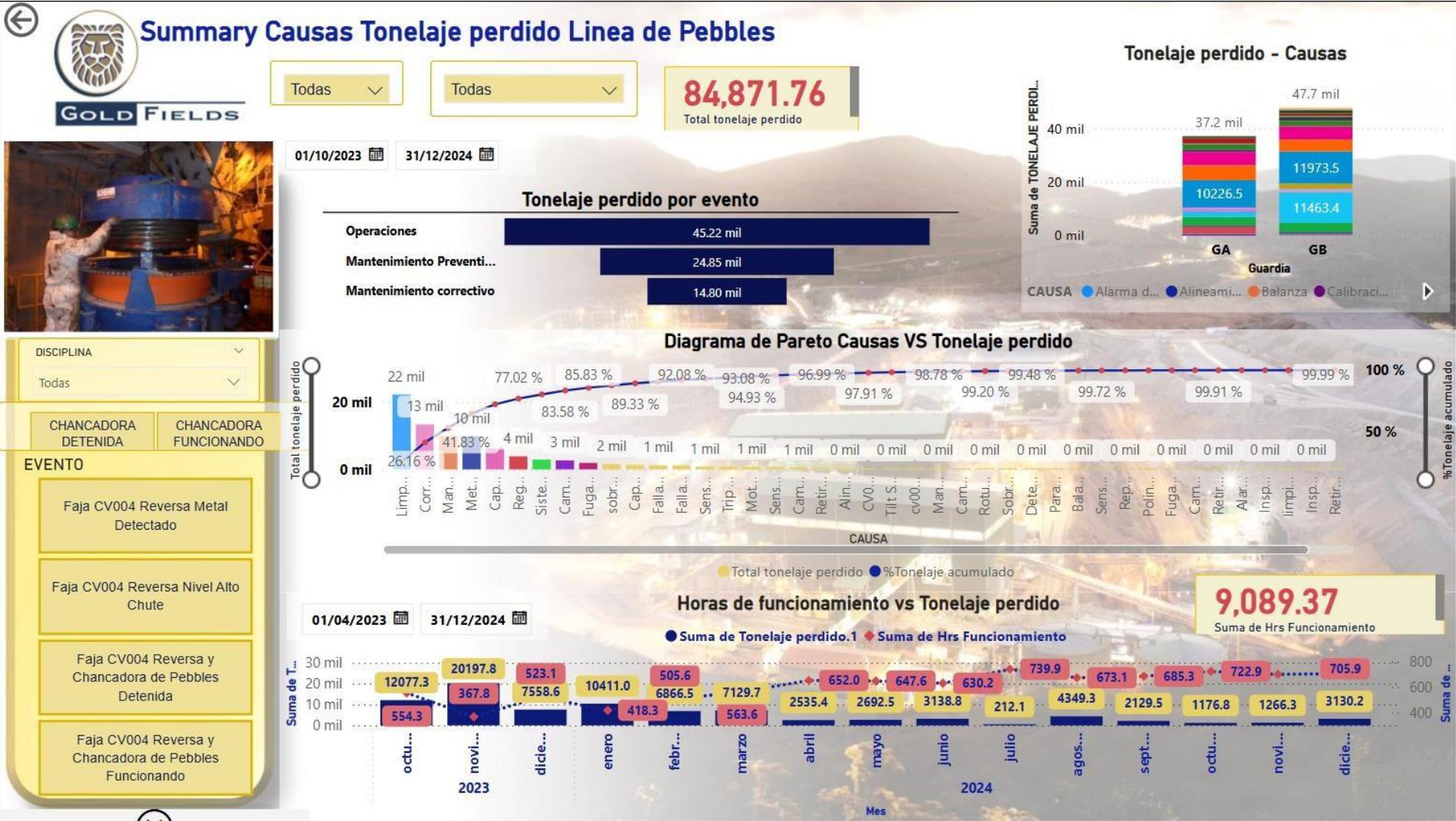
Comentarios

Cuadro De Tiempos De Parada De Planta

#	Mes	DIASxMES FISCAL	MANTTO. (HR)	OPERAC. (HR)	BUDGET (HR)	DISP %	UTILIZ %	DISPO % BUDGET	ACTUAL / FORECAST	DELTA (HRS)	ACTUAL / FORECAST	Disp Acumulado	Util. Acumulado	Disp Budget Acumulado	Disp Acumulado	Util. Acumulado
1	Enero	35	6.65	81.27	0	99.21 %	89.53%	100%	0	0	0	99.21	89.53	100	100	90.33
2	Febrero	28	0		0	100 %	100%	100%	0	0	0	99.56	94.19	100	100	94.63
3	Marzo	28	0		0	100 %	100%	100%	0	0	0	99.7	95.97	100	100	96.28
4	Abril	35	0		0	100 %	100%	100%	0	0	0	99.78	97.09	100	100	97.31
5	Mayo	28	0		0	100 %	100%	100%	0	0	0	99.82	97.62	100	100	97.8
6	Junio	28	0		0	100 %	100%	100%	0	0	0	99.85	97.99	100	100	98.14
7	Julio	35	0		0	100 %	100%	100%	0	0	0	99.87	98.31	100	100	98.44
8	Agosto	28	0		0	100 %	100%	100%	0	0	0	99.89	98.5	100	100	98.62
9	Septiembre	35	0		0	100 %	100%	100%	0	0	0	99.9	98.69	100	100	98.79
10	Octubre	28	0		0	100 %	100%	100%	0	0	0	99.91	98.81	100	100	98.9
11	Noviembre	28	0		0	100 %	100%	100%	0	0	0	99.92	98.91	100	100	98.99
12	Diciembre	28	0		0	100 %	100%	100%	0	0	0	99.92	98.99	100	100	99.07
Total		364	6.65	81.27	0.0	99.92%	98.99%	100.0%	0.0							
			87.92	0.0												

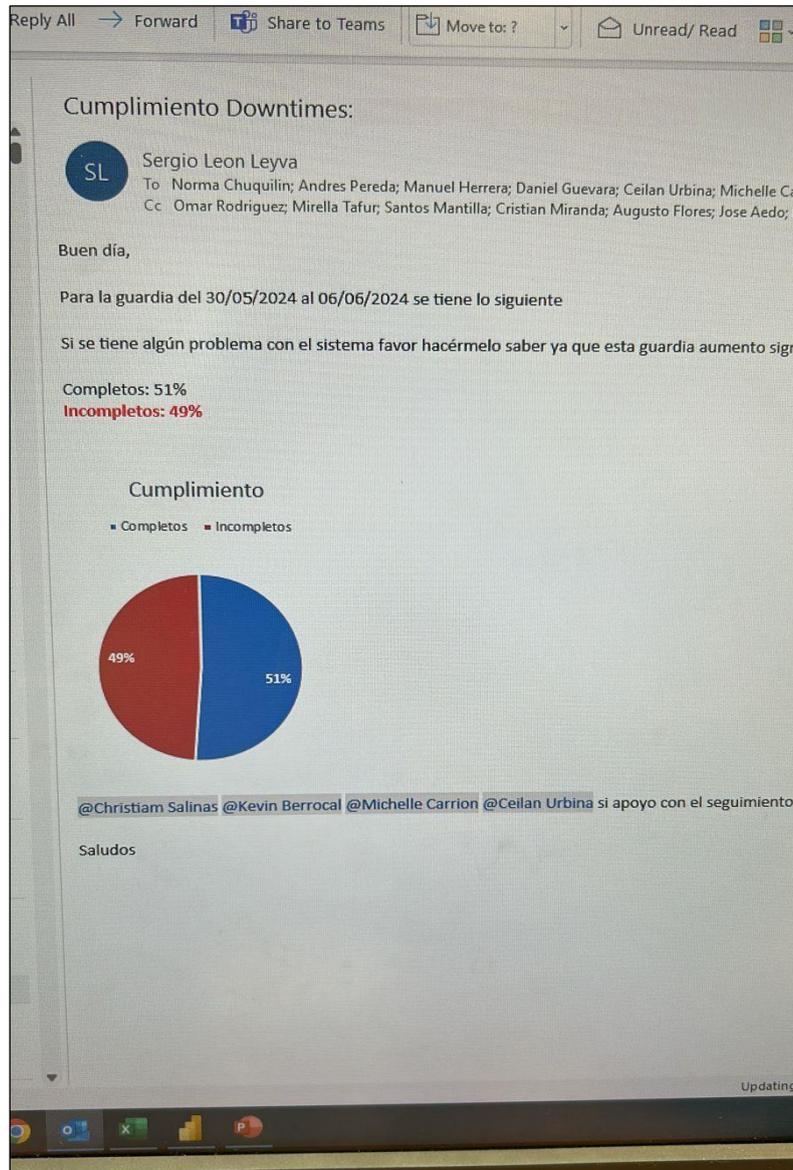
Cuadro De Promedios y Proyecciones

	Disp %	Utiliz %	Dispo % BUDGET
PROMEDIO A LA FECHA DE ACTUALIZACIÓN%	99.92%	98.99%	100.0%
PROYECCIÓN FORECAST A FIN DE AÑO%	100.0%	99.07%	100.0%



Anexo 13

Reuniones entre áreas



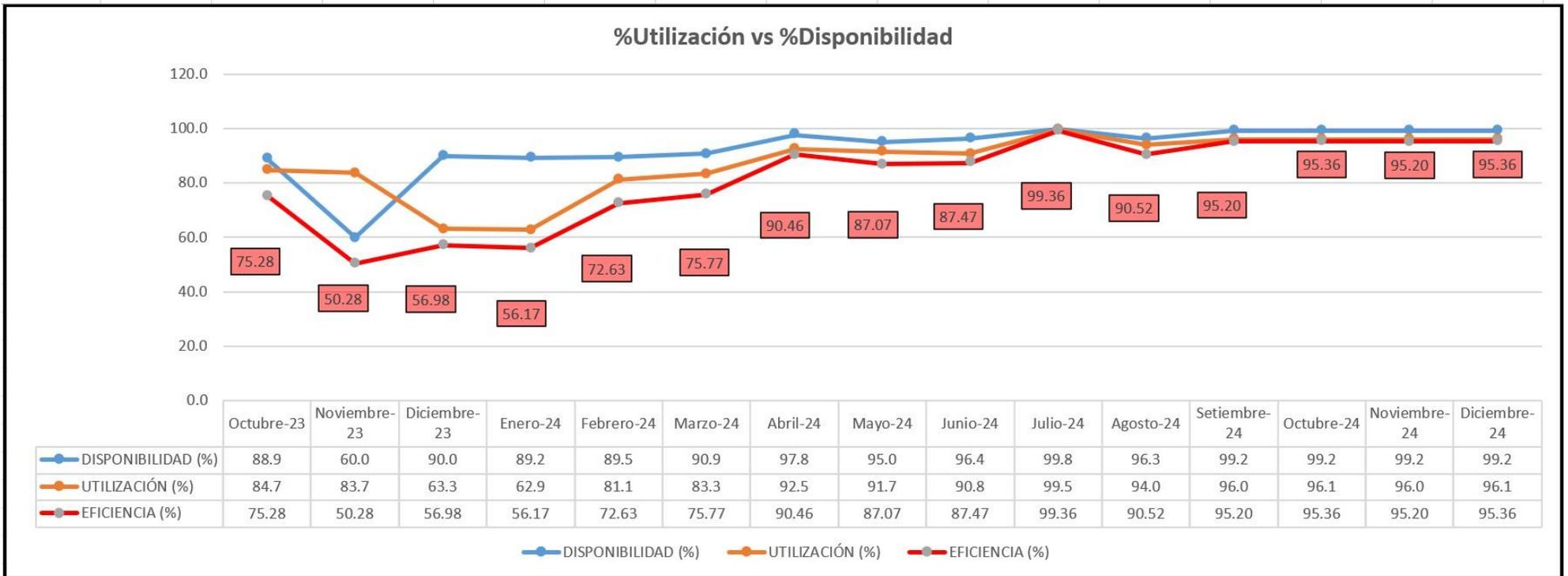
Anexo 14

Disponibilidad utilización y eficiencia del circuito, tomados 6 meses después de las mejoras.

Año	Fecha inicio	Fecha fin	Mes	Mantenimiento correctivo (horas)	Mantenimiento preventivo (horas)	Operaciones (horas)	Detención por mantenimiento (horas)	Detención por operaciones (horas)	Tiempo de operación (horas)	Total (horas)	Disponibilidad %	Utilización %	Eficiencia %
2024	1/07/2024 07:00	1/08/2024 07:00	Julio-24	0:00:00	1:14:23	3:29:42	1:14:23	3:29:42	739:15:55	744:00:00	99.8	99.5	99.36
2024	1/08/2024 07:00	1/09/2024 07:00	Agosto-24	3:26:42	23:44:47	43:19:13	27:11:29	43:19:13	673:29:19	744:00:00	96.3	94.0	90.52
2024	1/09/2024 07:00	1/10/2024 07:00	Setiembre-24	5:47:13	0:02:43	28:42:21	5:49:56	28:42:21	685:27:42	720:00:00	99.2	96.0	95.20
2024	1/10/2024 07:00	1/11/2024 07:00	Octubre-24	5:47:13	0:02:43	28:42:21	5:49:56	28:42:21	709:27:42	744:00:00	99.2	96.1	95.36
2024	1/11/2024 07:00	1/12/2024 07:00	Noviembre-24	5:47:13	0:02:43	28:42:21	5:49:56	28:42:21	685:27:42	720:00:00	99.2	96.0	95.20
2024	1/12/2024 07:00	1/01/2025 07:00	Diciembre-24	5:47:13	0:02:43	28:42:21	5:49:56	28:42:21	709:27:42	744:00:00	99.2	96.1	95.36

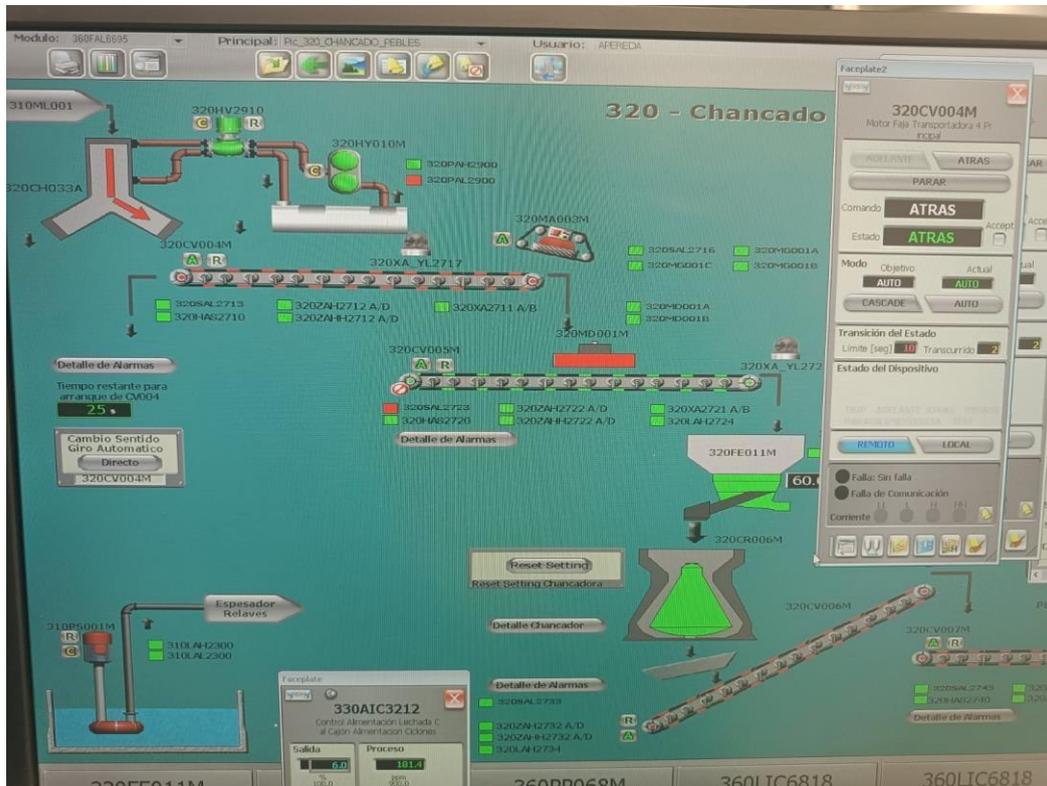
Anexo 15

% Utilización vs % Disponibilidad vs Eficiencia



Anexo 16

Diagrama de flujo del circuito de pebbles obtenido del sistema Delta V



Manual de instalación y operación de Electroimán (Magneto) Eriez 220

SM-323R

Instalación, Operación y Mantenimiento Instrucciones



Suspendido electroimanes

ERIEZ MAGNETICS SEDE CENTRAL: 2300 ASBURY ROAD, 8916, PA. (508)-440-8810
AUTORIDAD MUNDIAL EN TECNOLOGÍA AVANZADA PARA APLICACIONES MAGNÉTICAS, VIBRATORIAS Y DE INSPECCIÓN

Electroimanes suspendidos

Tabla de contenido ELECTROIMANES SUSPENDIDOS ERIEZ

ADVERTENCIA 4
 DESCRIPCIÓN 5
 INSTALACIÓN
 General 6
 Posiciones de los imanes 6
 Altura de la suspensión 7
 Profundidad de carga 7
 Pautas para la instalación de imanes 7
 Cableado 9
 OPERACIÓN 10
 MANTENIMIENTO
 Modelos de limpieza manual 10
 Modelos autolimpiables 10
 HOJA DE DATOS DE SOLUCIÓN DE PROBLEMAS DEL RECTIFICADOR 12
 Solución de problemas
 General 13
 Guía de ajuste para unidades de limpieza manual 14
 Guía de ajuste para unidades autolimpiables 14
 Par de apriete del perno 14
 Tabla de tamaños de conductores de cobre 15

Electroimanes suspendidos



Introducción

Este manual se aplica a los dos tipos básicos de electroimanes suspendidos de Eriez: Magneto: refrigerados por aceite y refrigerados por aire. Las pequeñas diferencias en los procedimientos de instalación y mantenimiento de estos imanes se detallan en el texto.

Una lectura atenta de estas instrucciones de instalación, operación y mantenimiento garantizará el rendimiento más eficiente y confiable de su imán.

Si tiene alguna pregunta o comentario sobre el manual, llame a Eriez Manufacturing al 614/835-6000 para obtener ayuda.

PRECAUCIÓN - IMÁN FUERTE

Este equipo incluye uno o más circuitos magnéticos extremadamente potentes. El campo magnético puede ser mucho más intenso que el campo magnético terrestre a una distancia varias veces mayor que la dimensión del equipo.

• Si utiliza un marcapasos o un dispositivo similar, nunca debe acercarse al equipo porque su dispositivo puede funcionar mal en el campo magnético, con consecuencias que pueden incluir la muerte.

• Para evitar lesiones graves por atrapamiento causadas por objetos atraídos por el imán, mantenga todos los objetos de acero y hierro alejados del equipo. No permita que las manos, los dedos ni otras partes del cuerpo queden atrapados entre el equipo y la pieza de trabajo que se está levantando.

• Mantenga las tarjetas de crédito, los discos de computadora y otros dispositivos de almacenamiento magnético lejos del equipo porque la información almacenada magnéticamente puede corromperse por el campo magnético.

• Mantenga los dispositivos electrónicos, como computadores o monitores, lejos del equipo porque la exposición al campo magnético puede provocar un mal funcionamiento o daños permanentes a dichos dispositivos.

Comuníquese con Eriez si tiene alguna pregunta sobre estas precauciones.

PRECAUCIÓN

Este producto debe tener etiquetas de seguridad. Si las etiquetas de seguridad están dañadas, sueltas o se han retirado, contacte con Eriez para reemplazarlas.

© 2011 ERIEZ MAGNETICS

Advertencia

Los electroimanes suspendidos con correas autolimpiables suelen instalarse sobre las cintas transportadoras, lejos de las zonas de trabajo del personal. Eriez no tiene control sobre esta ubicación ni sobre las áreas adyacentes.

En determinadas condiciones puede ser necesario que el usuario instale dispositivos de seguridad adicionales para proteger al personal operativo.

Los electroimanes suspendidos con correas autolimpiables presentan puntos de pinzamiento donde la correa pasa por las poleas. Cuando la correa está en funcionamiento, está en una zona peligrosa. Se debe indicar a los trabajadores que no realicen tareas en este equipo a menos que esté apagado y la fuente de alimentación eléctrica bloqueada.

Al activarse un electroimán autolimpiable o de limpieza manual, los trabajadores nunca deben introducir partes del cuerpo en la zona del campo magnético entre la cinta transportadora y la cara del imán. Los fragmentos de hierro serán atraídos repentinamente e inesperadamente por el imán, lo que podría inmovilizar un brazo, etc., con suficiente fuerza como para causar lesiones graves.

Las placas y calcomanías de advertencia y precaución del imán no deben retirarse ni pintarse encima. Es importante que estas advertencias y precauciones sean legibles y se respeten. Tenga en cuenta la advertencia sobre el campo magnético que aparece al frente de este documento.

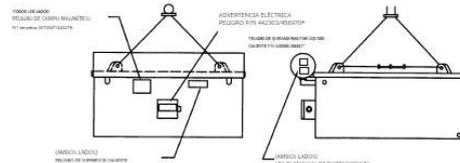


FIGURA 1

Ubicación de las calcomanías de seguridad: modelos de limpieza manual
* Ver etiquetas de idioma

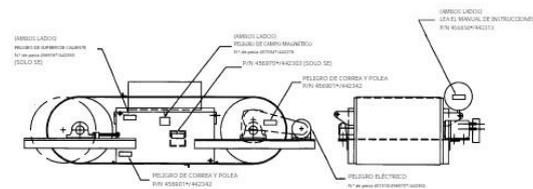


FIGURA 2

Ubicación de las calcomanías de seguridad: modelos autolimpiables



Descripción

Los electroimanes suspendidos son separadores de alta resistencia alimentados por CC, diseñados para usarse sobre un lecho móvil de material del que se extrae el hierro. Básicamente, son unidades con forma de caja con bobinas en su interior que generan un potente campo magnético.

Hay dos tipos básicos disponibles: refrigerados por aceite y refrigerados por aire. Ambos tipos están disponibles como unidades manuales o autolimpiables. Cada tipo tiene dos estilos, en línea y de banda cruzada, para adaptarse a los requisitos de instalación. Existe una amplia gama de tamaños disponibles para cada tipo y estilo.

Los imanes de limpieza manual están diseñados para usarse donde se sospecha la presencia de pequeñas cantidades de hierro. Generalmente, se suministran con una eslinga de cable ajustable diseñada para una suspensión de un punto.

Con los imanes de limpieza manual, es necesario desconectar la alimentación periódicamente para descargar el hierro residual acumulado. Las unidades de limpieza manual pueden instalarse sobre la polea principal o sobre el transportador.

Los imanes autolimpiables constan de una unidad de limpieza manual con una cinta transportadora corta a su alrededor para la descarga automática de partículas de hierro. Estos imanes, generalmente equipados con tensores para suspensión en cuatro puntos, también pueden utilizarse sobre la polea principal o sobre la cinta transportadora.



FIGURA 3
Autolimpieza típica refrigerada por aceite, electroimán suspendido



FIGURA 4
Limpieza manual típica refrigerada por aceite, electroimán suspendido

Electroimanes suspendidos



5

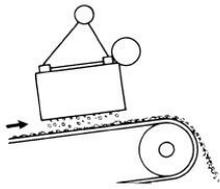


FIGURA 7
Posición de limpieza manual 2

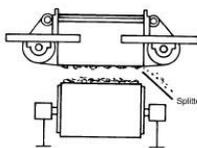


FIGURA 8
Posición de autolimpieza 2

ALTURA DE LA SUSPENSIÓN

Cada tamaño de imán está diseñado para una altura de suspensión específica. Esta distancia (véase la figura 9) se mide desde la cara del imán hasta la cinta transportadora del producto.



FIGURA 9
La correa debe tener una separación de 2,5 a 3 cm en las esquinas del imán. Los imanes más grandes pueden presentar una holgura en el centro, hasta 3" (76 mm).

La altura de suspensión especificada debe considerarse máxima y el imán debe bajarse lo más cerca posible de la carga real. Al bajar el imán hasta la carga, asegúrese de que no se produzca un arado del material. Si la unidad es un imán autolimpiable, asegúrese de que la banda separadora tenga espacio suficiente para funcionar y descargar correctamente las partículas de hierro. Una distancia de 75 mm (3") entre el imán y la banda y la parte superior de la carga es típica para las unidades autolimpiables; esta distancia puede reducirse a 50 mm (2") para las manuales.

Unidades de limpieza.

PROFUNDIDAD DE LA CARGA

El mejor rendimiento del separador se logra controlando la profundidad de la carga. Un arado o nivelador colocado encima del transportador y antes del imán ayudará a nivelar los puntos altos o las sobrecargas en las instalaciones de Posición 2. Para las instalaciones de Posición 1, la ubicación recomendada se calcula según el tonelaje previsto. Cualquier variación en esta velocidad altera la trayectoria de la carga con respecto a la superficie de trabajo del imán y puede resultar en una separación deficiente.

DIRECCIONES PARA LA INSTALACIÓN DEL IMANES

Generalmente, se dispone de suficientes datos de aplicación para preparar un plano de instalación que muestre la ubicación del imán que permitirá una óptima eliminación de partículas de hierro. Sin embargo, en aquellos casos en que no se disponga de suficiente información para preparar un plano, las siguientes directrices pueden ser útiles. Seguir estas directrices no necesariamente resultará en una ubicación ideal del imán, pero a medida que se aproximan más a estas condiciones, se mejorará el rendimiento. Es importante prever el ajuste de la posición del imán para que se puedan obtener resultados óptimos en las condiciones de funcionamiento reales.

Posición 1 montaje - imán sobre la polea del cabezal del transportador.

Determine dónde se encuentra el punto más alto de la trayectoria del material y coloque el imán de modo que la cara esté 50 mm (2") si se trata de un imán de limpieza manual y 75 mm (3") si la unidad es autolimpiable, por encima del material, y la línea central del imán pase por el punto más alto de la trayectoria. Véase la figura 10.

Instalación

General

Tenga cuidado al desembalar el equipo para evitar dañarlo.

Revise el área donde se instalará el imán para detectar material magnético. Todo material magnético dentro del campo magnético (91 cm o más, según el tamaño del imán) se inducirá y tenderá a atraer hierro.

Para modelos refrigerados por aceite: Asegúrese de que el imán esté correctamente orientado. En todos los instaladores, la cámara de expansión de aceite exterior debe estar perpendicular a la dirección del flujo de material y en el lado de alta presión si se instala en ángulo. Los imanes con tanques de expansión ajustables deben colocarse de manera que el drenaje esté a las 6 en punto. (Ver página 9).

Revise la válvula de alivio de presión, ubicada en el extremo superior de la cámara de expansión de aceite, para asegurarse de que funcione libremente. Esto se hace tirando del vástago y sosteniendo. Está accionada por resorte y se reacomodará automáticamente al soltarse.

POSICIONES DEL IMÁN

Posición 1 (en línea)

La instalación preferida de un imán suspendido es sobre la trayectoria del material descargado de la cinta transportadora. Esto se conoce como POSICIÓN 1 (véanse las figuras 5 y 6).

Para una separación óptima en instalaciones de Posición 1, se deben tomar medidas para ajustar la ubicación del imán para adaptarse a la trayectoria del material.

Para las instalaciones de Posición 1 con velocidades de cinta transportadora inferiores a 350 pies por minuto (107 m/min), se logrará una mayor separación utilizando una polea de cabeza no magnética.

Si se instala una unidad autolimpiable, revise el área para asegurarse de que la banda autolimpiable alrededor del separador tenga suficiente espacio para funcionar correctamente y de que se hayan tomado las medidas necesarias para recoger el hierro residual descargado. Se requerirá un divisor no magnético con bisagra y longitud ajustable para evitar que el hierro residual extraído vuelva a entrar en el producto.

Coloque el imán de modo que la cara de la banda esté aproximadamente a 50 mm (2") de la trayectoria del material que se está descargando. El eje central del imán debe ser aproximadamente perpendicular al material en ese punto.

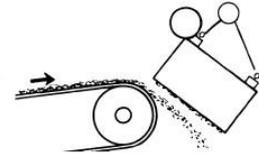


FIGURA 5
Posición de limpieza manual 1

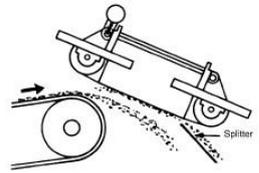


FIGURA 6
Posición de autolimpieza 1

posición 2 (cinturón cruzado)

La instalación del separador sobre el lecho móvil de material, perpendicular al transportador, se denomina POSICIÓN 2 (véanse las figuras 7 y 8). Esta ubicación suele presentar un problema de separación más complejo que la Posición 1 y suele requerir un imán más potente.

Para instalaciones de Posición 2, no se pueden utilizar rodillos de acero para transportador a lo largo del transportador debajo del separador. Los rodillos debajo del separador deben ser de caucho, madera u otro material no magnético. Tanto las unidades de limpieza manual como las de autolimpieza deben instalarse en la línea central del transportador de material, paralelas a su pendiente.

Instalación (continuación.)

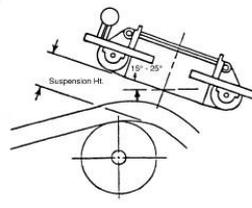


FIGURA 10

Nota: El ángulo normal del imán con respecto a un plano horizontal oscila entre 15 y 25°. A medida que aumenta la velocidad de la banda, los ángulos de instalación tienden a disminuir.

En casos donde la velocidad de la banda es menor (generalmente 107 m/min o menos), la trayectoria del material no sobrepasará la parte superior de la polea, sino que seguirá su periferia y se desviará hacia el lado de aguas abajo. En esta condición, la línea central del imán debe pasar por el centro de la polea. Se requiere una polea principal de material no magnético (acero inoxidable serie 300) para evitar la inducción magnética que se presentaría con una polea de acero dulce. Véase la figura 11.

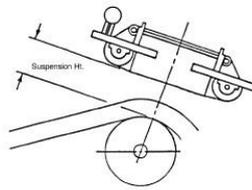


FIGURA 11

Posición 2 montaje - imán a través de la cinta transportadora.

Coloque el imán de manera que quede centrado sobre el ancho del transportador y la cara (inferior) quede paralela a la pendiente del transportador.

Al instalar un imán autolimpiable sobre una cinta transportadora de canal, este debe estar a una altura suficiente para que un trozo de hierro sobre la cinta no toque el borde de la misma. Sin embargo, se debe tener cuidado de no exceder la altura de suspensión nominal del imán. Véase la figura 12.

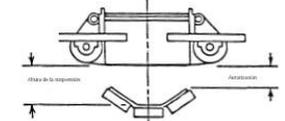


FIGURA 12

Para modelos refrigerados por aceite:

PRECAUCIÓN

Después de la instalación y antes de la puesta en marcha, compruebe el nivel de aceite en el tapón de nivel de aceite, ubicado en la esquina lateral del imán, cerca del depósito de expansión. Si el nivel es bajo, añada aceite del tipo especificado en la placa fijada en la parte superior del imán, junto al tapón de llenado de aceite.

Los tanques de expansión de aceite se montan con soportes ranurados que permiten su ajuste. Se realizan ajustes para mantener la válvula de alivio en la posición correcta.

Los tanques se pueden ajustar de fábrica si se especifica el ángulo de inclinación al realizar el pedido. De lo contrario, será necesario realizar ajustes en campo.

Los tanques están correctamente ajustados cuando la flecha de orientación apunta hacia abajo. Al colgar un imán, el tanque se gira hacia el hasta que la flecha apunte hacia abajo.

Electroimanes suspendidos



7



8

Anexo 18

Manual de instalación y operación de chancadora cónica HP 200e

Todos los equipos de servicio deben tener su propio medidor de radiación portátil y medir el nivel de radiación de los sitios y equipos del cliente antes de cualquier trabajo.

3.1.3 Equipo de protección individual

Se debe utilizar el siguiente EPP en todas las instalaciones de Metso producción, talleres, almacenes y en los sitios de los clientes:

- Gafas de protección
- Protección para los oídos (para más de 85 dB)
- Ropa de trabajo/chaleco de alta visibilidad
- Calzado de protección (a menos que sea un visitante dentro de áreas marcadas)
- Casco de seguridad (en obras y fundiciones)

Si el cliente tiene un estándar de seguridad más alto que Metso, entonces se aplica el estándar del cliente. Compruebe siempre la funcionalidad y la fecha de caducidad de su equipo antes de trabajar.

Todos los EPP deben cumplir con las normas de seguridad del producto (por ejemplo, marcado CE, marcado ANSI). Nunca modifique ningún EPP y úselo correctamente.

3.1.4 Riesgos de incendio

No fume durante el repostaje o la manipulación de contenedores de combustible. Apague el motor al repostar y tenga especial precaución si el motor está caliente. Ponga a tierra el embudo o la boquilla contra el cuello del filtro para evitar chispas eléctricas estáticas cuando vierta combustible en el tanque.

No use gasolina ni combustible diésel para limpiar las piezas. Se prefieren los buenos disolventes comerciales no inflamables. No fume durante el uso de disolventes de limpieza.

No deje que se acumulen trapos sucios de aceite o de grasa en áreas poco ventiladas. Guarde los trapos sucios de aceite y otros materiales combustibles en un lugar seguro.

Nunca use una llama expuesta para comprobar los niveles de combustible, el electrolito de la batería ni refrigerantes, ni para buscar fugas hidráulicas en ninguna parte del equipo. Utilice una linterna.

Conozca dónde se guardan los extintores, cómo funcionan y para qué tipo de incendio se utilizan. Compruebe los extintores de incendios con regularidad, al menos una vez al mes, para asegurarse de que están en la zona de trabajo.

3.1.5 Peligros relacionados con el ruido



PELIGRO

PELIGRO SONORO
Causará daños auditivos permanentes.
El nivel de ruido cerca de la máquina es superior a 85 dB(A). Utilizar protección auditiva adecuada.

El equipo de trituración es ruidoso y el equipo auxiliar en y alrededor del equipo de trituración, como rampas, estaciones de transferencia y pantallas, puede ser incluso más ruidoso que la propia trituradora.

Copyright © Metso 2024. Todos los derechos reservados.					
22 (270)					
Id. de proyecto:	Código de planta:	Código de unidad de planta:	Tipo de documento:	Nº de aplicación:	Revisión:
				0	Id. de documento de Metso: D10002007



PELIGRO

GENERAL HAZARD
Will cause death or serious injury.
Do not use other labels on this machine, expect the ones shown in the manual.
Replace illegible or loose labels immediately.

En las figuras y la tabla siguientes se muestra la ubicación de las etiquetas de seguridad y las señales de instrucciones (ISO y ANSI) y se explica su significado.

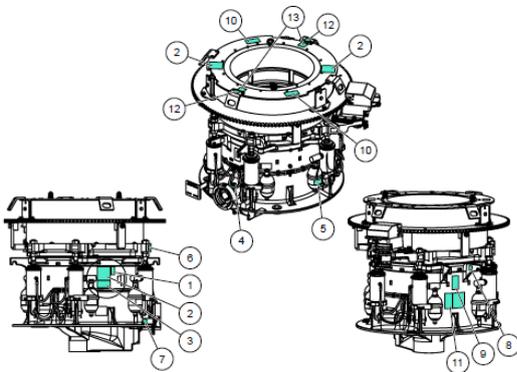


Figura 4. Ubicación de las etiquetas de seguridad ISO

Copyright © Metso 2024. Todos los derechos reservados.					
24 (270)					
Id. de proyecto:	Código de planta:	Código de unidad de planta:	Tipo de documento:	Nº de aplicación:	Revisión:
				0	Id. de documento de Metso: D10002007

El nivel de potencia acústica de la trituradora normal mientras tritura se encuentra entre 100 y 130 dB(A).

Es posible que sea necesario usar dispositivos protectores de oído si los niveles de ruido son superiores a los permitidos por ley.

El operador puede ver el equipo en funcionamiento y aun así estar protegido del ruido gracias a la instalación de paneles acústicos, ventanas dobles, equipo de aire acondicionado, etc.

3.1.6 Riesgos de emisión de polvo



PELIGRO

PELIGRO POR POLVO
Puede causar lesiones graves o incluso la muerte.
Las máquinas y sus equipos auxiliares pueden generar polvo. Las personas que trabajan en la trituradora o cerca de ella y que respiran polvo afectarán su salud. Utilice mascarillas protectoras.

Los niveles altos de polvo en el aire crean un riesgo de enfermedad pulmonar, según las concentraciones de polvo, la duración de la exposición y el tipo de material que se está triturando.

Es responsabilidad del operador determinar la necesidad e idoneidad del uso de dichos dispositivos protectores y advertencias, y de proporcionarlos y asegurarse de que se utilicen y se apliquen.

Es posible reducir la cantidad de polvo transportado por el aire mediante la realización de modificaciones en el circuito de trituración, como la adición de un sistema de recogida de polvo, o el uso de barras pulverizadoras de agua en la cinta de alimentación y/o descarga. Además, como alternativa, pueden equiparse las máquinas con cubiertas que contengan polvo dentro de la máquina.

Para más información, póngase en contacto con Metso.

3.1.7 Dispositivos y protecciones de seguridad

Las precauciones de seguridad apropiadas empiezan con la instalación inicial de la trituradora.

Las trituradoras son propulsadas por correas en V o por acoplamientos directos a los motores. La transmisión de correa o acoplamiento deben tener un protector alrededor.

Las poleas de la trituradora en particular están diseñadas para velocidades máximas de reborde. Si se superan estas velocidades, es posible que la polea explote y cause lesiones graves o incluso la muerte.

Puesto que la velocidad de la trituradora es considerable para un funcionamiento adecuado, la mayoría de los protectores de la transmisión de la correa en V suelen tener una pequeña abertura inmediatamente opuesta al centro del eje de la transmisión de la trituradora, de modo que pueda insertarse un tacómetro para revisar ocasionalmente la velocidad del contraje. Esta abertura debe estar cubierta con una puerta o trampilla de acceso.

3.1.8 Etiquetas de seguridad y señales de instrucciones

Copyright © Metso 2024. Todos los derechos reservados.					
23 (270)					
Id. de proyecto:	Código de planta:	Código de unidad de planta:	Tipo de documento:	Nº de aplicación:	Revisión:
				0	Id. de documento de Metso: D10002007

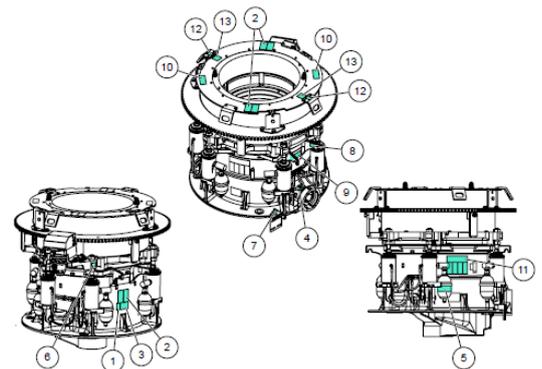


Figura 5. Ubicación de las etiquetas de seguridad ANSI

Copyright © Metso 2024. Todos los derechos reservados.					
25 (270)					
Id. de proyecto:	Código de planta:	Código de unidad de planta:	Tipo de documento:	Nº de aplicación:	Revisión:
				0	Id. de documento de Metso: D10002007

Anexo 19

Plan de limpieza de pebbles



AREA DE PROCESOS
JEFATURA DE OPERACIONES

Memorandum Planta – JOP - N° 001-2023

Plan para la evacuación de Pebbles con volquetes

De: Marco Bilbao Arauco / Jefe de Operaciones Procesos
Para: Diego Torres Francia / Superintendente de Operaciones de Procesos
Fecha: 16/01/23
Asunto: Plan para la evacuación de pebbles con volquetes.

Mediante la presente se informa el análisis de y la mejora operativa para un control óptimo de la evacuación de los pebbles así como el desarrollo del presente plan para eliminar cualquier riesgo de Impacto al ambiente al depositar los pebbles sobre la plataforma de contención asignada.

Antecedentes

El día 7 de enero del 2023 a las 9:30 am se reportó un incidente ambiental al centro de control, por acumulación de Pebbles fuera de la plataforma de contención.

Al identificar la causa se encuentra algunas condiciones que dificultaron el carguío continuo:

- Alta Producción de Pebbles (60 TMH)
- Detenciones continuas de la Chancadora por sobrecarga (Grafico 2-1 Azul).
- Camión de Pebbles de mina con 0% de disponibilidad en ambos turnos (6Ay 6B).
- Descarga de Chips del Molino de Bolas hacia la plataforma de pebbles.

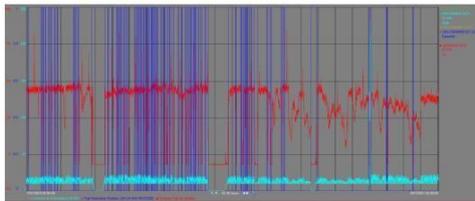


Gráfico 0-1 Tendencia de Amperaje(Celeste) , tonelaje (Rojo) y giro en reversa de faja 4(azul).



AREA DE PROCESOS
JEFATURA DE OPERACIONES

Para evitar que la faja 5 se detenga de manera continua por presencia de metales o Chips, es necesario asegurar que cuando se recirculan los Chips evacuados por el molino de bolas estos deben ser enviados al botadero y evitar en todo momento recircularlo al ROMPAD.

2. Detenciones por nivel alto CR006 (tonelaje alto)

Esta es una condición que se genera por la naturaleza del mineral que se procesa con alta dureza, para ello necesitamos optimizar el Throughput en molienda así como atender los cuellos de botella que se generen debido a esta condición buscando maximizar la producción.

1.3 Disponibilidad de camión para el carguío de Pebbles

Se cuenta con un camión programado para el traslado de Pebbles diario a cargo de Operaciones Mina/Procesos, este camión tiene una disponibilidad diaria de 66.7 %, 9 horas para el turno noche y 7 Horas para el turno día.

Tabla 0-1 Datos de capacidad del camión de Pebbles y producción de Pebbles

Camión de Pebbles	
Capacidad Volumen	15 m ³
densidad	1.6 TM/m ³
Capacidad Peso	24 TM
Ciclo Viaje:	20 min
Disponibilidad T. Día:	7 h
Disponibilidad T. Noche:	9 h
producción Pebbles Max.	60 TMH

Tabla 0-2 Condición de la capacidad de transporte de Pebbles en los distintos escenarios

Estatus	Capacidad de Viajes / Pebbles Producidos Escenarios			Viajes T. Día	Viajes Noche T.	Capacidad Viajes T. Día	Capacidad Viajes Noche T.
	detención (h)	Pebbles TM	Cancha				
Operación Normal	4	240		5	5	21	27
Mitto_12 H	14	840		30	5	21	27
Falla Pebbles 24 H	24	1440		30	30	21	27

En función de la capacidad de traslado de pebbles podemos observar que un mantenimiento de 12 h en planta sobrepasa la capacidad de traslado de Pebbles por lo cual es necesario adicionar un camión adicional para evitar la acumulación de Pebbles fuera de la plataforma.



AREA DE PROCESOS
JEFATURA DE OPERACIONES



Fotografía 1 Vista de Cancha de Pebbles Con sobrecumulación de pebbles.

Con la conjunción de las condiciones señaladas se origina una sobrecumulación de pebbles el cual sobrepasa la capacidad de la plataforma de almacenamiento de concreto.

Desarrollo del Plan

En función a las condiciones señaladas es necesario desarrollar un plan con la finalidad de evitar llegar a condiciones críticas de almacenamiento de Pebbles.

1.1 Alta producción de Pebbles

En función a la alta producción de pebbles por las características mineralógicas y además de algunas modificaciones del área de molienda específicamente en el molino SAG, es necesario adaptar la operación a las condiciones actuales mientras se revisa y define el efecto de las modificaciones, por lo cual el plan de evacuación de pebbles va sobre la condición actual de la operación.

1.2 Detenciones FE004 por sobrecarga CR006

Las detenciones de alimentación de pebbles hacia la CR006 se da por las siguientes causas:

1. Detenciones por presencia de metales en la faja 5

1.4 Descarga de Chips del M. Bolas

Es necesario Corregir la dirección de la descarga de Chips del M. Bolas para que no se mezcle con los Pebbles también esto ayudara a reducir el empozamiento de agua en la zona.

1.5 Contingencia

En el caso que la descarga de pebbles hacia la cancha supere la capacidad de traslado del camión contratado se deberá coordinar de manera inmediata con proyectos el envío de un camión adicional para asegurar que no se acumulen pebbles en la plataforma.

Conclusiones

- El camión contratado actual para el traslado de Pebbles tiene la capacidad suficiente para atender el traslado sin generar acumulación en una operación normal.
- En el caso de que se tenga mantenimiento programado de la planta de Pebbles de 12 Horas se deberá coordinar un camión adicional para asegurar el traslado de los pebbles.
- En el caso de una falla de Pebbles con detenciones prolongadas se deberá coordinar 01 camión adicional para cada turno.
- En el caso de Falla mecánica o falta de conductor del camión de pebbles inmediatamente se coordinará el reemplazo con un camión de otra área para evitar la acumulación de pebbles.
- Se actualizarán los controles en la evacuación de Chips para asegurar que estos no se recirculen al ROMPAD y sean correctamente dispuestos en los botaderos asignados.

GOLD FIELDS
Marco Bilbao Arauco
Jefe de Operaciones Procesos