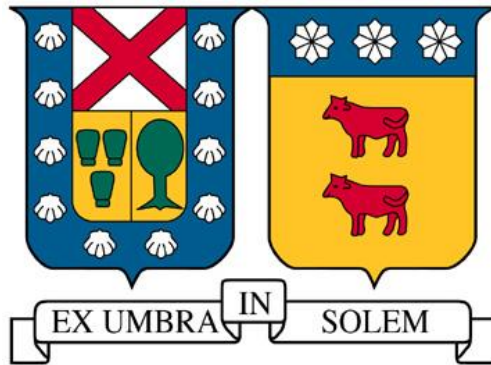


UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA

DEPARTAMENTO DE INDUSTRIAS
VALPARAISO – CHILE



PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DEL PROCESO DE
CAMBIO DEL LATCH BAR DE LA FLOTA PALAS
ELECTROMECÁNICAS MEDIANTE LA METODOLOGÍA SIX
SIGMA

GERALDINE JENIFER BASUALDO LARRAZÁBAL

TRABAJO FINAL PARA OPTAR AL GRADO DE
MAGÍSTER EN GESTIÓN DE ACTIVOS Y MANTENIMIENTO

PROFESOR GUÍA

: SR. CRISTIAN CARVALLO GONZÁLEZ

NOVIEMBRE 2025



CONSTANCIA DE VALIDACIÓN Y CONFIDENCIALIDAD DE MONOGRAFÍA A REPOSITORIO ACADÉMICO

1.- IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO ACADÉMICO

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

Título del trabajo: Propuesta de mejoramiento del proceso de cambio de latch bar de la flota palas electromecánicas mediante la metodología Six Sigma

Nombre del candidato(a): Geraldine Basualdo Larrazabal

Carrera / Grado: Magíster en Gestión de Activos y Mantenimiento

Campus: Santiago Vitacura; **Departamento:** Industrias

2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, Cristian Carvallo González, en mi calidad de profesor(a) guía/director(a) del trabajo académico mencionado anteriormente **DEJO CONSTANCIA** que:

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

3.- EVALUACIÓN DE CONFIDENCIALIDAD POR PROPIEDAD INDUSTRIAL

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

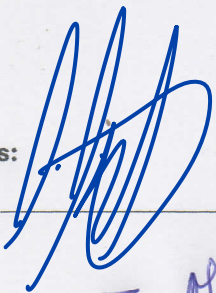
☐ El trabajo **CONTIENE** información con potenciales implicancias de propiedad industrial o intelectual y requiere un periodo de confidencialidad (embargo) por:

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

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

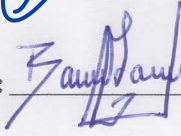
4.- FIRMAS

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

Fecha 03/12/25; **Firma:** 

Estudiante o Candidato(a):

Fecha: 29/11/2025

; Firma: 

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

Resumen

La presente tesis tiene como objetivo proponer una mejora integral en el proceso de cambio del latch bar de la flota de palas electromecánicas 7495HR, perteneciente a una operación minera de gran escala, mediante la aplicación de la metodología Six Sigma bajo el enfoque DMAIC. El proceso actual presenta elevados tiempos de intervención hasta de nueve horas, variabilidad significativa entre ejecuciones y eventos operativos no controlados que afectan la disponibilidad de los equipos y, en consecuencia, la productividad global de la operación.

Para el diagnóstico inicial se recopiló información histórica correspondiente a los años 2023 y 2024, identificándose un tiempo promedio de cambio del latch bar de 6.16 horas y un nivel de sigma 0.41, lo que evidencia un desempeño deficiente y una baja capacidad del proceso ($C_{pk} = -0.34$). A través del análisis de causa raíz se identificaron factores críticos que contribuyen a esta situación, entre ellos la falta de estandarización del procedimiento, incompatibilidad o variaciones en el componente, dificultades de accesibilidad y condiciones del área de trabajo, instrucciones operativas poco claras y deficiencias en el estado y disponibilidad de los equipos livianos de apoyo.

Con base en ello, se diseñaron e implementaron propuestas de mejora orientadas a la reducción de variabilidad y al incremento de la eficiencia. Una vez aplicadas las acciones, se evaluó su impacto a través de herramientas estadísticas, determinándose un tiempo promedio proyectado de 3 a 4 horas por intervención, un proceso bajo control estadístico y un incremento del nivel de sigma a 3.17. Asimismo, los índices de capacidad mejoraron a $C_{pk} = 0.57$, reflejando un aumento significativo en el desempeño del proceso.

Finalmente, se desarrolló una evaluación económica que demuestra la viabilidad del proyecto, obteniéndose un Valor Actual Neto (VAN) de 317,424.48 USD y una Tasa Interna de Retorno (TIR) del 36%, confirmando la conveniencia financiera de la implementación. En conjunto, los resultados evidencian que la metodología Six Sigma constituye una herramienta efectiva para optimizar procesos críticos, contribuyendo a la reducción de tiempos improductivos y al incremento de la disponibilidad de equipos de alta criticidad.

Índice

RESUMEN.....	2
ÍNDICE	3
ÍNDICE DE GRÁFICOS	4
ÍNDICE DE TABLAS.....	5
ÍNDICE DE FIGURAS	6
INTRODUCCIÓN.....	7
CAPÍTULO 1 ANTECEDENTES DEL TEMA	8
1.1 JUSTIFICACIÓN	8
1.2 OBJETIVOS	8
1.2.1 <i>Objetivo general</i>	8
1.2.2 <i>Objetivos específicos</i>	8
1.3 ALCANCE	9
1.4 METODOLOGÍA	10
CAPÍTULO 2 ESTADO DEL ARTE	12
2.1 ANTECEDENTES GENERALES.....	12
2.1.1 <i>Descripción de la industria</i>	12
2.1.2 <i>Análisis de casos similares</i>	13
2.2 MARCO TEÓRICO	17
2.2.1 <i>Six Sigma</i>	17
2.3 PROPUESTA METODOLÓGICA	28
CAPÍTULO 3 DESARROLLO DEL TEMA.....	29
3.1 APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DMAIC	29
3.1.1 <i>Fase definir</i>	29
3.1.2 <i>Fase medir</i>	41
3.1.3 <i>Fase analizar</i>	46
3.1.4 <i>Fase mejorar</i>	51
3.1.5 <i>Fase controlar</i>	62
CONCLUSIONES.....	64
REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA	66
ANEXOS	69

Índice de gráficos

Gráfico 1-1 Metodología DMAIC	11
Gráfico 2-1 Evolución del Six Sigma	18
Gráfico 2-2 Las cinco etapas en la realización de un proyecto 6 σ	21
Gráfico 2-3 Símbolos del diagrama de flujo	24
Gráfico 2-4 Modelo SIPOC	24
Gráfico 2-5 Diagrama Causa-Efecto	25
Gráfico 2-6 Ejemplo de gráfico de control	26
Gráfico 3-1 Disponibilidad de Palas 7495HR 2023	30
Gráfico 3-2 Disponibilidad de Palas 7495HR 2024	30
Gráfico 3-3 Análisis de Pareto de frecuencias de falla componentes adjuntos 2023 ...	31
Gráfico 3-4 Análisis de Pareto de frecuencias de falla componentes adjuntos 2024 ...	31
Gráfico 3-5 Análisis de Pareto del tiempo de avería componentes adjuntos 2023	32
Gráfico 3-6 Análisis de Pareto del tiempo de avería componentes adjuntos 2024	32
Gráfico 3-7 SIPOC del proceso de cambio del latch bar	37
Gráfico 3-8 Diagrama de flujo del proceso de cambio del latch bar.....	39
Gráfico 3-9 Diagrama hexagonal del plan de recolección de datos.....	42
Gráfico 3-10 Probabilidad normal	43
Gráfico 3-11 Carta de control del tiempo de cambio del latch bar	44
Gráfico 3-12 Capacidad del proceso del tiempo de cambio del latch bar	45
Gráfico 3-13 Sixpack de capacidad del proceso del tiempo de cambio del latch bar...	46
Gráfico 3-14 Diagrama de causa y efecto	47
Gráfico 3-15 Análisis de Pareto de las variables X's	49
Gráfico 3-16 Probabilidad normal antes y después	56
Gráfico 3-17 Carta de control antes y después	57
Gráfico 3-18 Sixpack de capacidad del proceso después de las mejoras	58

Índice de tablas

Tabla 2-1 Herramientas de Lean-Six Sigma utilizadas en los antecedentes	16
Tabla 2-2 Elementos del Project Charter y su descripción	23
Tabla 2-3 Valores de Cpk y Ppk	27
Tabla 2-4 Metodología propuesta para el desarrollo del proyecto	28
Tabla 3-1 Project Charter del proceso de cambio del latch bar	35
Tabla 3-2 Variable críticas para la calidad (CTQ) del proceso de cambio del latch bar	41
Tabla 3-3 Matriz XY	48
Tabla 3-4 Plan de mejoras al proceso de cambio de latch bar	54
Tabla 3-5 Datos comparativos del cambio de latch bar	55
Tabla 3-6 Data 2024 cambio de latch bar	61
Tabla 3-7 Data proyectada 2026 cambio de latch bar	61

Índice de figuras

Figura 3-1 Pala Electromecánica 7495HR	29
Figura 3-2 Latch bar 7495HR.....	33
Figura 3-3 Diferentes tipos de Latch Bar.....	52
Figura 3-4 Accesos de equipos según reunión con operaciones	53
Figura 3-5 Prueba T e IC de dos muestras- Antes y después	59

Introducción

En el entorno minero actual, caracterizado por una creciente competitividad, exigencias operativas y altos estándares de disponibilidad de equipos, la gestión eficiente de los procesos de mantenimiento se ha convertido en un factor estratégico para garantizar la continuidad y rentabilidad de las operaciones. Las palas electromecánicas 7495HR, pieza clave en el proceso de carguío, han mostrado interrupciones recurrentes asociadas principalmente al proceso de cambio del latch bar, un componente esencial del mecanismo del cucharón.

Estas detenciones, caracterizadas por tiempos de intervención prolongados y una alta variabilidad en su ejecución, generan impactos directos sobre la disponibilidad operativa de la flota y, por ende, en los indicadores de productividad.

Con el objetivo de abordar esta situación de forma estructurada y sostenible, se propone la aplicación de la metodología Six Sigma al proceso de cambio del latch bar. Esta metodología combina herramientas de mejora continua que permiten identificar inefficiencias, reducir variabilidad, y estandarizar procesos, orientándose siempre a la generación de valor.

A través del enfoque DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar), se busca optimizar el proceso de cambio del latch bar mediante la reducción del tiempo de intervención entre tres a cuatro horas, el fortalecimiento de la planificación de recursos y la estandarización de las buenas prácticas operativas para garantizar su sostenibilidad en el tiempo. Asimismo, se busca generar un modelo de gestión replicable que contribuya al fortalecimiento de la cultura de mejora continua dentro del área de mantenimiento.

Finalmente, la implementación de las mejoras propuestas no solo permitirá obtener resultados medibles en términos de reducción de tiempo y costos, sino también promover estándares de seguridad y calidad más robustos, alineados con los objetivos estratégicos de la organización y con los principios de la excelencia operacional.

Capítulo 1 Antecedentes del tema

1.1 Justificación

El proceso de cambio del latch bar en la flota de palas electromecánicas 7495HR constituye una actividad crítica para la continuidad operativa dentro de la empresa minera. Sin embargo, la situación actual evidencia tiempos de intervención elevados —llegando en algunos casos hasta 9 horas— y una alta variabilidad entre ejecuciones. Este comportamiento genera impactos directos sobre la disponibilidad de los equipos, afecta el cumplimiento del plan de producción y ocasiona pérdidas económicas significativas, estimadas en USD 10,807.53 por cada hora de parada.

La falta de estandarización, la ausencia de controles robustos, la variabilidad operativa y la deficiente gestión del proceso contribuyen a un nivel de sigma bajo, evidenciando una capacidad insuficiente para cumplir con los tiempos de intervención requeridos por la operación.

Implementar esta propuesta no solo permitiría mejorar la eficiencia del proceso y elevar la disponibilidad de la flota, sino también contribuiría a la reducción de costos operativos, el incremento de la productividad y la consolidación de una cultura de mejora continua basada en datos. En consecuencia, la propuesta resulta plenamente justificada tanto desde una perspectiva operativa como económica, asegurando beneficios tangibles y sostenibles para la organización.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Proponer la mejora del proceso de cambio del latch bar de la flota de palas electromecánicas mediante la metodología Six Sigma, con el propósito de optimizar los tiempos de intervención.

1.2.2 Objetivos específicos

- Analizar el proceso actual de cambio del latch bar en la flota de palas electromecánicas 7495HR, con el fin de identificar ineficiencias operativas,

fuentes de variabilidad y actividades que no agregan valor, así como determinar el indicador de desempeño asociado a este proceso.

- Evaluar la capacidad y el desempeño del proceso actual en función de las especificaciones del cliente, con el propósito de determinar el nivel sigma correspondiente.
- Analizar la relación entre variables críticas del proceso y su impacto en la variable de respuesta, con el fin de identificar qué factores influyen significativamente en la variabilidad del proceso.
- Evaluar mejoras sostenibles en los procedimientos y recursos utilizados durante el cambio del latch bar, con énfasis en la reducción del tiempo de intervención y la estandarización operativa, para posteriormente simular su impacto y comparar los resultados antes y después de la implementación, validando así los beneficios operativos y económicos obtenidos.
- Establecer planes de control que garantice sostenibilidad de las mejoras implementadas en el proceso de cambio del latch bar.

1.3 Alcance

El presente trabajo abarca el análisis integral del proceso de cambio del latch bar en la flota de palas electromecánicas 7495HR perteneciente a la compañía minera Antapaccay S.A., con el propósito de identificar oportunidades de mejora y desarrollar una propuesta basada en la metodología Six Sigma. El estudio comprende las etapas del ciclo DMAIC: Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar, aplicadas específicamente al proceso de intervención programada del componente.

El alcance incluye:

- La evaluación de los tiempos históricos 2023 y 2024 de cambio del latch bar y su variabilidad operativa.
- La identificación de causas raíz asociadas a demoras, desperdicios y desviaciones respecto al tiempo estándar.
- La formulación de mejoras técnicas, operativas y de gestión orientadas a optimizar el tiempo de intervención.
- La simulación del impacto de las mejoras propuestas para proyectar el comportamiento del proceso bajo condiciones optimizadas.

- El diseño de un plan de control que asegure la sostenibilidad de las mejoras a través del tiempo.

El estudio se limita exclusivamente al proceso de cambio del latch bar de las palas electromecánicas 7495HR, sin considerar otros componentes o sistemas mecánicos, eléctricos o estructurales de las palas. Además, el análisis se desarrolla bajo condiciones operativas propias de la empresa evaluada, por lo que los resultados y propuestas están contextualizados a dicho entorno.

La investigación posee un alcance exploratorio, descriptivo y explicativo. De manera inicial, el enfoque exploratorio permitió obtener una comprensión general del proceso de cambio de latch bar en la flota de palas electromecánicas 7495HR, identificando las principales variables y factores que influyen en su desempeño. Posteriormente, el enfoque descriptivo facilitó la caracterización detallada del proceso mediante el análisis de datos históricos, tiempos de intervención y condiciones operativas reales. Finalmente, el enfoque explicativo permitió comprender como las variables identificadas impactan en la eficiencia del proceso y en el incumplimiento de los requerimientos del cliente interno.

1.4 Metodología

El presente estudio se enmarca en una investigación aplicada, de enfoque cuantitativo, y de tipo explicativo y descriptivo, orientada a la optimización del proceso de cambio del latch bar en la flota de palas electromecánicas. El propósito principal es identificar, reducir y eliminar las ineficiencias en dicho proceso, mediante la aplicación de la metodología Six Sigma. La investigación se desarrolla a partir de datos reales y contextos operativos específicos.

Se utiliza un diseño metodológico basado en un estudio de caso, focalizado en la flota de Palas, seleccionando solo las del modelo 7495HR. Estos equipos se caracterizan por ser los que más predominan en cantidad y estar ubicados en zonas de alta concentración de mineral.

Las técnicas empleadas para la recolección de información son; la observación directa de del proceso, revisión de registros operacionales (tiempo de cambio del latch bar,

frecuencia de fallas de los sistemas del equipo, disponibilidad de la flota), y entrevistas con personal técnico y supervisores de mantenimiento mina.

El análisis de información se realiza mediante la metodología Six Sigma, en base al enfoque DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar) como marco estructurado de trabajo. A lo largo de cada una de sus fases se han desarrollado diversas herramientas de aplicación con el objetivo de proponer soluciones de mejora definitivas; así mismo, identificar oportunidades que sean útiles para mejorar la calidad del proceso, realizando un seguimiento y control a las mejoras y soluciones propuestas.

La elección de la metodología Six Sigma se fundamenta en su capacidad para integrar la mejora continua, el análisis estadístico y la gestión eficiente de procesos, lo que la convierte en un enfoque idóneo para abordar problemáticas operativas. Asimismo, permite reducir la variabilidad, eliminar actividades sin valor agregado y optimizar los tiempos de intervención, contribuyendo directamente al objetivo principal de este estudio.

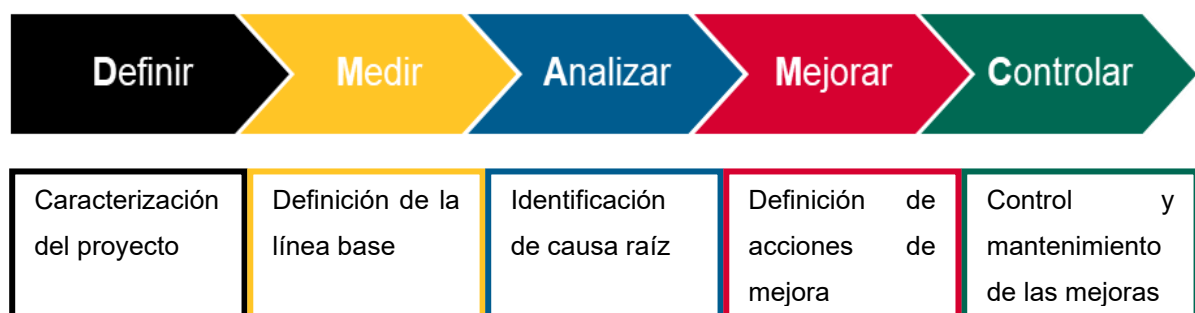


Gráfico 1-1 Metodología DMAIC
Fuente: Adaptado de Felizzola y Luna (2014)

Capítulo 2 Estado del arte

2.1 Antecedentes generales

La mejora continua se ha convertido en un pilar fundamental para garantizar la competitividad y sostenibilidad de las operaciones mineras. En este contexto, resulta indispensable contextualizar el entorno en el que se desarrolla el estudio y revisar los antecedentes que respaldan la aplicación de metodologías de optimización, como Six Sigma, en los procesos de mantenimiento de equipos de gran escala.

2.1.1 Descripción de la industria

La industria minera del cobre constituye uno de los pilares económicos más relevantes en algunos países, debido a la magnitud de sus operaciones, el nivel de inversión requerido y la demanda creciente del metal a nivel global. En este contexto, la gestión eficiente de activos físicos y la mejora continua de los procesos adquieren un rol determinante para asegurar la competitividad y sostenibilidad de las operaciones (Smith & Hinchcliffe, 2018).

Las compañías mineras operan con equipos de gran escala, como palas electromecánicas, perforadoras, camiones de acarreo y plantas de procesamiento, cuya disponibilidad y confiabilidad influyen directamente en los indicadores clave de productividad. Debido a ello, la industria ha orientado sus esfuerzos hacia metodologías de mejora que permitan controlar la variabilidad, estandarizar procedimientos y optimizar los tiempos de intervención en actividades de mantenimiento críticas (Gorbea, 2020).

En los últimos años, empresas mineras de referencia mundial como BHP, Freeport-McMoRan, Barrick Gold, Newmont y Anglo American han implementado proyectos basados en la metodología Six Sigma, reportando mejoras significativas en sus procesos operativos y de mantenimiento. Estudios desarrollados en estas organizaciones evidencian que la aplicación del ciclo DMAIC permite identificar causas raíz, reducir fallas recurrentes, mejorar la estabilidad de los procesos y disminuir los costos asociados a paradas no planificadas (Antony, Snee & Hoerl, 2017).

Asimismo, se ha demostrado que el uso disciplinado de herramientas estadísticas, análisis de variabilidad y control estadístico de procesos contribuye a fortalecer la confiabilidad operacional y a tomar decisiones basadas en datos, lo que es indispensable en entornos de alta criticidad como la minería (Pyzdek & Keller, 2014). Estas experiencias confirman que Six Sigma constituye un marco metodológico adecuado para procesos donde la variabilidad y los tiempos excesivos de intervención afectan directamente la continuidad productiva y los costos operativos.

En este contexto, la Compañía Minera Antapaccay, ubicada en la provincia de Espinar en la región Cusco, constituye una operación minera de tajo abierto dedicada principalmente a la extracción, procesamiento y exportación de concentrado de cobre. Su ubicación estratégica a más de 4 000 m s. n. m. demanda altos estándares de ingeniería, logística y gestión del mantenimiento para asegurar la confiabilidad de sus equipos, los cuales operan en condiciones de elevada exigencia física, climática y operacional.

2.1.2 Análisis de casos similares

Para desarrollar el análisis de casos similares, se recopiló información mediante una revisión documental sistemática orientada a identificar experiencias nacionales e internacionales relacionadas con la aplicación de metodologías de mejora continua — particularmente Lean y Six Sigma— en procesos de mantenimiento dentro del sector minero y en industrias con características operativas comparables. La búsqueda se realizó en bases de datos especializadas, repositorios académicos, informes técnicos de compañías mineras, publicaciones de consultoras del sector y artículos indexados en revistas científicas.

Una de las investigaciones realizada por Hia & Pramudjito (2024), demuestran la aplicación de Lean Six Sigma (LSS) para la reducción del tiempo promedio para reparar (MTTR) del arrancador de motor de los equipos mineros, dado que experimentaron el 42% de fallas eléctricas. Se abordaron las etapas de la metodología DMAIC para el análisis del proceso y la principal solución para disminuir el tiempo de intervención fue el diseño de una herramienta especial para las pruebas del arrancador del motor.

El estudio realizado por Cabello (2020), se enfoca en la optimización y mejora continua del proceso de mantenimiento de la infraestructura de un buque pesquero con la metodología LSS. Los resultados del estudio fueron a partir del análisis estadístico donde se identificó y priorizó actividades críticas, con el objetivo de asegurar la operatividad, disponibilidad y confiabilidad de la embarcación en los periodos de faena. Se concluyó que con esta implementación ha permitido conseguir un valor de nivel sigma de 5.

Por su parte Rodríguez, Guerrero, García y Peña (2023), en su investigación demuestran que la aplicación de LSS no se limita a procesos de manufactura como lo fueron en sus orígenes, dado que ellos realizaron un estudio de la metodología six sigma al proceso de revisión de trabajo de grado de una institución de educación superior. Su objetivo principal fue reducir el tiempo de ciclo a 18.05 días, es decir, se reduciría hasta un 54%, teniendo como referencia que habitualmente tardan aproximadamente 40 días.

En el artículo de investigación de Báez, Limón, Tlapa y Rodríguez (2010) refieren la aplicación de Six Sigma y los métodos Taguchi para obtener un incremento de la resistencia en el ensamble de un diodo emisor de luz, donde se pudo demostrar la mejora del proceso en base al enfoque DMAIC, el cual se basa en la recolección y análisis sistemático de datos con el propósito de determinar el comportamiento del proceso en función de los requerimientos establecidos. Posteriormente, se identificaron las variables críticas que influían en el desempeño del proceso, permitiendo establecer acciones correctivas y preventivas orientadas a mantener resultados óptimos y sostenibles en el tiempo.

Por último, se presenta el artículo de Felizzola y Luna (2014), donde proponen un enfoque metodológico para la implementación de Lean Six Sigma (LSS) en PYMES, con lo que pretenden abordar aspectos como la ausencia de sistemas de medición, el uso de indicadores de gestión, y la falta de alineación entre los proyectos LSS y los objetivos estratégicos de la organización. Asimismo, se identifican desafíos asociados a la insuficiente participación y compromiso de la alta gerencia, la escasa priorización de proyectos con alto impacto estratégico, y la débil articulación entre los proyectos y las necesidades o expectativas de los clientes. Finalmente, se reconoce la dificultad para ejecutar los proyectos LSS de manera sistemática y estructurada, lo cual limita la

efectividad en la resolución de las problemáticas operativas y en la sostenibilidad de las mejoras alcanzadas.

A partir de las investigaciones revisadas con relación al presente trabajo, se puede destacar que, en la práctica Lean y Six Sigma se integran de diversas formas, dependiendo de factores como su propósito de aplicación, los modelos adoptados, los principios y herramientas utilizadas, las medidas de desempeño y las estructuras de gestión de los proyectos

Esta articulación permite abordar problemáticas de distinta naturaleza, relacionadas con la calidad de los procesos, los flujos de materiales e información y la generación de valor agregado. De este modo, se promueve el desarrollo de una cultura de excelencia operacional, orientada a la eficiencia organizacional. Además, se amplía el alcance de las iniciativas de mejora mediante la formación de equipos multidisciplinarios y la integración de indicadores de desempeño complementarios, lo que contribuye a una visión más integral y sostenible de la mejora continua.

Con el fin de contextualizar las investigaciones previas y evidenciar la aplicación de herramientas Six Sigma en distintos entornos productivos, se presenta a continuación un cuadro síntesis que reúne los principales aportes nacionales e internacionales.

Tabla 2-1 Herramientas de Lean-Six Sigma utilizadas en los antecedentes

Investigación	Autor	Herramientas
Reduce mean time to repair of mining equipment with Lean Six Sigma	Hia & Pramudjito (2024)	- Diagrama de Pareto - Poka Yoke - Cartas de Control - Análisis de Capacidad de Proceso
Metodología Lean Six Sigma para la mejora continua en las actividades de mantenimiento de un buque pesquero puesto en un astillero de una empresa de Callao - Perú	Cabello (2020)	- SIPOC - Diagrama Causa-Efecto - Diagrama de Pareto - Cinco S
Aplicación de Lean Six Sigma para la mejora del proceso de trabajos de grado en una Institución de Educación Superior	Rodríguez, Guerrero, García y Peña (2023)	- Project Charter - Critical to quality (CTQ) - Mapeo del Flujo de Valor - Diagrama de Pareto - Diagrama Causa-Efecto - Prueba de hipótesis
Aplicación de Seis Sigma y los métodos Taguchi para el incremento de la resistencia a la prueba de jalón de un diodo emisor de luz	Báez, Limón, Tlapa y Rodríguez (2010)	- Diagrama de Pareto - Análisis R&R - Análisis de Capacidad de Proceso - Diagrama Causa-Efecto - Análisis de varianza (ANOVA)
Propuesta metodológica para la implementación de Lean Seis Sigmas en PYMES	Felizzola y Luna (2014)	- SIPOC -Critical to quality (CTQ) - Diagrama de Pareto - Project Charter - Diagrama Causa-Efecto - Análisis de varianza (ANOVA) - Análisis de Capacidad de Proceso - Prueba Chi-cuadrado -Prueba t para dos muestras

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del presente trabajo

El análisis de las investigaciones revisadas evidencia que la aplicación de Six Sigma sigue un patrón metodológico consistente, basado en el uso de herramientas de diagnóstico, análisis estadístico y control del proceso. Entre los estudios, se identifican elementos comunes como el empleo de SIPOC, diagramas de Pareto y Causa-Efecto, así como la determinación de variables críticas (CTQ), lo que demuestra un enfoque sistemático para comprender y priorizar problemas. Asimismo, el uso recurrente de análisis de capacidad, pruebas de hipótesis y ANOVA refleja la importancia de validar objetivamente los resultados obtenidos. Finalmente, la presencia del Project Charter y cartas de control confirma que estos proyectos se desarrollan bajo una estructura ordenada y orientada a la reducción de la variabilidad y mejora continua.

2.2 Marco teórico

En esta sección se desarrollarán los principales fundamentos teóricos relacionados con la metodología Six Sigma, con el propósito de proporcionar el sustento conceptual necesario para la comprensión y aplicación del enfoque en el proceso de estudio. Se abordarán aspectos esenciales como su origen, enfoque y principios operativos, así como la descripción detallada de la metodología DMAIC y las herramientas estadísticas y de gestión que la integran.

2.2.1 Six Sigma

2.2.1.1 Origen de Six Sigma

Six Sigma se considera una evolución de las teorías clásicas de la calidad y la mejora continua, tales como, el Control Estadístico de Proceso (CEP) y la Administración de la Calidad Total (TQM), entre otras (Montgomery, 2009).

Los inicios de Six Sigma datan al año 1986 gracias a un ingeniero de Motorola llamado Bill Smith, quien desarrolló un programa enfocado en la mejora de la calidad y la reducción de defectos en sus productos. Los primeros resultados del programa demostraron la efectividad de Six Sigma y a partir de allí la empresa Motorola la implementó en toda la organización como una estrategia de negocios para mejorar la calidad de los productos, reducir los costos de producción y ampliar los mercados de productos y servicios.

El uso de Six Sigma de Motorola lo llevó a ser conocido como un líder de calidad y de lucro. Dicha metodología hizo Motorola acreedora del Premio Nacional de Calidad Malcolm Baldrige en 1988, y fue entonces que el secreto de su éxito se hizo de conocimiento público y Six Sigma causó un revuelo.

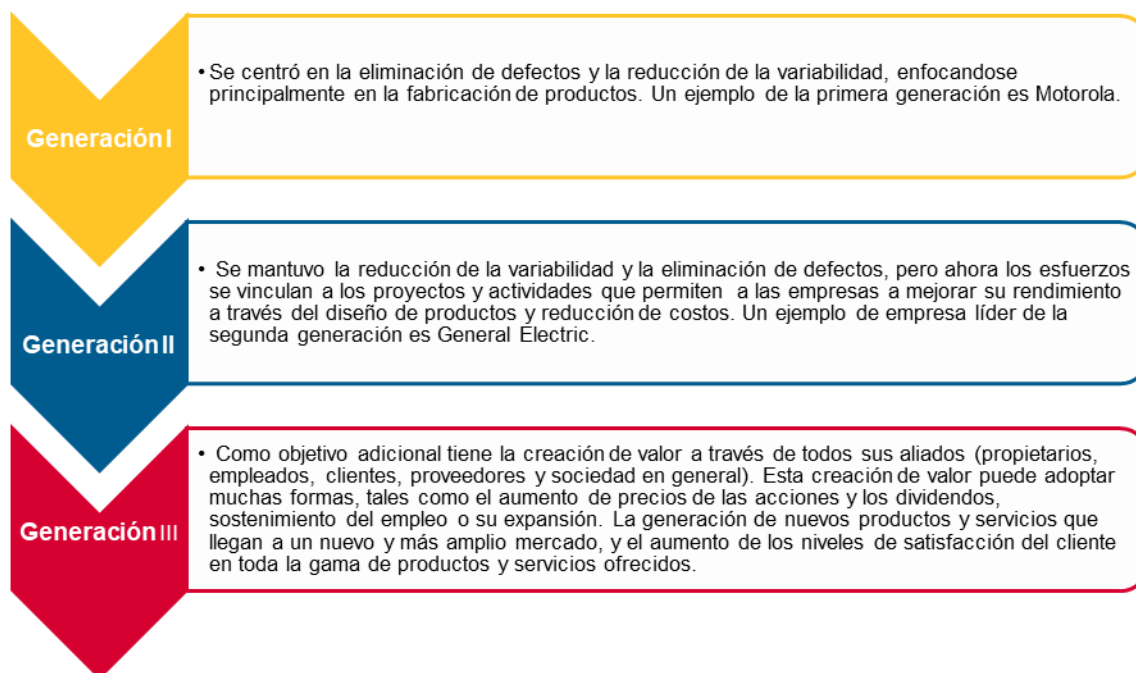


Gráfico 2-1 Evolución del Six Sigma

Fuente: Adaptado de Martínez, Vergara y Sarmiento (2012)

2.2.1.2 Enfoque Six Sigma

El Six Sigma es una herramienta metodológica que se aplica en la mejora de procesos, ya que colabora en la corrección de los procesos organizacionales, está direccionada en el establecimiento de la uniformidad en los procesos para minimizar las variaciones del producto final.

La denominación Six Sigma proviene de la letra griega Sigma “ σ ”, que es utilizada para la desviación estándar de una muestra. Six Sigma define la variación de una muestra o conjunto de elementos, aunque todos los elementos que formen una muestra deben estar sujetos a las mismas condiciones (Bohigues, 2015).

La metodología Six Sigma estudia un problema real apoyándose en métodos estadísticos, donde básicamente:

- Se realiza análisis estadístico para identificar las fuentes de variabilidad.
- Se identifican estadísticamente las variables que tienen más influencia en la variabilidad de los procesos. Se determinan los niveles de las variables en donde el desempeño es óptimo.

- Al final se monitorean las variables críticas y se mantiene el proceso en control estadístico.

Tomando en cuenta las diferentes fuentes consultadas, podemos determinar que los esfuerzos de Six Sigma están encaminados a tres áreas principales:

- Mejorar la satisfacción del cliente.
- Reducir el tiempo de ciclo.
- Reducir los defectos.

Para implantar un sistema Six Sigma es necesario que se establezcan ciertos parámetros de medida, cuyo conjunto aportará el valor sigma del proceso, servicio, etc. Para más detalle ver el Anexo1.

2.2.1.3 Principios de Six Sigma

En cuanto al proceso Six Sigma podemos decir que se basa en seis principios claros que ayudan a las empresas a ver lo que esperan mediante este sistema, a continuación, se presentan en seis principios importantes:

- Principio uno: Se centra en el cliente e inicia midiendo la satisfacción del cliente en base a sus necesidades dinámicas, las mejoras se evalúan en función de cómo afectan al cliente y sus necesidades, y cualquier otra necesidad no satisfecha se aborda mediante cambios en el producto o proceso.
- Principio dos: Es la gestión basada en datos y hechos; que se enfoca en tomar medidas y recopilar información para evaluar el rendimiento del producto y del proceso. La filosofía de Six Sigma no deja espacio para decisiones basadas en opiniones o suposiciones, los gerentes de proceso y los analistas deben decidir qué información se necesita y cómo recopilarla. Luego se deben analizar los datos utilizando las herramientas apropiadas y la información generada debe ser utilizada para tomar decisiones sobre mejoras en los procesos y productos, este es un sistema de ciclo cerrado en el cual, las mediciones de la salida se utilizan para tomar acciones correctivas a fin de mejorar un proceso y es un sello distintivo muy importante del sistema.

- Principio tres: Es el enfoque en el proceso; cada producto o servicio es creado o producido por un proceso, ya sea diseñando un producto, preparando una factura o respondiendo a una queja del cliente; cualquiera de estas situaciones puede ser mapeada como un proceso que involucra una secuencia de pasos. Cuando los procesos se mapean usando gráficos en papel, pueden ser mejor comprendidos, analizados, mejorados y administrados, por lo tanto, es muy importante analizar completamente un proceso para poder controlarlo y mejorarlo, esto es un precepto clave en el éxito que lleva a los sistemas Six Sigma.
- Principio cuatro: Es la gestión proactiva; la gestión proactiva implica establecer objetivos ambiciosos y prioridades claras, revisarlos con frecuencia e implementar cambios en el sistema para evitar que los errores y defectos lleguen al cliente, por lo tanto, se puede ver aquí que, con la gestión proactiva en Six Sigma, se necesita un enfoque y apoyo de la alta dirección, si se espera a las quejas de los clientes, entonces se pone a la organización en un fuego cruzado, por lo que la gestión proactiva también significa prevenir activamente los problemas antes de que ocurran y es mucho más barato, menor tiempo en tratar de resolverlos después de que han ocurrido.
- Principio cinco: La colaboración sin fronteras; aquí, necesitamos equipos multifuncionales con una buena comunicación entre diferentes funciones durante las etapas de diseño o producción; la comunicación es esencial para evitar retrasos, rediseños y retrabajo que pueden provocar la pérdida de recursos. Para lograr la satisfacción del cliente es necesario que los equipos trabajen en conjunto y que se establezcan objetivos comunes. En este sentido, la metodología Six Sigma destaca la mejora y el rediseño de procesos mediante equipos multidisciplinarios que fomenten el trabajo en equipo y la colaboración.
- Principio Seis: búsqueda de la perfección; Las técnicas para la mejora del rendimiento comprende una dosis significativa de la gestión del riesgo. La idea principal es que cualquier empresa que implemente Six Sigma su objetivo sea impulsarse constantemente para ser cada vez más perfecta (puesto que la

definición de “perfecto” para el cliente será un cambio constante), al mismo tiempo estar dispuesta a aceptar y cuestionar errores ocasionales.

2.2.1.4 Metodología DMAIC

Uno de los enfoques principales de Six Sigma para la mejora de procesos y calidad es DMAIC. El modelo DMAIC se refiere a cinco etapas interconectadas, es decir, definir, medir, analizar, mejorar y controlar que ayudan a las organizaciones a resolver problemas y mejorar sus procesos sistemáticamente.

En la siguiente Gráfica 2-2 se describe el ciclo de mejora Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar (DMAIC) en un proyecto Six Sigma, con los principales aspectos a considerar en cada una de las etapas.

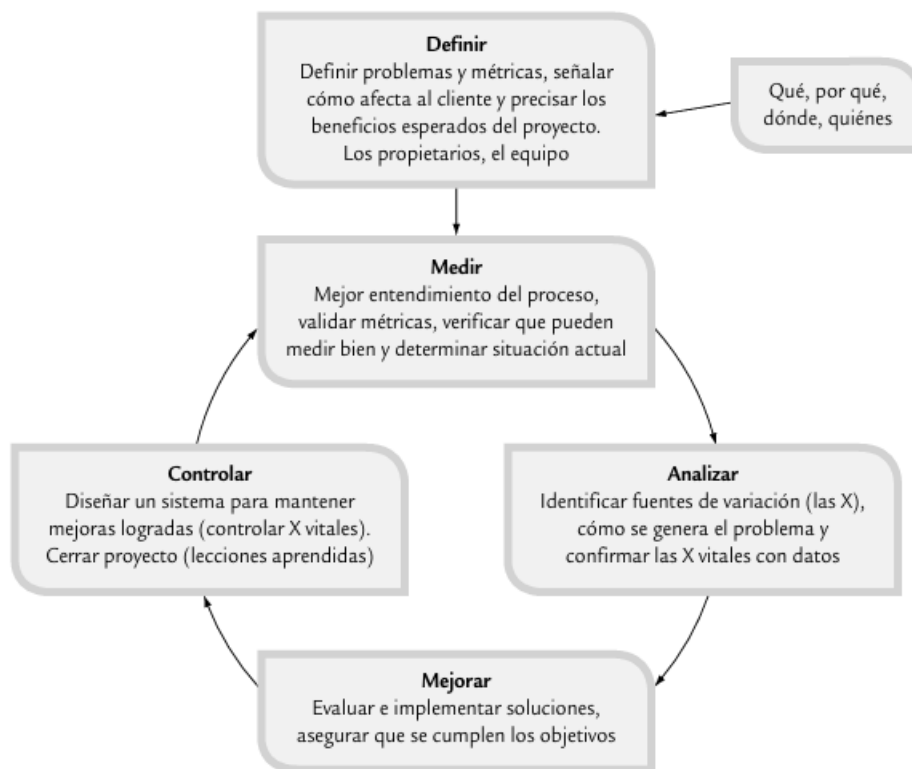


Gráfico 2-2 Las cinco etapas en la realización de un proyecto 6σ

Fuente: Adaptado de Gutiérrez y De la Vara (2013)

- Definir; corresponde la primera fase del proceso de mejora de Six Sigma, se debe desarrollar un diagnóstico, para identificar las áreas que requieren la mejora y cuáles son las variables críticas.
- Medir; conduce a identificar, cuáles son las variables de entrada y salida que se deberán controlar, que permitirán medir la mejora del proceso.
- Analizar; consiste en el análisis estadístico descriptivo de todos los modos de falla, como los efectos de las variables de entrada y salida recolectadas, para establecer los efectos trascendentales e interacciones y desde esa base constituir la ruta para alcanzar la mejora.
- Mejorar; una vez identificado y resaltado los defectos en el proceso, se buscan las soluciones de mejora para reducir los errores. Para ello se realizan reuniones con los líderes, así definir las estrategias para lograr los cambios en el desempeño, la socialización, aceptación y el diseño del control.
- Controlar; representa la última fase y antes de implementar las mejoras a los procesos y subprocesos de la organización se debe realizar una evaluación de cómo será el enlace de las mejoras al proceso, precisando el método y qué medición ejecutar a fin de garantizar que las mejoras a ser implementadas se conserven en el tiempo.

2.2.1.5 Herramientas de Six Sigma

Uno de los elementos claves del éxito en la implementación de la metodología DMAIC es el uso de herramientas estadísticas y de gestión. El uso de cada una de las herramientas depende en gran medida de la fase de la metodología que se esté desarrollando y el tipo de problema que se esté abordando.

- Project charter; es un documento escrito que define la misión del equipo, el alcance de la operación, los objetivos, el tiempo de ejecución y las consecuencias. Los charters pueden ser desarrollados por la alta gerencia y presentados a los equipos, o los equipos pueden crear sus propios charters y presentarlos a la alta gerencia. El charter debe también definir el alcance

operativo. Esta es una oportunidad para identificar los límites organizacionales u operacionales, dentro de los que se espera o autoriza al equipo a operar. Definir los límites es crucial para evitar desgaste de energía y atrasos de tiempo. Los Project charter siempre deben de incluir los siguientes elementos.

Tabla 2-2 Elementos del Project Charter y su descripción

Elemento	Descripción
Propuesta de negocio	La propuesta de negocio es una breve descripción de las razones estratégicas para realizar el proyecto.
Declaración del problema	Una declaración del problema detalla la situación que el equipo desea mejorar.
Negociación del charter	El Project Charter puede ser creado y presentado por la alta gerencia. Sin embargo, el equipo de proyecto podría estar más cerca de los hechos reales y podría proponer una forma diferente de ataque que sea visualizada por la gerencia.
Alcance del proyecto	Se refiere a los límites del proyecto. Es un intento para delimitar el rango de actividades del equipo.
Declaración de la meta	La declaración de la meta será creada y acordada por el equipo y su líder, esta meta debe de ser realista, formulada a partir de históricos de lo que se desea mejorar y de las proyecciones o cálculos que se han realizado basado en el beneficio que va a generar la mejora propuesta.
Hitos y entregables	Para cualquier proyecto bien administrado, se utiliza un grupo de etapas o hitos para mantener el proyecto en su curso y para ayudar a lograr que el proyecto sea completado.
Composición del equipo	Los equipos deben estar conformados por personas calificadas con suficiente experiencia para lograr lo planteado en el charter.
Recursos requeridos	Se deben detallar los recursos requeridos para el proyecto.
Análisis de las partes interesadas (Stakeholders)	Al implementar un proyecto dentro de una organización este siempre se acompaña de cambios, donde diferentes áreas de organización tanto externas como internas se puede ver afectada por estos cambios y generar resistencia a estos; por lo que es importante analizar a todas las partes interesadas de la organización e identificar la forma en la que se pueden involucrar estos a los procesos

Fuente: Adaptado de Opex Mentor Lean Six Sigma Green Belt (2023)

- Mapa de flujo de proceso; el mapeo de un proceso empresarial implica identificar, documentar y visualizar los pasos, tareas y actividades que lo componen, con el objetivo de comprender mejor cómo se realiza el trabajo y cómo se pueden mejorar los procesos. Este proceso implica la creación de un mapa o diagrama de flujo que muestra el proceso de principio a fin, incluyendo

los roles y responsabilidades de los participantes, los pasos que se llevan a cabo, las decisiones que se toman y los sistemas, herramientas y recursos que se utilizan en el proceso, de esta manera, se puede tener una visión clara y completa del proceso y se pueden identificar oportunidades para mejorar la eficiencia y la calidad de este.

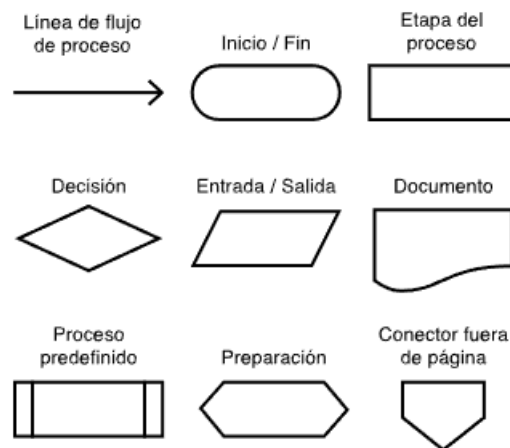


Gráfico 2-3 Símbolos del diagrama de flujo

Fuente: Adaptado de Opex Mentor Lean Six Sigma Green Belt (2023)

- SIPOC; es un mapa de proceso de alto nivel. Es un acrónimo que significa, por sus siglas en inglés, Proveedores (Suppliers), Entradas (Inputs), Proceso (Process), Salidas (Outputs), y Clientes (Customers). es un mapa de proceso de alto nivel.

Proveedores	Entradas	Proceso	Salidas	Clientes
¿Quién suministra lo que se necesita para ejecutar el proceso?	¿Cuáles son los recursos requeridos	¿Qué hace el proceso?	¿Cuál es el resultado esperado del proceso?	¿Qué clientes necesitan la salida de este proceso?

Gráfico 2-4 Modelo SIPOC

Fuente: Adaptado de Opex Mentor Lean Six Sigma Green Belt (2023)

- Diagrama causa-efecto; también llamado como diagrama de Ishikawa, es un método gráfico que relaciona un problema o efecto con los factores o causas que posiblemente lo generan. La importancia de este diagrama radica en que

obliga a buscar las diferentes causas que generan el problema, de esta forma, se evita el error de buscar de manera directa las soluciones sin cuestionar cuáles son las verdaderas causas.

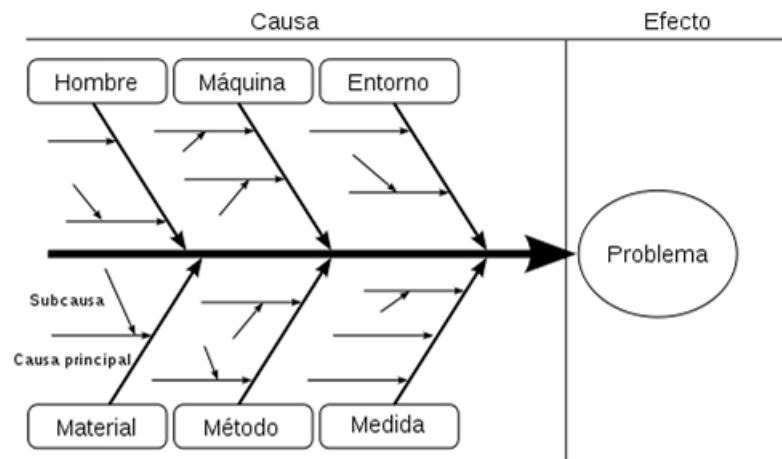


Gráfico 2-5 Diagrama Causa-Efecto

Fuente: Adaptado de Opex Mentor Lean Six Sigma Green Belt (2023)

- Diagrama de Pareto; son gráficos de columnas que se utilizan para priorizar oportunidades de mejora donde se muestran las oportunidades con mayor incidencia y, por ende, las primeras que se deben de estudiar y analizar. Existe un principio, el cual, es denominado “Principio de Pareto” que establece (en la mayoría de los casos) que unas pocas categorías de problemas (aproximadamente un 20%) presentarán la mayor oportunidad de mejora (aproximadamente un 80%).
- Cartas de Control; permite monitorear y analizar el comportamiento del proceso con el paso del tiempo, como también distinguir entre las causas comunes y especiales de variación, y caracterizar el funcionamiento del proceso para tomar las acciones de control y mejora.

En una carta de control se grafican los valores que va tomando un estadístico de una variable en estudio, por ejemplo, una media muestral, un rango, un porcentaje, etc.; estos valores son representados gráficamente mediante puntos que a su vez se unen con una línea recta. La línea central de la gráfica representa el promedio, y las líneas correspondientes a los límites superior e inferior definen el rango de variación del estadístico de la variable. Cuando la

probabilidad de que la mayoría de los valores (puntos) se encuentren dentro de los límites es alta, se dice que el proceso es estadísticamente estable o que se encuentra bajo control estadístico; mientras que, si en la carta de control se observan muchos puntos fuera de sus límites o si éstos siguen un patrón no aleatorio, entonces el proceso es inestable o está fuera de control estadístico. En la Gráfica 2-6 se muestra, a manera de ejemplo, la carta de control de Shewhart.

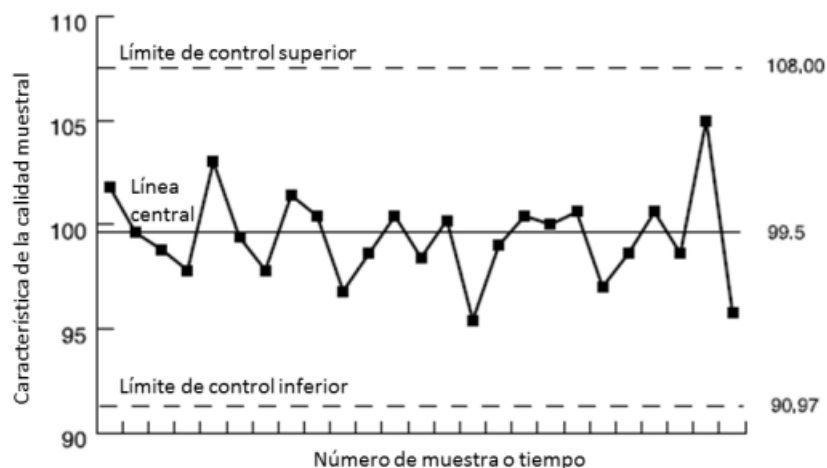


Gráfico 2-6 Ejemplo de gráfico de control

Fuente: Adaptado de Montgomery (2009)

- **Análisis de Capacidad del proceso;** una tarea primordial del control de calidad es conocer la capacidad o habilidad de un proceso, que consiste en determinar la amplitud de la variación natural del proceso para una característica de calidad dada. Esto permitirá saber en qué medida tal característica de calidad es satisfactoria (cumple especificaciones). Los índices de capacidad del proceso C_{pk} y P_{pk} son herramientas estadísticas fundamentales en el aseguramiento de calidad y la mejora continua, tanto en el corto como en el largo plazo. El índice C_{pk} (Índice de capacidad del proceso ajustado) evalúa la capacidad real de un proceso, teniendo en cuenta su variabilidad y su centrado en relación con los límites de especificación, se calcula utilizando la desviación estándar a corto plazo, lo que refleja la variación dentro de los subgrupos del proceso. Por otro lado, el índice P_{pk} (Índice de rendimiento del proceso ajustado) mide el rendimiento real del proceso a largo plazo, considerando la variación total del proceso, incluyendo tanto la variación dentro de los

subgrupos como la variación entre ellos. Esto proporciona una visión más completa del desempeño del proceso a lo largo del tiempo. A continuación, se muestra las ecuaciones.

$$C_{pk} = \text{Mínimo} \left[\frac{\mu - LEI}{3\sigma}; \frac{LES - \mu}{3\sigma} \right]$$

$$P_{pk} = \text{Mínimo} \left[\frac{\mu - LEI}{3\sigma_L}; \frac{LES - \mu}{3\sigma_L} \right]$$

Tabla 2-3 Valores de Cpk y Ppk

Valor de C_{pk} / P_{pk}	Interpretación
< 1.00	El proceso no cumple con las especificaciones
= 1.00	El proceso apenas cumple las especificaciones
>=1.33	Proceso capaz (Valor mínimo recomendado en muchas industrias)
>=1.67	Proceso altamente capaz
>=2.00	Proceso con capacidad excelente

Fuente: Adaptado de Gutiérrez y De la Vara (2013)

- Pruebas Hipótesis; probar una hipótesis consiste en investigar, con base en la evidencia contenida en una muestra seleccionada de manera adecuada, si lo afirmado por la hipótesis nula es verdad o no, y en caso de ser falso, se toma como verdadera la alternativa H_A . La estrategia para probar la hipótesis parte del supuesto de que H_0 es verdadera, y si los resultados de la investigación contradicen en forma suficiente dicho supuesto, entonces se rechaza H_0 y se acepta la hipótesis alternativa. En caso de que los resultados de la investigación no demuestren claramente la falsedad de H_0 , ésta no se rechaza. Es decir, la hipótesis nula es verdadera mientras no se demuestre lo contrario.

Probar una hipótesis estadística es una decisión probabilística, por lo tanto, existe el riesgo de cometer un error tipo I o un error tipo II. El primero ocurre cuando se rechaza H_0 y es verdadera, y el error tipo II es cuando se acepta H_0 y es falsa. En toda prueba de hipótesis cada tipo de error tiene una probabilidad de ocurrir. Con α y β se denotan las probabilidades de los errores tipo I y II, respectivamente. Así:

$\alpha = P \{\text{error tipo I}\} = \text{probabilidad de rechazar } H_0 \text{ cuando es verdadera.}$

$B = P \{\text{error tipo II}\} = \text{probabilidad de aceptar } H_0 \text{ que es falsa.}$

Con el propósito de complementar la información presentada en la investigación, en el Anexo 2 se desarrolla los fundamentos y la integración de las metodologías Lean y Six Sigma.

2.3 Propuesta metodológica

En la Tabla 2-4, se presenta la metodología ejecutada en el proyecto, la cual está definida en las diferentes etapas, herramientas y el resultado esperado.

Tabla 2-4 Metodología propuesta para el desarrollo del proyecto

Fase	Herramienta	Resultado
Definir	Project Charter	Describir detalladamente el Proyecto LSS
	SIPOC	Se realizó el reconocimiento del proceso de cambio de latch bar y de las partes interesadas
	Diagrama de flujo	Se detalló el paso a paso del proceso
	Entrevistas	Se identificó las variables críticas (CTQ) derivadas de la voz del cliente
Medir	SAP	Se extrajeron todos los datos del sistema ERP.
	Cartas de control I-RM	Se midió estadísticamente la estabilidad actual del proceso
	Control estadístico del proceso	Se midió estadísticamente el desempeño actual del proceso
Analizar	Diagrama de causa-efecto	Se diagnosticaron las posibles causas potenciales
	Matriz Causa- Efecto	Se evalúa el impacto de las causas potenciales en las variables de salida
	Diagrama de pareto	Se determinaron las áreas críticas que generaron mayor desperdicio
Mejorar	Cartas de control I-RM	Se compararon de manera objetiva el comportamiento del proceso antes y después de la implementación propuesta
	Control estadístico del proceso	Se midió estadísticamente la capacidad del proceso antes y después.
	Prueba de Hipótesis t	Se comparó el desempeño del proceso antes y después.
Controlar	Cartas de control I-RM	Monitorear comportamiento del proceso.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del presente trabajo

Capítulo 3 Desarrollo del tema

3.1 Aplicación de la metodología DMAIC

Como parte del trabajo seguiremos la herramienta DMAIC a través de sus fases que se mostrarán a continuación.

3.1.1 Fase definir

3.1.1.1 Situación actual

Durante los dos últimos años en la Compañía Minera Antapaccay ha enfrentado dificultades en el cumplimiento con la disponibilidad ofrecida a operaciones respecto a su flota de equipos de carguío, en particular las palas electromecánicas 7495HR. Estas desviaciones han sido asociadas a eventos no planificados y a deficiencias en la ejecución de los mantenimientos programados.



Figura 3-1 Pala Electromecánica 7495HR

Fuente: Manual online SISCAT

En los periodos correspondientes a los años 2023 y 2024, las tendencias muestran que los equipos con codificación 2160, 2161, 2162 y 2163, pertenecientes a la flota 7495HR, no alcanzaron el objetivo de disponibilidad establecida en 95%.

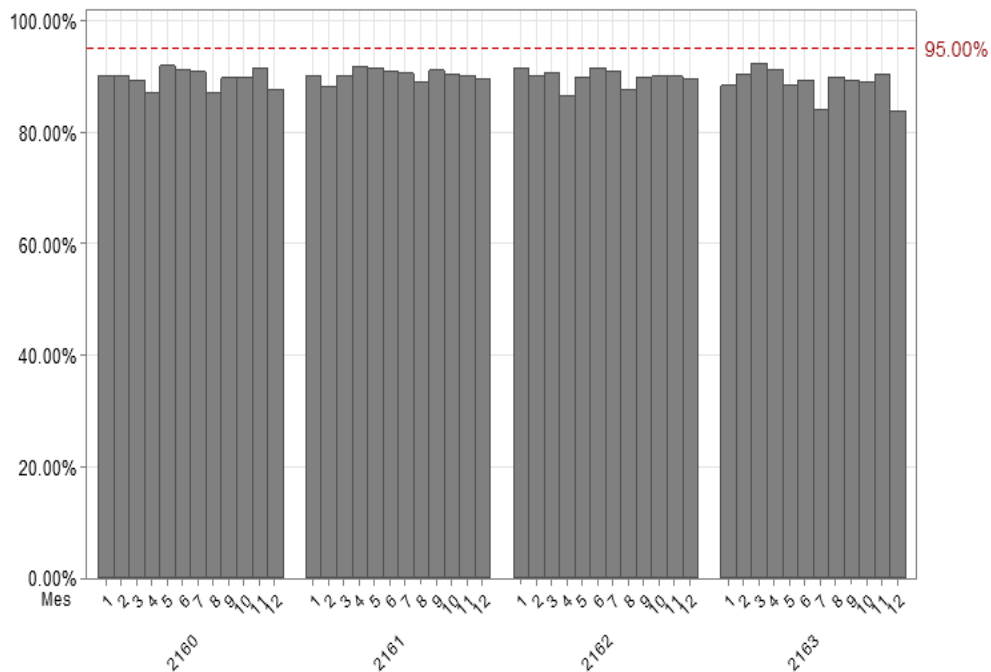


Gráfico 3-1 Disponibilidad de Palas 7495HR 2023

Fuente: Elaboración propia a partir de datos extraídos de Compañía Minera Antapaccay S.A.

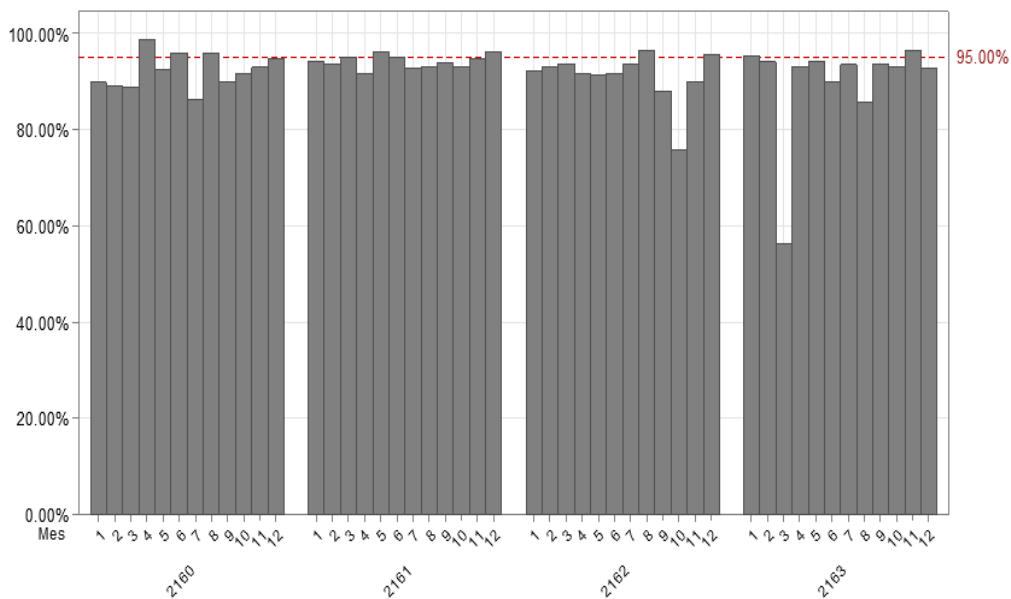


Gráfico 3-2 Disponibilidad de Palas 7495HR 2024

Fuente: Elaboración propia a partir de datos extraídos de Compañía Minera Antapaccay S.A.

En este contexto, se realizó una revisión exhaustiva a las frecuencias de fallas por sistemas del equipo durante los años 2023 y 2024. Los registros evidenciaron un total de 81 y 108 fallas referente a componentes adjuntos, de las cuales aproximadamente

el 52% en 2023 y el 35% en 2024 estuvieron relacionadas con el componente latch bar.

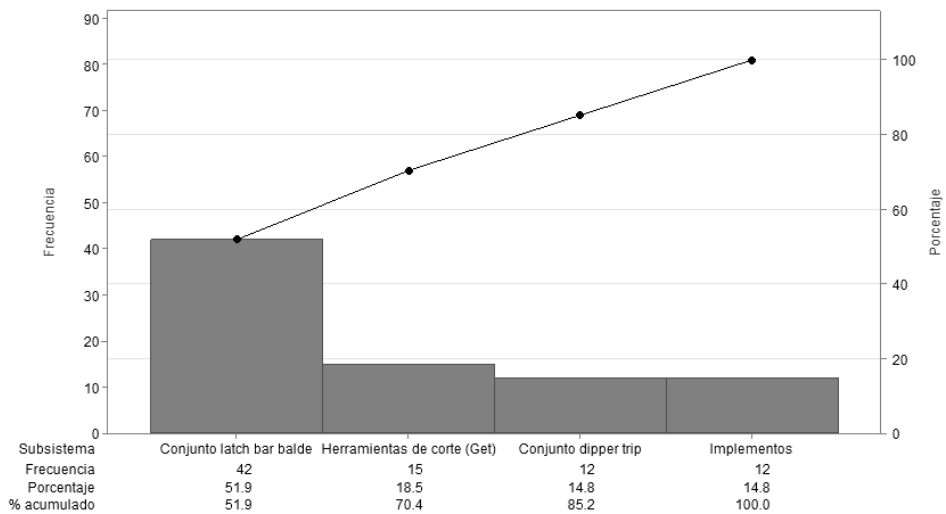


Gráfico 3-3 Análisis de Pareto de frecuencias de falla componentes adjuntos 2023

Fuente: Elaboración propia a partir de datos extraídos de Compañía Minera Antapaccay S.A.

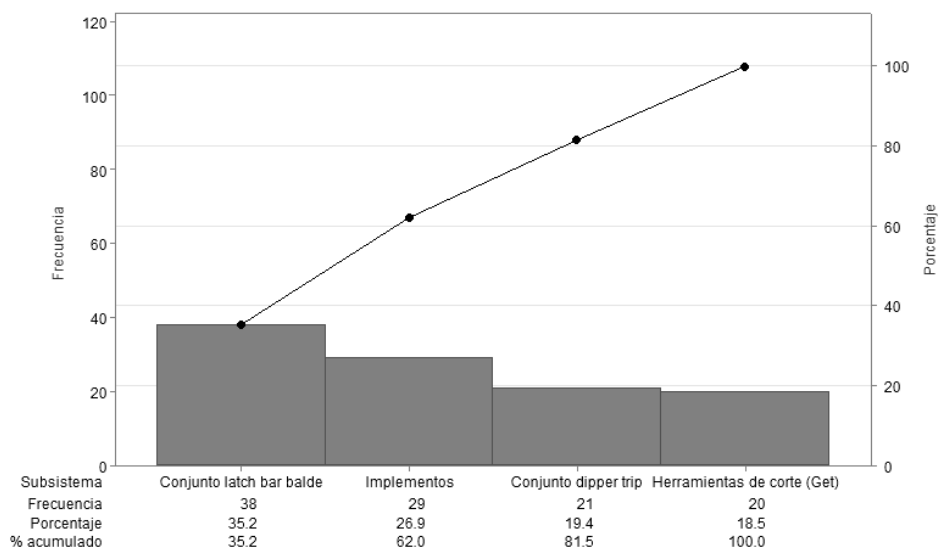


Gráfico 3-4 Análisis de Pareto de frecuencias de falla componentes adjuntos 2024

Fuente: Elaboración propia a partir de datos extraídos de Compañía Minera Antapaccay S.A.

Asimismo, se analizaron los tiempos de inactividad asociados a las averías, determinándose que las fallas vinculadas al latch bar representaron el 67% del tiempo total de inactividad en 2023 y el 63% en 2024, equivalentes a 164.9 y 143.2 horas de parada, respectivamente. Estos resultados demuestran que el latch bar contribuye de manera significativa tanto a la frecuencia de fallas como a la pérdida de disponibilidad

de las palas 7495HR, lo que resalta la necesidad de optimizar el proceso de cambio mediante un enfoque sistemático de mejora continua.

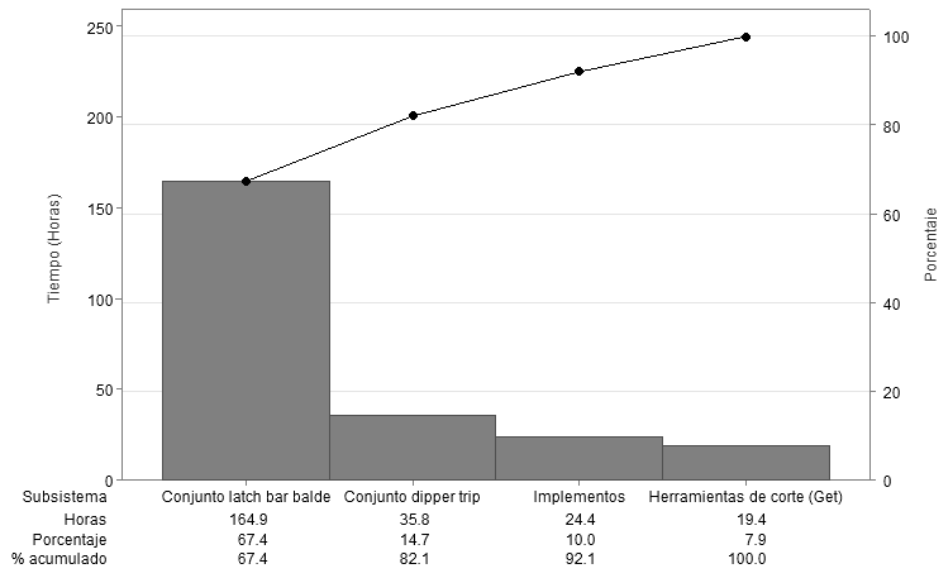


Gráfico 3-5 Análisis de Pareto del tiempo de avería componentes adjuntos 2023

Fuente: Elaboración propia a partir de datos extraídos de Compañía Minera Antapaccay S.A.

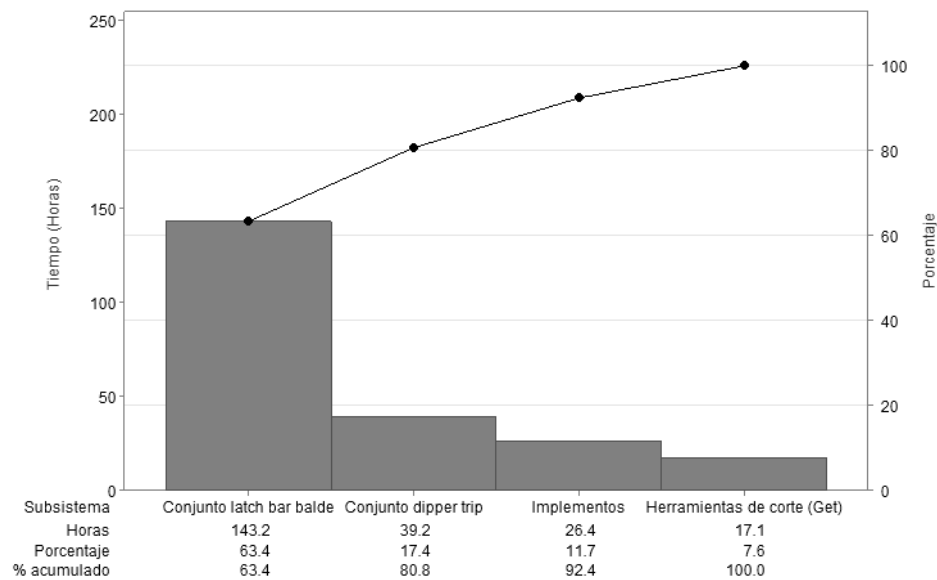


Gráfico 3-6 Análisis de Pareto del tiempo de avería componentes adjuntos 2024

Fuente: Elaboración propia a partir de datos extraídos de Compañía Minera Antapaccay S.A.

3.1.1.2 Planteamiento del problema

Los datos históricos muestran que el componente latch bar es uno de los subsistemas más críticos de la Compañía Minera Antapaccay, por ende, se vio como oportunidad de mejora la revisión de su proceso de cambio.

En los registros del área de mantenimiento mina se evidencia que el proceso actual de cambio del componente latch bar se ejecuta con una frecuencia de 1,500 horas operativas, equivalente a un intervalo aproximado de dos meses. Sin embargo, dicho proceso presenta alta variabilidad en los tiempos de intervención, lo que genera pérdidas significativas de disponibilidad, afectando el cumplimiento del objetivo de disponibilidad del 95% establecido por la organización para los equipos de carguío y ocasionando un impacto directo en continuidad operativa y la productividad minera.

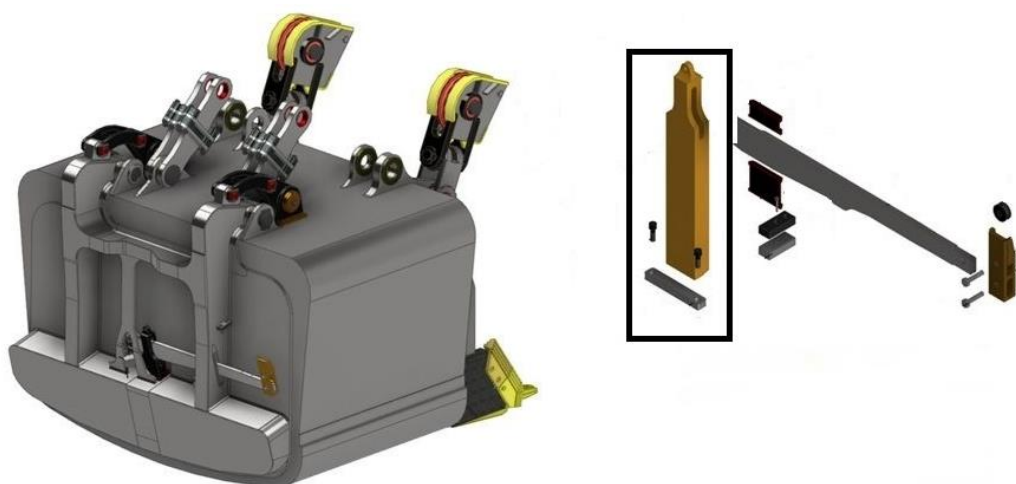


Figura 3-2 Latch bar 7495HR

Fuente: Manual online SISCAT

3.1.1.3 Acta del proyecto

Con el propósito de sintetizar los aspectos esenciales del estudio y establecer de manera precisa su propósito, alcance, objetivos y responsabilidades, se procedió a la elaboración del Project Charter correspondiente al proyecto de mejora. Este documento se formuló considerando la situación actual que atraviesa la empresa, a fin

de enmarcar formalmente la iniciativa dentro de un contexto metodológico y operativo que oriente su ejecución y facilite el cumplimiento de los objetivos propuestos.

Tabla 3-1 Project Charter del proceso de cambio del latch bar

1. Identificación del proyecto					
Título: Optimizar el tiempo de intervención en el proceso de cambio de del latch Bar en la flota de palas electromecánicas 7495HR					
Declaración del problema: El proceso de cambio del componente latch bar presenta una alta variabilidad en los tiempos de ejecución, superando en numerosas ocasiones el tiempo estándar establecido para su correcta intervención. Esta situación se debe a diversos factores operativos y de gestión, los cuales generan ineficiencias en la ejecución y repercuten negativamente en el cumplimiento de disponibilidad.					
Objetivo: Proponer la mejora del proceso de cambio del latch bar de la flota de palas electromecánicas mediante la aplicación de la metodología Six Sigma, con el propósito de optimizar los tiempos de intervención.					
Alcance: El proyecto abarca a la flota de palas de modelo 7495 HR, específicamente a los de codificación 2160, 2161, 2162 y 2163,					
Impacto en el cliente: Asegurar el cumplimiento del objetivo de tiempo de intervención en el cambio del latch bar.					
Área: Mantenimiento mina		Inversión: 224,749.00 USD anual		Ahorro Proyectado: 634,510.09 USD anuales	
2. Equipo del proyecto					
Champion: Gerente Mantenimiento Mina		Planeamiento: Ingeniero de planificación		Confiabilidad: Ingeniero de confiabilidad	
				Ejecución: Supervisores de turno	
3. Métricas del proyecto					
Tiempo de cambio del latch bar:				Costos:	
Actual- ≥ 5 horas				Actual- 128,924.83 USD Mensual	
Objetivo- 3 a 4 horas				Objetivo- 76,048.99 USD Mensual	
4. Cronograma del proyecto					
Duración	12 meses	Fecha de inicio	1 Enero de 2026	Fecha de finalización	31 Diciembre de 2026
Fases	Inicio-Fin			Responsable	
Definir	Inicio: 01-01-2026			Champion	Confiabilidad
	Fin: 31-01-2026			Ejecución	Planeamiento
Medir	Inicio: 01-02-2026			Confiabilidad	Ejecución
	Fin: 28-02-2026			Planeamiento	
Analizar	Inicio: 01-03-2026			Confiabilidad	Ejecución
	Fin: 31-03-2026			Planeamiento	
Mejorar	Inicio: 01-04-2026			Confiabilidad	Ejecución
	Fin: 30-06-2026			Planeamiento	
Controlar	Inicio: 01-07-2026			Confiabilidad	Ejecución
	Fin: 31-12-2026			Planeamiento	

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del presente trabajo

3.1.1.4 Diagrama SIPOC

Para el reconocimiento y descripción del proceso de cambio de latch bar se utilizará el diagrama SIPOC. Esta información será un aporte significativo porque va a permitir dar el enfoque adecuado de la organización y su interacción entre cliente- proveedor.

Proveedores	Entradas			Proceso	Salidas	Clientes
Operaciones mina	-Pala electromecánica			Ubicación de pala y su cucharón	Pala electromecánica posicionada	Supervisores de turno
Supervisores de turno y contratista ECOAT	-Conos de seguridad	-Elementos de bloqueo	-Materiales de limpieza	Coordinación y preparación del área de trabajo	Condiciones de área segura y limpia	Supervisores de turno
Almacenero de pañol (Logística), Supervisores de turno y supervisor de flota liviana	-Catch bar (Nuevo) -Seguros del latch bar y espada - 2 pernos de 5/8 x8 -Electrodo chanfer cord -Comba berilio de 25 libras.	-Estuche de herramientas -Barretas -Grilletes de ¾ -Eslingas de 1Tn x 3m	-Soga para viento -Camioneta 4x4 -Máquina de soldar portátil -Camión grúa telescópica 14 Tn	Revisión y verificación del componente, herramientas, materiales y equipos	Componentes, herramientas, materiales y equipos en buen estado y completos	Supervisores de turno
Supervisores de turno y contratista METCOM	-Electrodo chanfer cord -Comba berilio de 25 libras. -Estuche de herramientas	-Barretas -Grilletes de ¾ -Eslingas de 1Tn x 3m	-Soga para viento -Máquina de soldar portátil -Camión grúa telescópica 14 Tn	Desmontaje del latch bar usado	Latch bar reemplazado correctamente	Supervisores de turno
Supervisores de turno y contratista METCOM	-Latch bar (Nuevo) -Seguros del latch bar y espada - 2 pernos de 5/8 x8 -Comba berilio de 25 libras.	-Estuche de herramientas -Barretas -Grilletes de ¾ -Eslingas de 1Tn x 3m	-Soga para viento -Camioneta 4x4 -Máquina de soldar portátil -Camión grúa telescópica 14 Tn	Instalación del nuevo latch bar		Supervisores de turno

Supervisores de turno y contratista METCOM	-Electrodo chanfer cord -Comba berilio de 25 libras -Estuche de herramientas -Barretas -Máquina de soldar portátil	Ajuste, torqueo y prueba de funcionamiento ↓	Latch bar reemplazado correctamente	Supervisores de turno
Supervisores de turno	-Pala electromecánica	Liberación del equipo ↓	Equipo disponible para su utilización.	Operaciones mina
Supervisores de turno	-Formato de OT impreso	Notificación y cierre de la orden de trabajo en SAP	Registro de fecha, horas, cantidad y duración de la ejecución.	Planeamiento mina

Gráfico 3-7 SIPOC del proceso de cambio del latch bar

Fuente: Elaboración propia a partir de datos extraídos de Compañía Minera Antapaccay S.A.

3.1.1.5 Mapeo del proceso

Con el fin de obtener una comprensión integral del desarrollo de las actividades asociadas al cambio del latch bar en la flota de palas electromecánicas 7495HR, se elaboró un diagrama de flujo que representa de manera secuencial y estructurada cada una de las etapas que conforman dicho proceso.

El análisis del diagrama permite evidenciar que el procedimiento de cambio del latch bar involucra múltiples fases que requieren una coordinación efectiva entre las áreas de Planeamiento, Operaciones, Ejecución, Logística y Flota Liviana, a fin de garantizar la eficiencia operativa y minimizar los tiempos de inactividad del equipo.

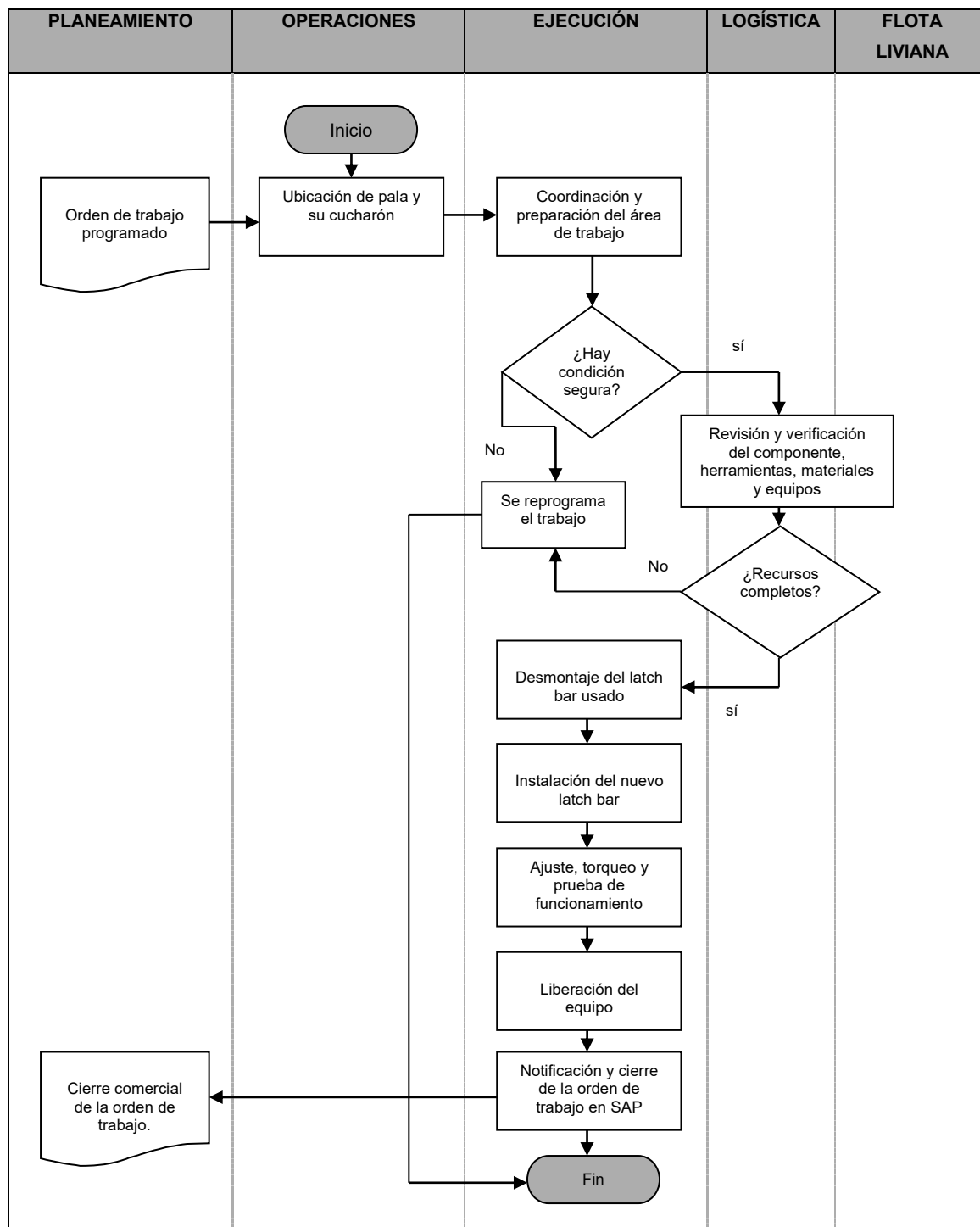


Gráfico 3-8 Diagrama de flujo del proceso de cambio del latch bar

Fuente: Elaboración propia a partir de datos extraídos de Compañía Minera Antapaccay S.A.

3.1.1.6 Identificación de las variables críticas para la calidad (CTQ)

En el presente estudio, las variables consideradas críticas para la calidad (Critical to Quality – CTQ) por parte del cliente interno —representado por el área de Operaciones mina— fueron identificadas a partir de las características y requisitos funcionales que dicho cliente establece en relación con el proceso. Estas variables se definieron con el propósito de asegurar que los resultados operativos cumplan con los estándares de desempeño esperados, contribuyendo de esta manera al incremento de la disponibilidad y confiabilidad de la flota de palas electromecánicas 7495HR.

A continuación, se presentan las variables críticas para la calidad definidas en el marco del proyecto:

- **Tiempo total de cambio del latch bar;** esta variable constituye un factor determinante en el desempeño operativo, ya que presenta una incidencia directa tanto en la disponibilidad del equipo como en el cumplimiento de los planes de mantenimiento programados. La optimización de este tiempo resulta esencial para reducir los periodos de inactividad, mejorar la eficiencia del proceso de intervención y asegurar el cumplimiento de los objetivos de disponibilidad.
- **Disponibilidad del equipo;** se ve directamente influenciada por el tiempo total de cambio del latch bar, este indicador refleja la proporción del tiempo en que la pala electromecánica se encuentra operativa respecto al tiempo total disponible.
- **Índice de seguridad;** esta variable es importante para la organización como para el cliente, dado que la seguridad constituye un valor no negociable. Cabe resaltar que, hasta la fecha, no se han registrado incidentes ni accidentes relacionados con la ejecución de dicho proceso, lo que evidencia un adecuado cumplimiento de las prácticas de seguridad operacional.

De las diferentes CTQ's, identificadas, se medirá el desempeño del proceso sobre la variable "Tiempo total de cambio del latch bar", dado que su optimización tiene un

impacto directo y significativo sobre la disponibilidad como en la satisfacción de las necesidades del cliente interno.

Tabla 3-2 Variable críticas para la calidad (CTQ) del proceso de cambio del latch bar

CTQ	Descripción	Indicador de salida (Y)	Unidad	Meta esperada
Tiempo total de cambio del latch bar	Corresponde al tiempo total requerido para ejecutar el cambio del latch bar, desde el inicio de la intervención hasta la liberación del equipo	Tiempo de intervención	Horas	3 a 4 horas por cambio

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del presente trabajo

Para el CTQ referido de la Tabla 3-2, se estableció su indicador que facilitará la medición de este.

Como cierre de la fase definir, se destaca que se logró establecer la situación actual del proceso, identificando su principal falencia y diagnosticando la necesidad y requerimiento del cliente interno.

3.1.2 Fase medir

Una vez identificado el CTQ de interés para el desarrollo de la metodología de mejora, se procedió a realizar la medición del estado actual del proceso, empleando diversas herramientas estadísticas.

3.1.2.1 Plan de recolección de datos

El plan de recolección de datos se diseñó con el propósito de obtener información confiable y representativa del proceso de cambio del latch bar en la flota de palas electromecánicas 7495HR, permitiendo evaluar su desempeño actual e identificar las principales fuentes de variabilidad.

La información recopilada servirá como base fundamental para la cuantificación del CTQ seleccionado, correspondiente al tiempo total de cambio del latch bar, permitiendo establecer una línea base precisa del desempeño actual del proceso.

Para ello, se establecieron las siguientes consideraciones:

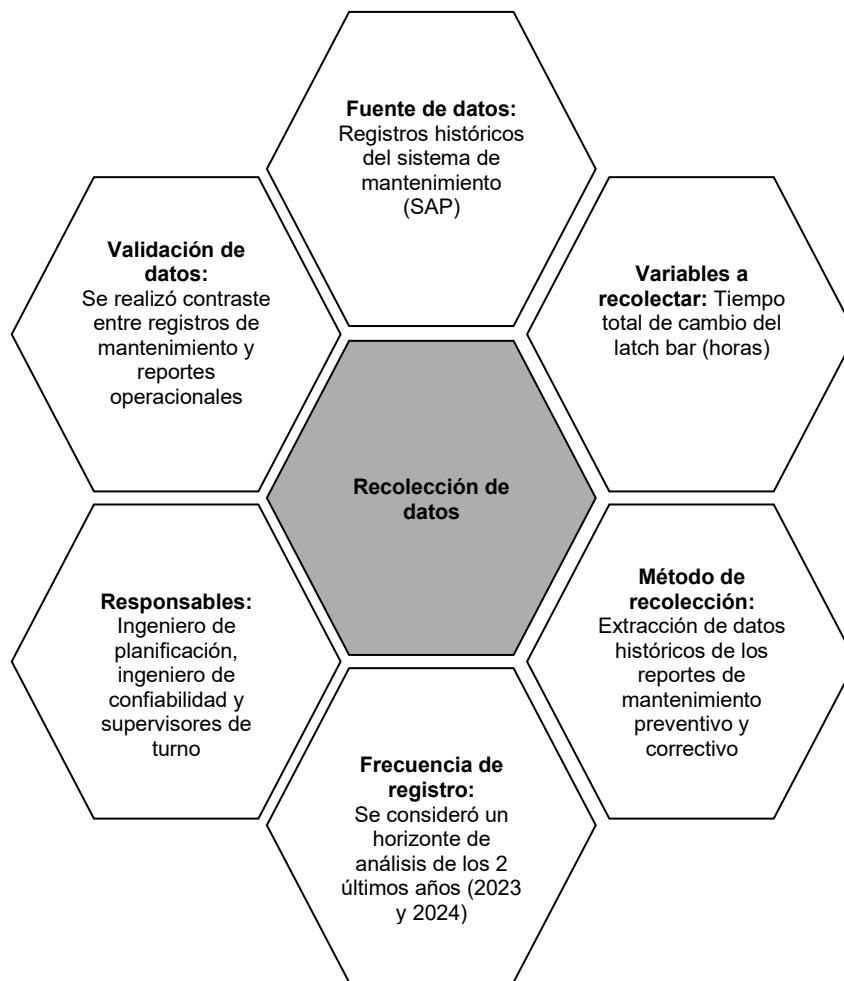


Gráfico 3-9 Diagrama hexagonal del plan de recolección de datos
Fuente: Elaboración propia a partir de datos del presente trabajo

Los datos obtenidos se presentan en la tabla correspondiente del Anexo 3.

3.1.2.2 Gráfica de control

Antes de proceder con el monitoreo y análisis del comportamiento del proceso a lo largo del tiempo, se verificó la hipótesis de normalidad de los datos. Tal como se observa en el Gráfico 3-10, el valor de p (0,150) resultó superior al nivel de significancia establecido ($\alpha = 0,05$), lo que permite concluir que los datos presentan una distribución normal.

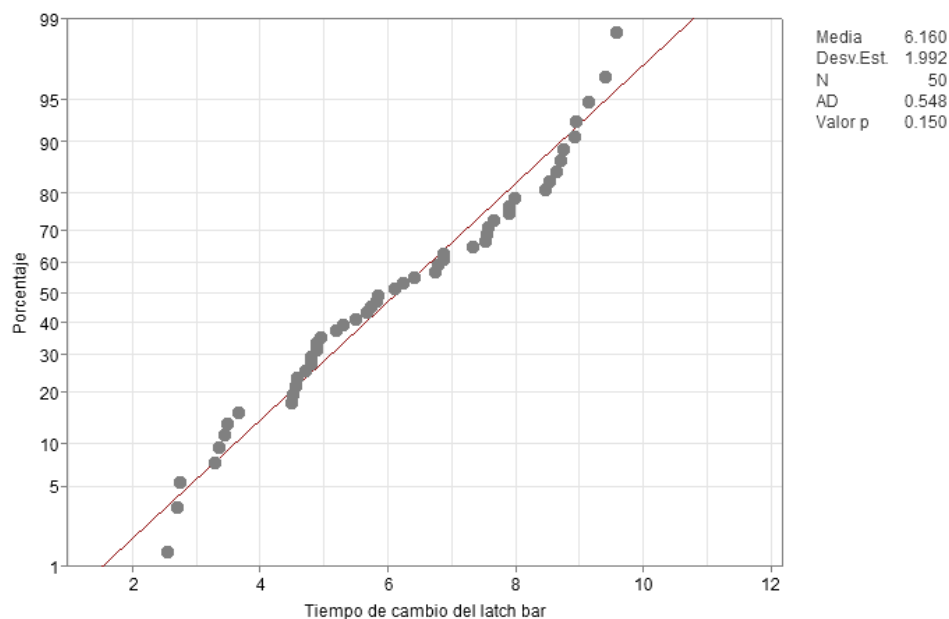


Gráfico 3-10 Probabilidad normal

Fuente: Elaboración propia a partir de datos extraídos de Compañía Minera Antapaccay S.A

Para verificar la consistencia del proceso y determinar su grado de control estadístico, se aplicaron gráficas de control de tipo I-MR (individuales y rangos móviles).

Del Gráfico 3-11, correspondiente a los valores individuales, se observa que todos los puntos se encuentran dentro de los límites de control establecidos, sin evidenciarse patrones ni tendencias anómalas que indiquen la presencia de causas especiales de variación. El promedio del tiempo total de cambio registrado es de 6.16 horas, mientras que los límites de control naturales del proceso se encuentran en $LCS = 12.45$ horas y $LCL = 0.12$ horas.

Asimismo, en el gráfico de rangos móviles no se identificaron desplazamientos significativos ni comportamientos fuera de los límites de control. En consecuencia, se puede inferir que el proceso opera aparentemente bajo control estadístico.

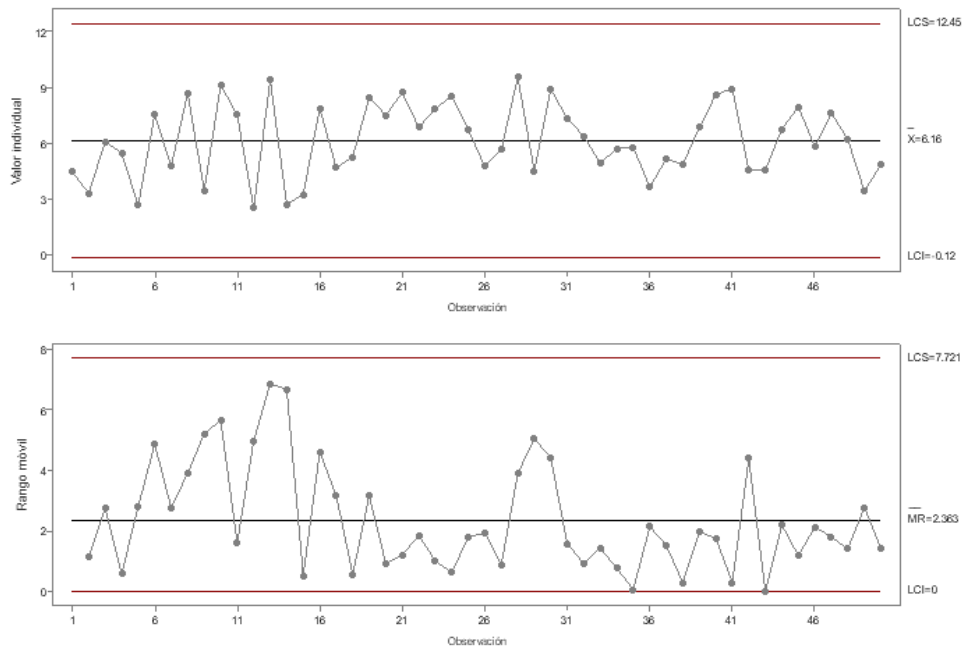


Gráfico 3-11 Carta de control del tiempo de cambio del lach bar

Fuente: Elaboración propia a partir de datos extraídos de Compañía Minera Antapaccay S.A

Por lo tanto, el proceso se considera estable y apto para proceder con el análisis de capacidad.

3.1.2.3 Capacidad del proceso

Con el propósito de evaluar si el proceso es capaz de cumplir con las especificaciones establecidas, se efectuó una medición del estado actual mediante el cálculo de los índices de capacidad estadística del proceso.

En el Gráfico 3-12 de capacidad se observa que el proceso presenta una media de 6.16 horas, con una desviación estándar de 1.99 horas a largo plazo y 2.09 horas a corto plazo. Al considerar el límite superior de especificación ($LES = 4$ horas) y límite inferior de especificación ($LEI=3$), se evidencia que la mayor parte de las observaciones se encuentran fuera del rango permitido, indicando un desempeño no conforme con los estándares establecidos.

Los índices de capacidad $C_p = 0.08$ y $P_p = 0.08$ evidencian que la variabilidad total del proceso es muy superior al rango permitido por el límite de especificación, lo que indica una incapacidad estructural para cumplir con el estándar de tiempo definido. Asimismo, los valores obtenidos $C_{pk} = -0.34$ y $P_{pk} = -0.36$ confirman que el proceso,

además de ser incapaz, se encuentra descentrado y operando por encima del límite máximo permitido, generando una alta proporción de intervenciones fuera de especificación.

En conjunto, estos resultados demuestran que el proceso carece de estabilidad y control, y que en su condición actual no es capaz de garantizar un desempeño consistente ni conforme a los requerimientos operacionales.

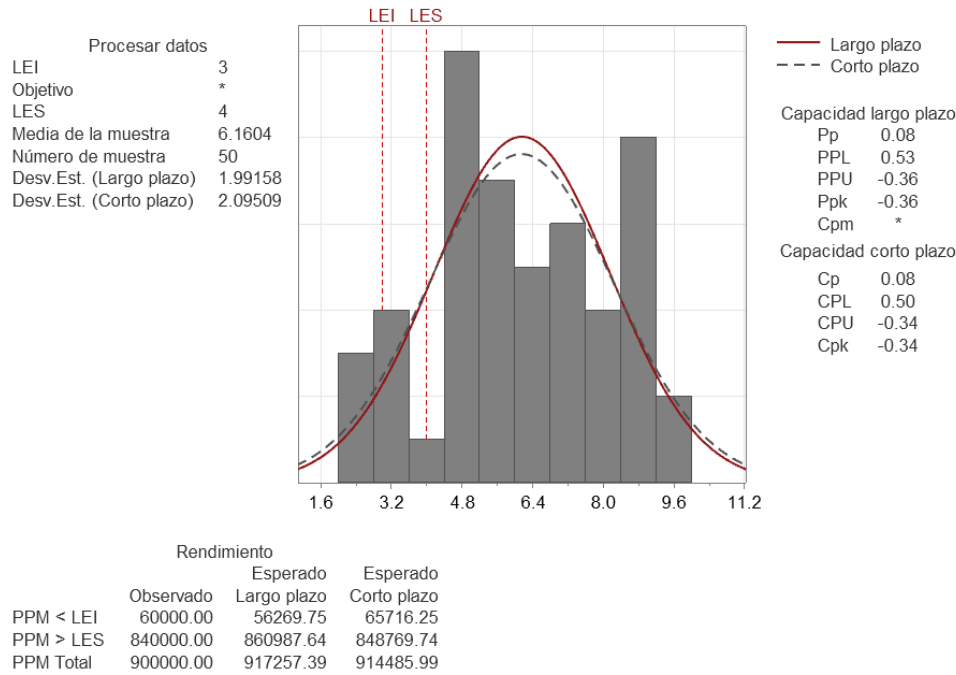


Gráfico 3-12 Capacidad del proceso del tiempo de cambio del latch bar

Fuente: Elaboración propia a partir de datos extraídos de Compañía Minera Antapaccay S.A

El rendimiento del proceso muestra que una proporción considerable de los datos se encuentra fuera del límite de especificación superior, equivalente a aproximadamente 860,987.64 partes por millón (PPM) fuera de tolerancia. Asimismo, el valor de $C_{pk} = -0.34$ y $P_{pk} = -0.36$ corresponde a un nivel sigma de 0.41, evidenciando que el desempeño actual del proceso no cumple con los requerimientos del cliente.

En síntesis, el Gráfico 3-13 confirma que, aunque el proceso presenta estabilidad estadística, su capacidad actual es insuficiente para cumplir con los tiempos de cambio establecidos. Por tanto, se justifica la necesidad de implementar acciones de

mejora orientadas a reducir la variabilidad, optimizar los tiempos de ejecución y elevar la eficiencia operativa del proceso.

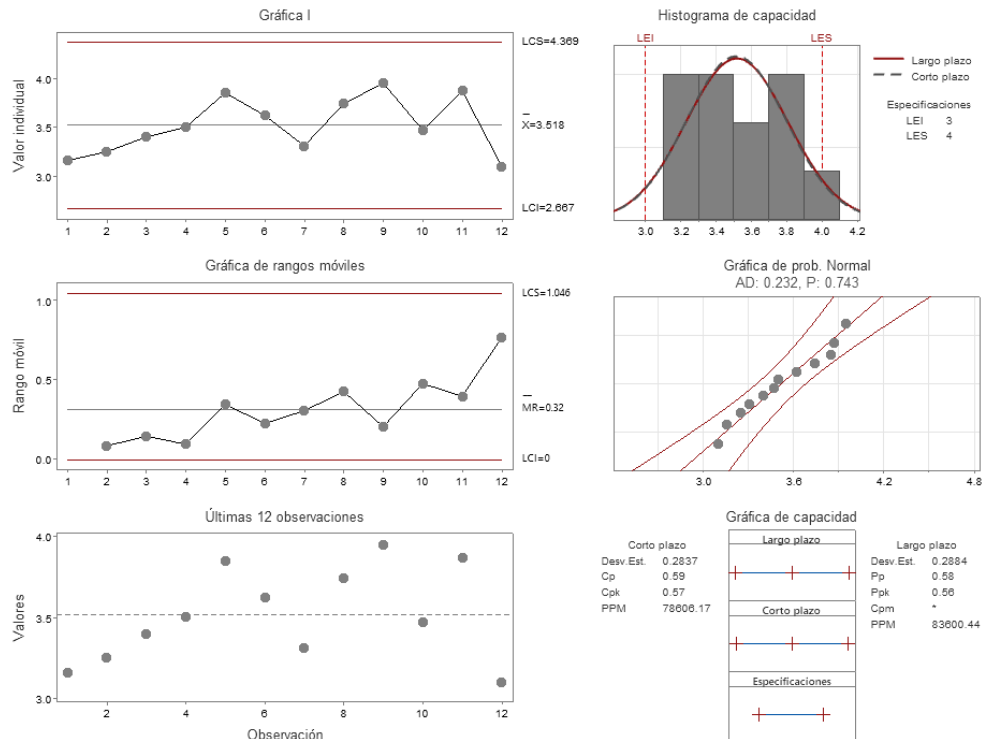


Gráfico 3-13 Sixpack de capacidad del proceso del tiempo de cambio del latch bar

Fuente: Elaboración propia a partir de datos extraídos de Compañía Minera Antapaccay S.A

3.1.3 Fase analizar

De acuerdo con los resultados obtenidos en la sección anterior, se identificaron diversas problemáticas que se presentan a lo largo del tiempo de cambio del latch bar. En este contexto, resulta fundamental analizar e investigar las causas raíz que originan la variación del proceso.

3.1.3.1 Análisis de causas potenciales

Con el propósito de identificar las variables que pudieran estar afectando el desempeño del proceso, se realizaron entrevistas con los diferentes supervisores de turno. A partir de la información recopilada, se elaboró el diagrama de causa y efecto (Gráfico 3-14), en la cual se presentan las causas principales clasificadas en seis categorías: Mano de obra, Materiales, Métodos, Máquinas, Mediciones y Medio ambiente.

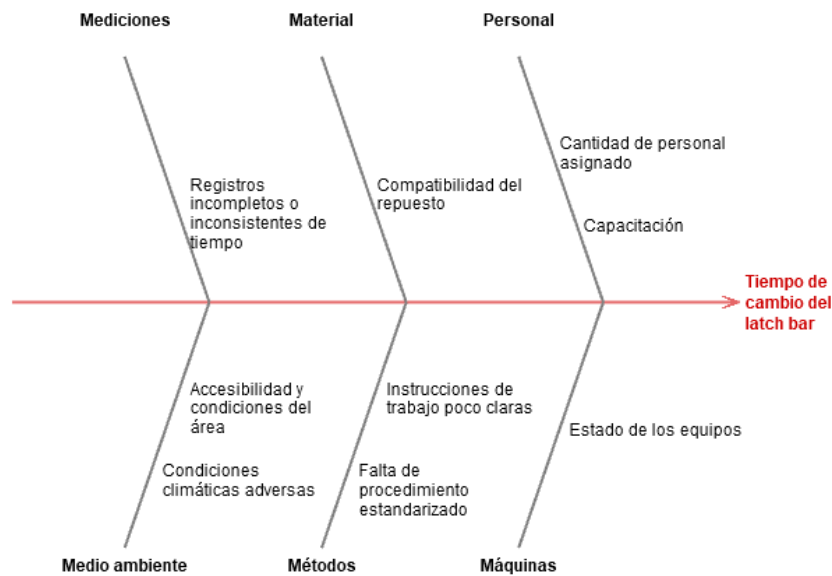


Gráfico 3-14 Diagrama de causa y efecto

Fuente: Elaboración propia a partir de datos extraídos de Compañía Minera Antapaccay S.A

Posteriormente, se elaboró una matriz XY, que se observa en la Tabla 3-3, de esta forma se obtuvo una lista priorizada de las causas que generaban los defectos más frecuentes. La matriz XY además permite identificar las relaciones entre los defectos y sus diferentes causas, esto es muy importante considerando que un defecto puede ser causado por varios factores y es necesario tratarlo a partir de ellos, de forma priorizada.

Tabla 3-3 Matriz XY

Variables (X's)	Peso	Variables (Y's)			Puntaje	Prioridad
		Cumplimiento del trabajo programado 10	Calidad del trabajo 9	Seguridad Operacional 8		
Mediciones						
Registros incompletos o inconsistentes de tiempo		2			38	9
Material						
Compatibilidad del componente		9	8	5	202	2
Personal						
Cantidad de personal asignado		5	4	7	142	7
Capacitación		3	3	4	89	8
Medio ambiente						
Condiciones climáticas adversas		7	6	6	172	4
Accesibilidad y condiciones del área		8	6	8	198	3
Métodos						
Falta de procedimiento estandarizado		9	9	8	235	1
Instrucciones de trabajo poco claras		6	6	6	162	5
Máquinas						
Estado de los equipos livianos		5	5	7	151	6

Fuente: Elaboración propia a partir de datos extraídos de Compañía Minera Antapaccay S.A

La prioridad indica cuáles son las causas que se deben eliminar con mayor urgencia, esto permite un proceso de mejora enfocado en eliminar los defectos más importantes.

Con ello se realizó una toma de datos que permitió realizar un diagrama de Pareto (ver Gráfico 3-15).

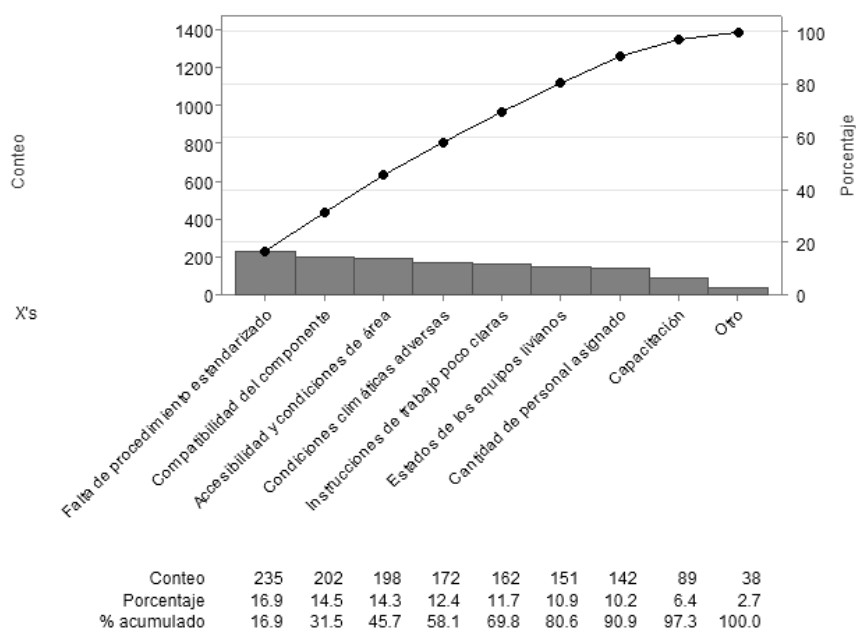


Gráfico 3-15 Análisis de Pareto de las variables X's

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del presente trabajo

Como se muestra en el Diagrama de Pareto (Gráfico 3-15), las seis principales causas que provocaron cerca del 80 % de los problemas fueron los siguientes:

- Falta de procedimiento estandarizado
- Compatibilidad del componente
- Accesibilidad y condiciones de área
- Condiciones climáticas adversas
- Instrucciones de trabajo poco claras
- Estados de los equipos livianos

Es importante señalar que se excluyó del análisis la variable “Condiciones climáticas adversas”, dado que se trata de un factor externo sobre el cual la organización no posee control operativo directo.

3.1.3.2 Análisis del proceso

Es fundamental presentar el análisis de las principales causas raíz identificadas que afectan el tiempo de cambio del latch bar, con el objetivo de comprender su influencia específica en el desempeño del proceso actual.

- **Falta de procedimiento estandarizado;** aunque la organización cuenta con algunos PETS (Procedimientos Escritos de Trabajo Seguro), no existe un procedimiento específico para el cambio de latch bar. Esta ausencia genera variaciones significativas en la ejecución de las tareas durante cada guardia, lo que repercute directamente en el tiempo total del proceso. Asimismo, sin una guía estandarizada, el personal de campo puede seguir secuencias distintas, realizar pasos innecesarios o pasar por alto aspectos críticos, lo que incrementa la duración de la intervención y eleva el riesgo de errores o retrabajos.
- **Compatibilidad del componte;** si bien todos los equipos utilizan el mismo tipo de latch bar, no existía una documentación ni comunicación formal que indicara que en uno de los equipos (Pala 2163) se empleaba un componente con medidas diferentes. Esta situación provocaba que, durante el cambio, el personal de campo intentara subsanar las diferencias mediante modificaciones, lo que generaba extender el tiempo de cambio y aumentando las probabilidades de desgaste prematuro o necesidad de reemplazos anticipados del componente.
- **Accesibilidad y condiciones de área;** las limitaciones en la accesibilidad al área de trabajo y las condiciones físicas del entorno constituyen factores que influyen directamente en la eficiencia y la seguridad durante el cambio de latch bar. En algunos casos, la información y coordinación previa respecto a la zona donde se llevará a cabo la labor no son lo suficientemente precisas, lo que obliga a realizar nuevas gestiones con el área de Operaciones para reubicar el equipo en un espacio más adecuado, generando retrasos y afectando la continuidad del proceso.
- **Instrucciones de trabajo poco claras;** esta causa se relaciona directamente con la falta de un procedimiento estandarizado. Si bien existen algunos manuales disponibles, estos presentan descripciones generales y ambiguas que no especifican con precisión la secuencia de tareas, las herramientas requeridas ni los criterios de verificación. Esta carencia de detalle genera interpretaciones diversas entre el personal, afectando la uniformidad y eficiencia en la ejecución del cambio de latch bar.

- **Estados de los equipos livianos;** específicamente el camión grúa que se utiliza durante el cambio de latch bar presenta deficiencia por falta de mantenimiento preventivo, desgaste de componentes o disponibilidad limitada, lo que dificulta su correcto funcionamiento durante la intervención. Asegurar el adecuado estado operativo de los equipos livianos con el área correspondiente permitiría mejorar la continuidad de las tareas y reducir tiempos improductivos.

3.1.4 Fase mejorar

Con el propósito de optimizar el tiempo de cambio del latch bar y mejorar la eficiencia del proceso, se proponen soluciones orientadas a eliminar o mitigar las causas raíz identificadas durante la fase de análisis.

3.1.4.1 Propuesta de mejora

Las acciones propuestas se fundamentan en aquellos factores sobre los cuales la organización posee control operativo, enfocándose en el contexto y las condiciones reales de la operación.

- **Falta de procedimiento estandarizado;** se elaboró un Procedimiento Estándar de Trabajo (PET) específico para el cambio del latch bar (ver Anexo 4), el cual detalla de manera secuencial las actividades a realizar, las herramientas requeridas, los criterios de verificación y las medidas de seguridad aplicables. Esta acción permitirá reducir las variaciones entre el personal de campo de cada guardia, evitar pasos innecesarios y garantizar la correcta ejecución del proceso. Además, se plantea capacitaciones prácticas para el personal técnico con el fin de asegurar la comprensión y aplicación uniforme del nuevo procedimiento.
- **Compatibilidad del componte;** se propone realizar la identificación y el registro en el sistema SAP y en el PETS de los números de parte correspondientes a los dos tipos de latch bar utilizados en la flota de palas 7495HR. Esta medida tiene como objetivo facilitar al área de Planeamiento la gestión eficiente de la adquisición de dichos componentes, asegurando la trazabilidad y disponibilidad oportuna de los repuestos requeridos. De igual forma, esta acción permitirá garantizar la compatibilidad del componente con

cada equipo, reduciendo la posibilidad de errores o demoras durante el proceso de cambio.

Adicionalmente, los supervisores de turno han reportado que el componente presenta un desgaste prematuro, sin alcanzar su PCR (Punto de Cambio Recomendado), lo que evidencia una disminución en su vida útil operativa. Ante esta situación, se considera pertinente evaluar el cambio de proveedor, fundamentado en dos aspectos principales: el alto costo del proveedor actual (OEM) y el incumplimiento del rendimiento esperado del componente según su especificación técnica.



Figura 3-3 Diferentes tipos de Latch Bar

Fuente: Imágenes tomadas en el taller de Compañía Minera Antapaccay S.A

- **Accesibilidad y condiciones de área;** se propone fortalecer la planificación previa a la intervención mediante una coordinación efectiva entre las áreas de Operaciones y Mantenimiento, con el fin de asegurar que la ubicación de la pala permita un acceso adecuado, seguro y con espacio suficiente para la ejecución del cambio de latch bar. Estas acciones contribuirán a evitar reprogramaciones o traslados de último momento, reducir demoras por condiciones inadecuadas y mejorar la seguridad del personal durante la intervención.

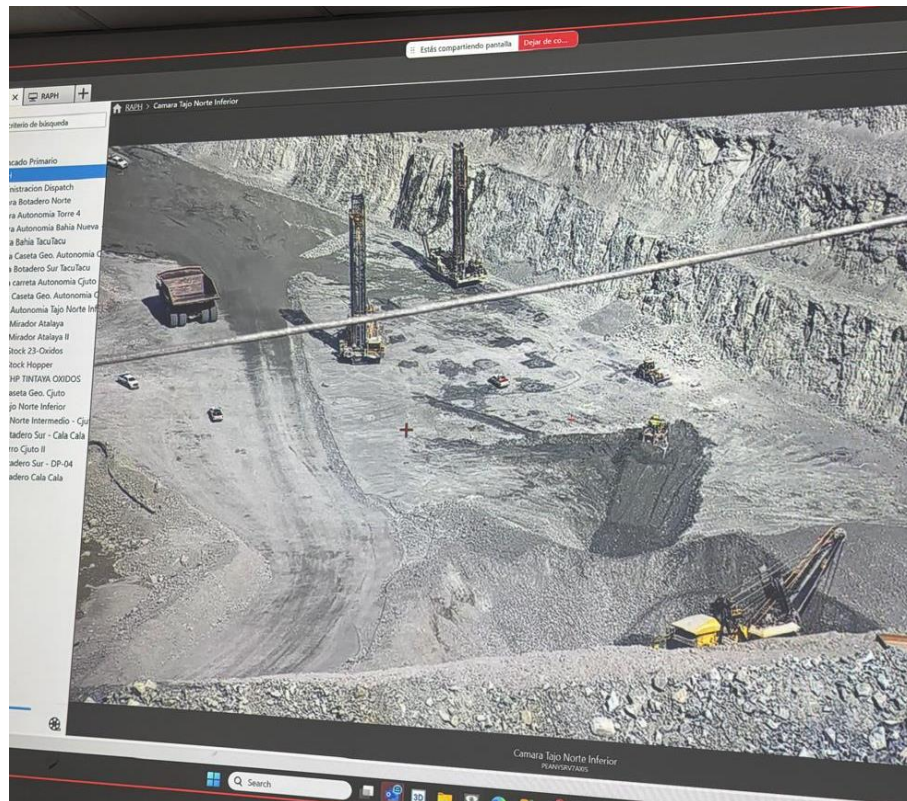


Figura 3-4 Accesos de equipos según reunión con operaciones

Fuente: Imágenes tomadas del tajío abierto de Compañía Minera Antapaccay S.A

- **Instrucciones de trabajo poco claras;** se debe elaborar un checklist operativo que sea utilizado por el personal en campo durante la ejecución del cambio de latch bar. Este formato permitirá contar con la secuencia de tareas claramente definida, incluyendo el tiempo estimado de cada actividad, de modo que se facilite el control del proceso y la detección de posibles desviaciones. Asimismo, este instrumento contribuirá a que las observaciones o incidencias identificadas durante la intervención queden registradas, permitiendo su posterior análisis una vez que el formato sea adjuntado al cierre de la Orden de Trabajo (OT) en el sistema SAP. De esta forma, se promueve la trazabilidad de la información, la mejora continua del proceso y la retroalimentación efectiva hacia el área de ejecución y planeamiento.
- **Estados de los equipos livianos;** se recomienda que el área de Flota Liviana incorpore dentro de su programa semanal de requerimientos las solicitudes operativas generadas por los usuarios para el uso de los camiones grúa. De esta manera, el área podrá anticipar las necesidades del servicio, garantizar la

disponibilidad de los equipos y asegurar su operatividad en las fechas programada

A continuación, se presenta el cuadro resumen de las acciones de mejora propuestas, en el cual se detallan las actividades a implementar, los responsables, los plazos y los recursos a necesitar.

Tabla 3-4 Plan de mejoras al proceso de cambio de latch bar

Plan de implementación de mejoras al proceso de cambio de latch bar				
Problema/causa	Acción de mejora	Responsable	Recursos/ Herramientas	Resultado/Indicador
Falta de procedimiento estandarizado	Realizar procedimiento estándar de trabajo	-Planeamiento -Ejecución -Confiabilidad	-Estudio de métodos -Manual de procedimientos	Procedimiento de cambio de latch bar estandarizado
Compatibilidad del componte	Registrar los dos tipos de latch bar	-Planeamiento	-SAP	Componentes registrados y codificados en SAP
Accesibilidad y condiciones de área	Coordinación y Planificación previa en sitio antes de la intervención del equipo	-Operaciones -Ejecución	-Actas de seguimiento	Condiciones de área aptas y listas para la intervención del equipo
Instrucciones de trabajo poco claras	Realizar checklist operativo	-Planeamiento -Ejecución -Confiabilidad	-Estudio de métodos -Manual de procedimientos	Checklist operativo para facilitar la secuencia de tareas
Estados de los equipos livianos	Incorporar en su programa semanal requerimientos de toda su flota	-Flota Liviana	-SAP	Garantizar disponibilidad y operatividad de sus equipos

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del presente trabajo

En conclusión, la aplicación de las mejoras planteadas resulta fundamental para optimizar el desempeño del proceso, promover una cultura de trabajo seguro y fortalecer la gestión de mejora continua dentro del área de mantenimiento.

3.1.4.2 Simulación del proceso mejorado (antes y después)

Se realizó una simulación utilizando datos reales correspondientes al año 2024, complementados con proyecciones estimadas para el año 2026, con el propósito de evaluar el comportamiento esperado del proceso una vez que todas las acciones de mejora propuestas se encuentren implementadas y plenamente operativas.

Dado que para el año 2024 se cuenta con un total de 26 datos aleatorios y solo se requieren 12 muestras para efectuar el análisis comparativo, se realizó una selección muestral utilizando el software Minitab.

Para la proyección de muestras correspondiente al año 2026 bajo un escenario de proceso optimizado, el tiempo para el cambio del latch bar debe alcanzar un valor estándar entre 3 a 4 horas, reflejando el desempeño esperado del proceso bajo condiciones controladas.

En la Tabla 3-5 se presentan los tiempos (en horas) considerados para los cambios de latch bar en la flota de palas electromecánicas 7495HR.

Tabla 3-5 Datos comparativos del cambio de latch bar

Año 2024 (Antes)		Proyección Año 2026 (Después)	
N° Muestra	Horas	N° Muestra	Horas
1	2.75	1	3.16
2	3.67	2	3.25
3	2.70	3	3.40
4	6.41	4	3.50
5	6.87	5	3.85
6	8.95	6	3.62
7	7.56	7	3.31
8	4.79	8	3.74
9	6.10	9	3.95
10	8.70	10	3.47
11	4.96	11	3.87
12	3.50	12	3.10

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de presente trabajo

Previo a la aplicación de las gráficas de control destinadas a validar los resultados de la mejora, se empleó la prueba de Anderson-Darling con el objetivo de verificar la normalidad de los datos. Esta verificación es fundamental para garantizar la validez del análisis estadístico posterior, dado que la correcta interpretación de las gráficas de control requiere que los datos sigan una distribución aproximadamente normal.

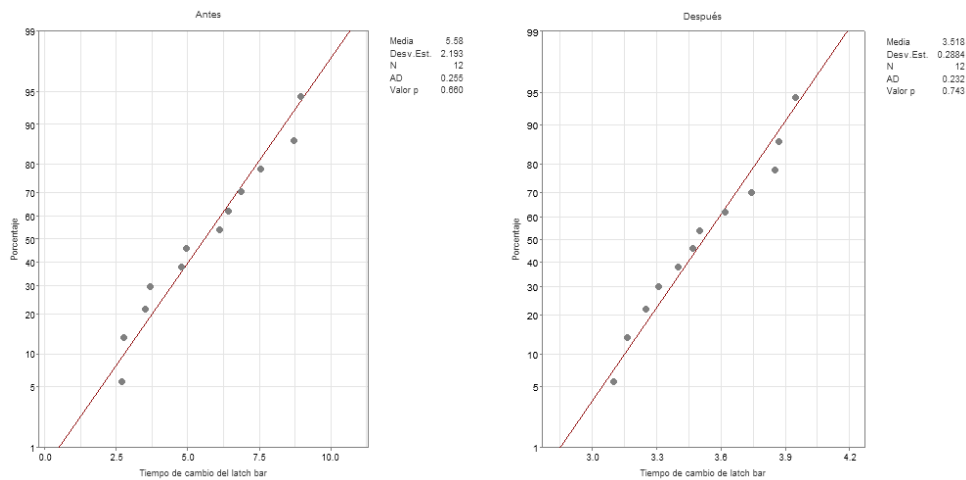


Gráfico 3-16 Probabilidad normal antes y después

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del presente trabajo

De acuerdo con los resultados de la prueba de normalidad, se obtuvo un valor $p = 0.660$ para los datos del escenario “Antes” y un valor $p = 0.743$ para el escenario “Después”. En ambos casos, los valores p son superiores al nivel de significancia habitual ($\alpha = 0.05$), por lo que no se rechaza la hipótesis nula de normalidad. Esto indica que los datos se ajustan a una distribución normal y, por tanto, son aptos para el uso de gráficas de control y análisis de capacidad del proceso.

En las gráficas de control de tipo I–MR se evidencia una mayor estabilidad en el proceso posterior a la implementación de las mejoras, dado que la variabilidad del tiempo total de intervención se reduce y las muestras se mantienen dentro de los límites de control establecidos. En consecuencia, a partir del Gráfico 3-17 se infiere que el proceso opera bajo condiciones de control estadístico, lo que confirma la consistencia del desempeño alcanzado.

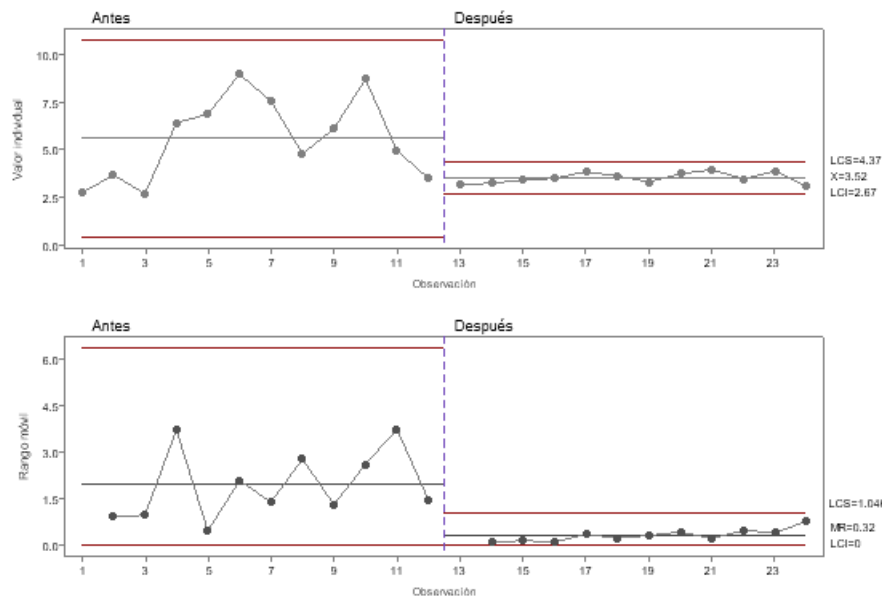
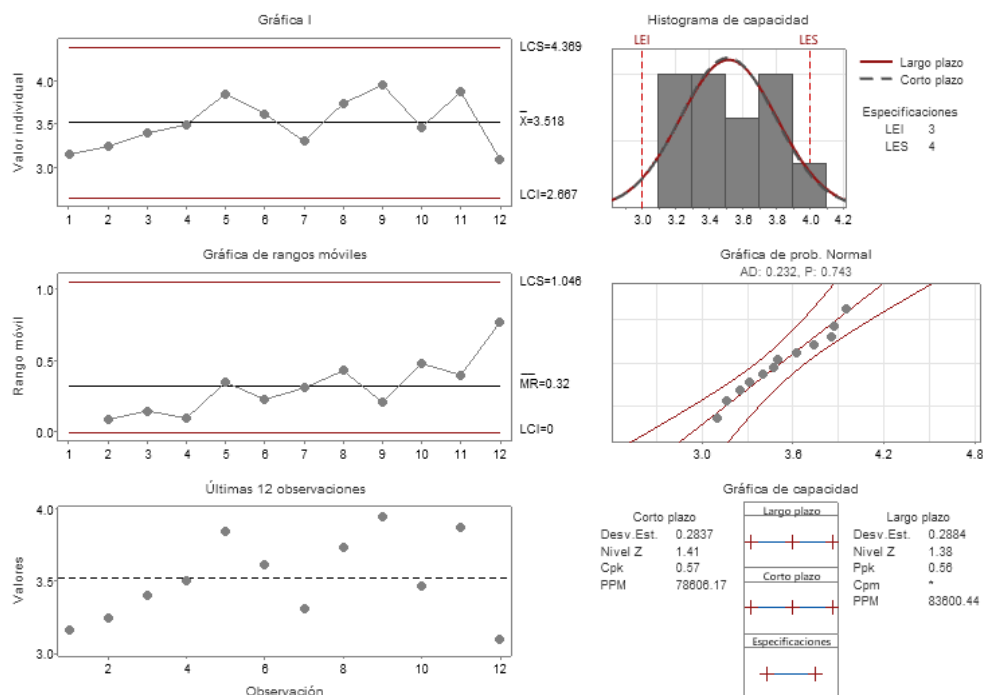


Gráfico 3-17 Carta de control antes y después

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del presente trabajo

Asimismo, se efectuó un análisis de capacidad del proceso, cuyos resultados muestran que los índices $C_{pk} = 0.57$ y $P_{pk} = 0.56$ evidencian una mejora significativa en el desempeño del proceso. Estos valores indican que, tras la implementación de las acciones correctivas, el proceso presenta una menor variabilidad y una mayor capacidad para cumplir con los límites de especificación establecidos en comparación con la situación inicial. De igual manera, el nivel de sigma de 3.17 confirma que, si bien el proceso aún no alcanza un desempeño altamente capaz (≥ 4 sigma), refleja un avance importante en la estabilidad y consistencia del proceso como resultado de las mejoras aplicadas.



Con el propósito de validar estadísticamente el impacto de las mejoras implementadas en el tiempo de cambio del latch bar, se procedió a realizar una prueba de hipótesis que permite comparar el desempeño del proceso antes y después. Este análisis resulta fundamental para determinar si la reducción observada en los tiempos de intervención es atribuible a la aplicación de las acciones de mejora y no a variaciones aleatorias del proceso. Para ello, se emplearon los tiempos registrados en ambos escenarios (Tabla 3-5), evaluando si existe una diferencia significativa entre las medias mediante un enfoque estadístico inferencial.

Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media
Antes	12	5.580	2.193	0.633
Después	12	3.518	0.288	0.083

Estimación de la diferencia pareada

Media	Desv.Est.	Error estándar de la media	IC de 95% para la diferencia_μ
2.062	2.096	0.605	(0.730, 3.393)

Diferencia_μ: media de población de (Antes - Después)

Prueba

Hipótesis nula	$H_0: \text{diferencia}_\mu = 0$
Hipótesis alterna	$H_1: \text{diferencia}_\mu \neq 0$
Valor T	Valor p
3.41	0.006

Figura 3-5 Prueba T e IC de dos muestras- Antes y después
Fuente: Elaboración propia a partir de datos del presente trabajo

La prueba t pareada confirma que las mejoras implementadas tuvieron un efecto significativo en la reducción del tiempo del proceso. Con un valor $p = 0.006$, se demuestra que la disminución observada no es producto del azar, sino consecuencia directa de las acciones de mejora aplicadas.

3.1.4.3 Evaluación económica del impacto de las mejoras

Más allá de demostrar estadísticamente la efectividad de las acciones aplicadas, resulta indispensable cuantificar su impacto financiero y determinar si los beneficios obtenidos justifican la inversión realizada. Este análisis permite estimar el retorno económico derivado de la implementación de las mejoras orientadas a la reducción del tiempo de cambio del latch bar, proporcionando una visión objetiva de la rentabilidad y del aporte real del proyecto a la eficiencia operativa de la organización.

Para ello se inició determinando el costo horario de la pala electromecánica 7495HR (ver Anexo 5). A partir de dicho cálculo, se obtuvo un costo horario total de 959.77 USD/Hr a un rendimiento de producción de 4,411.24 TM/Hr. Dado que estas palas

están destinadas al movimiento de mineral, este valor se traduce en un costo por tonelada movida de 0.22 USD/TM.

Posteriormente, se realizó una estimación de los ingresos adicionales que se generarían con la implementación del proyecto Six Sigma. Este incremento se origina principalmente por el ahorro de horas derivado de la optimización del tiempo de cambio del latch bar. Para calcular la ganancia asociada a las horas recuperadas, se tomó como referencia la información de la Tabla 3-5, considerando la frecuencia de intervención establecida en 1,500 horas operativas, equivalente a aproximadamente dos meses de funcionamiento continuo.

Dado que la flota de palas electromecánicas 7495HR está conformada por cuatro equipos, se proyecta que, durante un año, se ejecutarán 24 cambios programados del componente, a un ritmo de dos intervenciones mensuales. Asimismo, según el límite de especificación definido, el tiempo óptimo para realizar el cambio del latch bar debe encontrarse dentro del rango de 3 a 4 horas, valor que se emplea como referencia para cuantificar el impacto económico asociado a la reducción del tiempo de intervención.

En las tablas siguientes se presentan las frecuencias y los tiempos (en horas) considerados para los cambios de latch bar en la flota de palas electromecánicas 7495HR.

Tabla 3-6 Data 2024 cambio de latch bar

Año 2024 (Antes)		
Mes	Frecuencia	Horas
Enero	3	10.57
Febrero	2	9.46
Marzo	3	12.16
Abril	3	14.66
Mayo	1	8.7
Junio	2	12.45
Julio	2	13.24
Agosto	2	14.38
Setiembre	2	10.61
Octubre	2	11.59
Noviembre	2	11.18
Diciembre	2	14.15

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de presente trabajo

Tabla 3-7 Data proyectada 2026 cambio de latch bar

Proyección Año 2026 (Después)		
Mes	Frecuencia	Horas
Enero	2	6.32
Febrero	2	6.5
Marzo	2	6.8
Abril	2	7
Mayo	2	7.7
Junio	2	7.24
Julio	2	6.62
Agosto	2	7.48
Setiembre	2	7.9
Octubre	2	6.94
Noviembre	2	7.74
Diciembre	2	6.2

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de presente trabajo

Con estos datos, y considerando una inversión inicial de USD 224,749.00, se procedió a realizar la evaluación económica del proyecto, cuyo desarrollo y resultados se presentan en el Anexo 6.

El proyecto presenta un Valor Actual Neto (VAN) de USD 317,424.48 y una Tasa Interna de Retorno (TIR) del 36%, resultados que evidencian una alta rentabilidad.

Estos indicadores muestran que los beneficios generados por la reducción del tiempo de intervención en el cambio del latch bar superan ampliamente la inversión inicial, lo que convierte la propuesta en una alternativa financieramente favorable y atractiva para la Compañía.

3.1.5 Fase controlar

El principal desafío de la metodología Six Sigma no radica únicamente en lograr la mejora de los procesos, sino en mantener los resultados óptimos de manera sostenida durante la operación cotidiana. Para alcanzar este objetivo, es fundamental estandarizar los métodos de trabajo y establecer un monitoreo y control continuo de las operaciones.

En este contexto, una vez validadas las mejoras propuestas, se procedió a definir mecanismos de control que permitan a los líderes del proceso evaluar y supervisar su desempeño a lo largo del tiempo.

- Incorporar en el dashboard actualmente utilizado el indicador de “Tiempo Promedio de Cambio de Latch Bar”, con el fin de visualizarlo junto con los demás indicadores de gestión. Asimismo, se recomienda integrar gráficas de control que permitan monitorear el comportamiento del proceso, facilitar el seguimiento de su desempeño y detectar de manera oportuna posibles desviaciones respecto a los límites establecidos.
- Realizar auditorías internas mensuales con el objetivo de verificar el cumplimiento de los Procedimientos Escritos de Trabajo Seguro (PETS) y asegurar la correcta aplicación de los estándares operativos establecidos durante el proceso de cambio de latch bar.
- Efectuar una revisión semestral del historial de desgaste y desempeño del componente latch bar, con el propósito de evaluar su comportamiento operativo, identificar posibles tendencias de falla y garantizar que el componente cumpla con su Punto de Cambio Recomendado (PCR) establecido por el fabricante.

- Incluir en cada reunión del programa semanal un espacio destinado a reforzar la importancia de la accesibilidad y las condiciones del área de trabajo, con el fin de garantizar la ejecución de labores seguras, eficientes y con estándares de calidad establecidos.
- Realizar retroalimentaciones mensuales con el personal operativo, con el propósito de evaluar la aplicabilidad de los PETS y/o checklist y efectuar las actualizaciones o ajustes necesarios que contribuyan a mantener su vigencia y efectividad en el proceso.

Conclusiones

La aplicación de la metodología Six Sigma permitiría optimizar el proceso de cambio del latch bar de la flota de palas electromecánicas 7495HR, al proporcionar un enfoque estructurado para identificar las causas raíz de la variabilidad y establecer mejoras sostenibles. El uso del ciclo DMAIC posibilitaría una intervención integral que aborde desde la definición del problema hasta el control del desempeño futuro.

De implementarse la propuesta, el tiempo total de intervención se reduciría significativamente, pasando de valores iniciales superiores a 6 horas a un rango proyectado de 3 a 4 horas bajo condiciones de operación optimizadas. Esta reducción permitiría mejorar la continuidad operacional de las palas y disminuir los tiempos de indisponibilidad asociados a esta actividad crítica de mantenimiento.

Los resultados proyectados muestran que el proceso operaría bajo mayor estabilidad y control estadístico, lo cual se vería reflejado en el comportamiento de las gráficas I-MR y en la disminución de la variabilidad. Asimismo, los índices de capacidad mejorarían respecto al estado inicial, alcanzando valores estimados de $C_{pk} = 0.57$ y $P_{pk} = 0.56$, lo que indica un mayor cumplimiento de los límites de especificación establecidos para el tiempo de cambio del componente.

El nivel sigma estimado después de la mejora sería de 3.17, evidenciando un incremento respecto al desempeño inicial del proceso. Si bien este valor aún no representa un nivel altamente capaz, sí constituye un avance importante hacia la estandarización y eficiencia del procedimiento de intervención en el latch bar.

En el futuro, se podrá continuar validando las variables en cada guardia y profundizar en la verificación de aquellos factores que impactan tanto en el centramiento del proceso como en su variabilidad, con el fin de asegurar una mejora continua en el desempeño operacional.

Desde el punto de vista económico, la implementación del proyecto resultaría altamente rentables. La reducción de horas de intervención se traduciría en mayor disponibilidad de los equipos y, por consiguiente, en un incremento del tonelaje producido. La evaluación económica realizada proyecta un VAN de USD 317,424.48 y

una TIR del 36%, evidenciando que los beneficios superarían ampliamente la inversión inicial de USD 224,749.00.

La propuesta de mejora contribuye directamente a la confiabilidad y disponibilidad de la flota de palas 7495HR, fortaleciendo la continuidad operativa y aumentando la eficiencia del proceso de mantenimiento. Asimismo, promueve una cultura de mejora continua sustentada en la estandarización, el análisis estadístico y la toma de decisiones basadas en datos.

Referencias y bibliografía

- Antony, J., Snee, R., & Hoerl, R. (2017). Lean Six Sigma in the Mining Industry. *International Journal of Lean Six Sigma*, 34(7), 1073-1093. Recuperado de <https://doi.org/10.1108/IJQRM-03-2016-0035>
- Bohigues, A. (2015). *Desarrollo e implementación de un modelo Seis Sigma para la mejora de la Calidad y de la productividad en Pymes industriales*. [Tesis de maestría, Universitat Politècnica de Valencia]. Repositorio institucional UPV. Recuperado de <https://riunet.upv.es/handle/10251/56192>
- Báez, Y., Limón, J., Tlapa, D., & Rodríguez, M. (2010). Aplicación de Seis Sigma y los Métodos Taguchi para el Incremento de la Resistencia a la Prueba de Jalón de un Diodo Emisor de Luz. *Información Tecnológica*, 21(1), 63-76. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642010000100011>
- Brett, C. & Queen, P., 2005. Streamlining Enterprise Management with Lean Six Sigma. *Information Management Journal*, 39, 58–62. Recuperado de https://onsearch.slq.qld.gov.au/discovery/fulldisplay/cdi_proquest_miscellaneous_57613405/61SLQ_INST:SLQ
- Cabello, A. (2020). *Metodología Lean Six Sigma para la mejora continua en las actividades de mantenimiento de un buque pesquero puesto en un astillero de una empresa de Callao – Perú* [Tesis de maestría, Universidad Nacional del Callao]. Repositorio UNAC. Recuperado de <https://repositorio.unac.edu.pe/item/7c5bb0ba-55e3-413c-9538-6795ea2899e0>
- Felizzola, H. (2013). *Propuesta metodológica para la implementación de Lean Seis Sigma en Pymes*. [Tesis de maestría, Universidad del Norte]. Repositorio institucional Universidad del Norte. Recuperado de <https://manglar.uninorte.edu.co/bitstream/handle/10584/8994/114771.pdf?sequence=1>
- Felizzola, H. & Luna, C. (2014). Lean Six Sigma en pequeñas y medianas empresas: un enfoque metodológico. *Ingeniare. Revista chilena ingeniería*,

22(2), 263-277. ISSN 0718-3305. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-33052014000200012>

George, M. L. (2013). *Lean Six Sigma for Service*. London: McGraw-Hill.

Gorbea, R. (2020). *Gestión de activos en minería: técnicas para la optimización de la disponibilidad*. Mining Press.

Gutiérrez, H. & De La Vara, R. (2013). *Control Estadístico de Calidad y Seis Sigma*. 3° ed. México D.F.: McGraw-Hill.

Guamán, A., Moyano, J., Cayán, J. & García, E. (2023). *Six Sigma: Pasos para la mejora continua de procesos*. Ecuador: CIDE.

Hia, S. & Pramudjito, P. (2024). Reduce mean time to repair of mining equipment with Lean Six Sigma. *Operations Excellence: Journal of Applied Industrial Engineering*, 16(3), 331-340. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.22441/oe.2024.v16.i3.125>

Ikumapayi, O., Akinlabi, E., Mwena, F. & Ogbonna, O. (2020). Six sigma versus lean manufacturing – An overview. *Elsevier Journal*. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.02.986>

Martínez, E., Vergara, K. & Sarmiento, W. (2012). *Diseño e implementación de una metodología para la mejora de procesos en la fábrica de muebles H&M Ltda. basada en la filosofía de calidad Seis Sigma*. [Tesis de grado, Universidad de La Costa]. Repositorio institucional Universidad de La Costa. Recuperado de <https://repositorio.cuc.edu.co/server/api/core/bitstreams/10464521-0953-4706-9fb5-c4302ca26a0f/content>

Montgomery, D. (2009). *Control Estadístico de la Calidad*. México: LIMUSA WILEY.

OPEX Mentor. (2023). *Guía para la Certificación Lean Six Sigma Green Belt*. OPEX Mentor. Recuperado de [Lean Six Sigma Green Belt - Opex Mentor](#)

Pande, P., Neuman, R., & Cavanagh, R. (2002). *Las claves del Seis Sigma*. Madrid: McGraw Hill.

Pyzdek, T., & Keller, P. (2014). *The Six Sigma Handbook*. McGraw-Hill.

Rodriguez, M., Guerrero, D., García, J., & Peña, C. (2023). Aplicación de Lean Six Sigma para la mejora del proceso de trabajos de grado en una Institución de Educación Superior. *Scientia Et Technica*, 28(2),73-85. Recuperado de <https://doi.org/10.22517/23447214.24773>

Smith, J., & Hinchcliffe, G. (2018). *Reliability and Maintenance Management in Large-Scale Mining Operations*. SME.

Snee, R. & Hoerl, R. (2007). Integrating Lean and Six Sigma - a Holistic Approach. *Six Sigma forum Magazine*, 6(3). Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/283047231_Integrating_Lean_and_Six_Sigma_-_A_Holistic_Approach

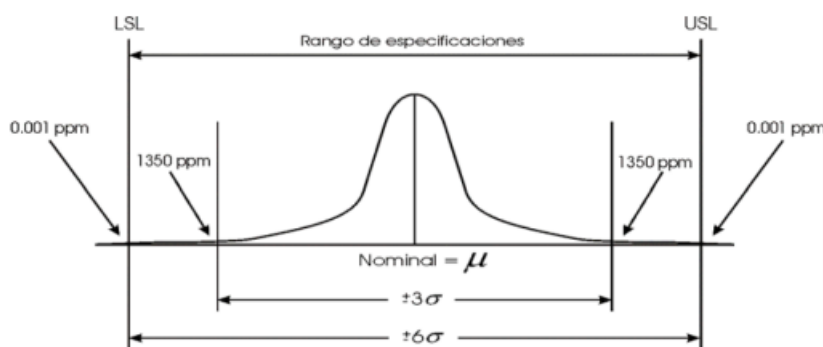
Anexos

Anexo 1. Métricas de Six Sigma

Las métricas son medidas de desempeño que permiten tener un conocimiento real del estado actual del problema que se está abordando, por esta razón, su definición representa un factor clave de éxito para el desarrollo de cualquier proyecto Six Sigma; una incorrecta definición de las medidas de desempeño puede desviar el enfoque del problema y su evolución (Felizzola, 2013, citando a Pyzdek & Keller, 2009).

Hablar de calidad Six Sigma en los procesos implica utilizar una o varias medidas de desempeño estandarizadas que permitan la comparación y validación de los resultados, independiente de la naturaleza de los procesos, el tipo de datos y los métodos de medición. Para tal fin, el enfoque Six Sigma propone una medida de desempeño estandarizada que mide el nivel de calidad en función del número de sigmas (Felizzola, 2013, citando a Vázquez, 2005).

La meta de Six Sigma es ayudar a los procesos a entregar productos y servicios libres de defectos. Se debe tener en cuenta que dentro de los procesos encontramos defectos que son inherentes al proceso mismo, y un nivel de trabajo correcto del 99.9997% implica un objetivo bastante ambicioso, donde los defectos son casi inexistentes.



Límite de especificación	Porcentaje	Defectos PPM
+1σ	68.27	317.300
+2σ	95.45	45.500
+3σ	99.73	2.700
+4σ	99.9937	63
+5σ	99.999943	0.57
+6σ	99.999998	0.002

El cálculo del nivel de calidad Sigma en un proceso tiene dos procedimientos, uno para datos continuos y otro para atributos.

- Nivel de calidad Sigma para datos continuos

Para establecer el nivel Sigma de un proceso cuyos datos son continuos y siguen una distribución normal, primero se debe calcular el índice Z que es una métrica utilizada para medir la capacidad de un proceso, el cual consiste en calcular la distancia entre las especificaciones y la media μ del proceso en unidades de desviación estándar, σ . Para procesos con doble especificación se tiene un Z superior, Z_s , y un Z inferior, Z_i , los cuales se definen de la siguiente manera.

$$Z_s = \frac{LES - \mu}{\sigma} \text{ y } Z_i = \frac{\mu - LEI}{\sigma}$$

La capacidad de un proceso medido en términos de Z será el mínimo valor entre Z_s y Z_i , es decir:

$$Z = \text{mínimo } [Z_s, Z_i]$$

Cuando se toman los índices de corto y largo plazo, la diferencia entre ellos se conoce como desplazamiento o movimiento del proceso y se mide a través del índice Z de la siguiente manera:

$$Z_m = Z_c - Z_L$$

El índice Z_m representa la habilidad para controlar el proceso. De acuerdo con estudios realizados, ponen de manifiesto que la media de un proceso se puede desplazar a través del tiempo hasta 1.5 sigmas en promedio a cualquier lado de su valor actual.

- Nivel de calidad Sigma para atributos

Para características de calidad que no están asociadas a mediciones sino a atributos, se utiliza la métrica Defectos por millón de Oportunidades (DPMO).

Al momento de elaborar un producto o una unidad, existe la posibilidad de presentarse no conformidades, hay más de una oportunidad de cometer un error. En general, se define como oportunidad de error cualquier parte de la unidad que es posible medirse o probarse si es adecuada o no, saber si cumple con la calidad especificada de un producto.

Teniendo en cuenta lo anteriormente planteado, encontramos el índice DPU (Defectos Por Unidad). Este procedimiento está diseñado para estimar la media del número de defectos por unidad en una muestra de artículos de una población determinada. El DPU es una métrica que determina el nivel de no calidad de un proceso, el cual no toma en cuenta las oportunidades de error que pueden presentarse en cada unidad, se obtiene de la siguiente manera:

$$DPU = \frac{d}{U}$$

Donde U es el número de unidades inspeccionadas en las cuales se observaron d defectos en un lapso determinado.

Teniendo en cuenta la complejidad de la unidad o del producto se utiliza el índice de DPO (defectos por oportunidad), ya que no es lo mismo tener un $DPU = 0.03$ en un producto o una unidad que presente mayor posibilidad de presentar no conformidades o errores que tener el mismo DPO en un producto o unidad que presente menor oportunidad de cometer un error. El DPO mide la no calidad de un proceso y toma en cuenta las oportunidades de error que se pueden dar en una unidad o producto, se halla de la siguiente forma:

$$DPO = \frac{d}{U * O}$$

Donde U, es el número de unidades inspeccionadas en las cuales se observaron *d* defectos en un lapso determinado, y O es el número de oportunidades de error por unidad.

Para entender un poco mejor el índice de la métrica DPO, es mejor obtener el índice DPMO (Defectos por millón de oportunidad), el cual cuantifica los defectos del proceso en un millón de oportunidades de error, se obtiene al multiplicar al DPO por un millón:

$$DPMO = DPO * 1000000$$

Es importante aclarar que tanto la métrica DPU como la DPMO se refieren a variables para atributos más cercanos a variables con distribución Poisson, donde una pieza puede tener más de un defecto y no necesariamente debe rechazarse. En cambio, PPM se aplica cuando la parte cumple o no cumple (pasa o no pasa), y aquí más bien se aplica la distribución binomial y su aproximación a la normal.

Para saber cuál es el nivel de sigma correspondiente a un proceso, lo primero que se hace es calcular el rendimiento Y del proceso mediante la distribución de Poisson con la siguiente fórmula:

$$Y = e^{-DPU}$$

De esta ecuación también se aprecia que:

$$DPU = -\ln(Y)$$

El cual nos muestra la probabilidad de que una unidad esté libre de defectos. Para convertir esto al nivel de sigma de largo plazo es preciso encontrar el valor de Z en una tabla de distribución normal estándar que da una probabilidad acumulada igual a Y, es decir, el nivel de sigma de largo plazo para el proceso =Z_Y, donde:

$$P(Z < Z_Y) = Y \text{ o } P(Z > Z_Y) = 1 - Y$$

Anexo 2. Lean Six Sigma

- Definición de Lean Six Sigma

La metodología Lean Six Sigma surge de la fusión entre los principios de Lean Manufacturing y la metodología Six Sigma, ambas concebidas como iniciativas de gestión de calidad complementarios. Mientras que Lean se orienta principalmente a la eliminación de desperdicios y la optimización del flujo de valor, Six Sigma se enfoca en la reducción de la variabilidad y el control estadístico de los procesos.

- Comparación entre Six Sigma y Lean Manufacturing

Tanto Six Sigma como la Lean Manufacturing son enfoques de mejora continua que han demostrado una evolución significativa y una alta efectividad en la resolución de problemas dentro de diversos contextos organizacionales (Felizzola, 2013, citando a Pojasek, 2003).

En este sentido, es importante destacar que la mejora de procesos, la reducción de defectos y la eliminación de desperdicios no deben considerarse objetivos mutuamente excluyentes. Por el contrario, muchas organizaciones han optado por integrar ambos enfoques de manera complementaria y simultánea, conformando lo que hoy se conoce como metodología Lean Six Sigma. Esta integración se ha consolidado como una estrategia de negocio integral, orientada a potenciar los resultados de desempeño, combinando la eficiencia operativa de Lean con el rigor analítico y estadístico de Six Sigma.

Enfoque	Lean Manufacturing	Six Sigma
Teoría	Eliminación de desperdicios	Reducción la variabilidad
Metodología	1. Identificar el valor 2. Identificar el flujo de valor 3. Mejorar el flujo 4. Jalar 5. Buscar la perfección	1. Definir 2. Medir 3. Analizar 4. Mejorar 5. Controlar
Enfoque	Flujos de proceso	Problemas en los procesos
Supuestos	-La eliminación de los desperdicios mejora el desempeño organizacional -Es mejor pequeñas mejoras que cambios grandes	-Siempre existen problemas en los procesos -Los procesos deben ser medidos -Las salidas de los procesos mejoran a medida que se reduce la variación
Efecto primario	Reducción de los tiempos de flujo o tiempos de ciclo	Uniformidad en las salidas del proceso
Efecto secundario	Menos residuos, menos inventarios, mayores tasas de producción y mejoras en la calidad	Menor variación en los procesos, menos inventarios y mejoras en la calidad
Desventajas	-Los métodos estadísticos no son valorados -La formación del personal puede requerir mucho tiempo	-Falta de enfoque sistémico -Falta interacción entre diferentes áreas

- Integración Lean Six Sigma

Distintos investigadores y referentes en gestión de la calidad han conceptualizado la integración de Six Sigma y Lean Manufacturing como un enfoque unificado, denominado comúnmente “Lean Six Sigma” o “Lean Sigma”. A continuación, se presenta una revisión de la literatura relacionada con esta fusión metodológica y su aplicación.

Un enfoque holístico para la integración de ambas filosofías es planteado por Snee y Hoerl (2007), quienes proponen como metodología base para la solución de problemas el ciclo DMAIC de Six Sigma, complementado con el uso de herramientas tanto de Lean Manufacturing como de Six Sigma para la definición de acciones de mejora. Asimismo, los autores sugieren la implementación de un sistema de gestión de proyectos que permita identificar, priorizar y administrar las iniciativas de mejora continua derivadas de los objetivos estratégicos, las brechas de desempeño detectadas en la organización y el análisis de los flujos de valor.

(Felizzola, 2013, citando a Pojasek, 2003) propone un enfoque sistémico que permite coordinar la implementación de Six Sigma y Lean Manufacturing de manera simultánea. A través de este enfoque, la ejecución y supervisión de los proyectos Lean

Six Sigma puede ser gestionada por líderes o gestores especializados, quienes integran conocimientos tanto en herramientas de Six Sigma como en metodologías de Lean Manufacturing. Asimismo, el autor destaca la complejidad que implica el seguimiento de la mejora, debido a que ambas metodologías emplean herramientas y métricas diferentes para su evaluación. Como respuesta a esta limitación, se plantea la utilización del modelo de puntuación Baldrige, el cual permite armonizar la medición del desempeño y el control de la mejora continua dentro de un mismo marco de gestión.

Según George (2013), Lean Six Sigma es una metodología orientada a maximizar el valor para los grupos de interés, alcanzando niveles superiores de desempeño en aspectos clave como la satisfacción del cliente, la reducción de costos, la mejora de la calidad, la agilidad de los procesos y la optimización del uso del capital invertido.

Los autores Brett and Queen (2005) proponen una metodología Lean Six Sigma orientada a la mejora de los procesos de gestión y flujo de información dentro, a través y fuera de las organizaciones. Para ello, se integran herramientas de Lean Manufacturing, con el propósito de incrementar la velocidad de los flujos de información, reducir desperdicios y simplificar los procesos, mientras que, de manera metodológica, se adopta el ciclo DMAIC de Six Sigma como base para mejorar la calidad de la información y alinear los procesos con las necesidades del cliente. Los autores sostienen que, mediante la “anidación” o integración sinérgica entre Six Sigma y Lean Manufacturing, se logran resultados superiores en comparación con la aplicación aislada de cada enfoque.

Anexo 3. Datos de tiempos de cambio del latch bar extraídos del SAP 2023 y 2024

Orden	Texto breve	Equipo	Operación	Guardia	Duración	Mes	Fecha inicio extrema
20668157	Cambio de Barreton	2161	0010	C	4.50	Febrero	03/02/2024
10576463	Cambio de barreton	2160	0010	B	3.35	Enero	19/01/2024
10584530	Cambio de barreton x horas	2163	0010	D	6.10	Marzo	25/03/2024
10603863	Cb de barreton por desgaste	2161	0010	B	5.50	Abril	02/04/2024
10620689	Cb de barreton x desgaste	2162	0010	C	2.70	Enero	02/01/2024
10629557	Cb de barreton x falla apertura compuert	2162	0010	D	7.56	Junio	18/06/2024
10634142	Cb de barreton pala 2163	2163	0010	C	4.79	Septiembre	29/09/2024
10638314	Cb barreton por desgaste	2163	0010	D	8.70	Mayo	27/05/2024
10635083	CC Barreton	2162	0010	D	3.50	Marzo	02/03/2024
10635081	CC Barreton	2161	0010	B	9.15	Junio	06/06/2023
10656546	CC barretón	2163	0010	C	7.54	Julio	16/07/2023
20777434	CC 1500H BARRETON 2160	2160	0010	A	2.56	Marzo	11/03/2024
10592170	CC BARRETON 08-22	2160	0010	B	9.41	Septiembre	24/09/2023
20799850	CC 1500H BARRETON 2163	2160	0010	B	2.75	Abril	30/04/2024
10722659	Cambio de barreton	2163	0010	D	3.29	Noviembre	30/11/2024
20835765	CC 1500H BARRETON 2160	2160	0010	D	7.89	Noviembre	25/11/2024
20800237	CC BARRETON 7945HR 2161	2161	0010	A	4.72	Octubre	14/10/2024
20885769	CC BARRETON 7945HR 2162	2162	0010	C	5.30	Abril	09/04/2023
10802454	CB barreton x condicion 2160	2162	0010	D	8.47	Junio	01/06/2023
10802586	CB barreton y espada	2161	0010	D	7.53	Abril	02/04/2023
20890932	CC 1500H BARRETON 2160	2162	0010	C	8.74	Diciembre	06/12/2023
10844123	Cb de barreton x desgaste (reparado)	2162	0010	B	6.87	Octubre	15/10/2023
20954527	CC 1500H BARRETON 2160	2160	0010	B	7.89	Julio	23/07/2023
10870390	Cb de barreton por desgaste (reparado)	2163	0010	D	8.54	Marzo	25/03/2023
21018356	CC 1500H BARRETON 2160	2160	0010	A	6.74	Noviembre	27/11/2023
20962079	CC 1500H BARRETON 2163	2163	0010	D	4.79	Noviembre	08/11/2023
10951841	Cb de barreton por condicion	2163	0010	C	5.68	Enero	30/01/2023
10978435	Cb de barreton por desgaste	2163	0010	C	9.57	Julio	15/07/2024
10987904	Cb de barreton por condicion (nuevo)	2163	0010	D	4.52	Enero	30/01/2024
21116558	CC 1500H BARRETON 2160	2160	0010	C	8.93	Enero	24/01/2023
11000198	Cb de barreton por desgaste	2161	0010	D	7.34	Febrero	10/02/2023
20971392	CC BARRETON 7945HR 2162	2162	0010	A	6.41	Abril	14/04/2024
11009774	Cb barreton x desgaste	2163	0010	B	4.96	Febrero	26/02/2024
11025676	Cb barreton por condicion	2162	0010	D	5.74	Agosto	19/08/2024
20962078	CC BARRETON 7945HR 2161	2161	0010	D	5.82	Septiembre	04/09/2024
11048013	Cb barreton e inserto de ojo x desgaste	2161	0010	D	3.67	Julio	06/07/2024
10592171	CC BARRETON 06-22	2161	0010	C	5.20	Diciembre	18/12/2024
10681405	CC 1500H BARRETON 2160	2160	0010	A	4.89	Junio	28/06/2024
10592172	CC BARRETON 07-22	2162	0010	C	6.87	Octubre	23/10/2024
10592173	CC BARRETON 06-22	2160	0010	A	8.64	Agosto	31/08/2024
11244255	S - Cambio de barreton por condicion	2162	0010	B	8.95	Diciembre	20/12/2024
11334398	Cb barreton x desgaste	2162	0010	A	4.56	Febrero	11/02/2023
21177955	CC 1500H BARRETON 2160	2161	0010	A	4.58	Octubre	01/10/2023

Orden	Texto breve	Equipo	Operación	Guardia	Duración	Mes	Fecha inicio extrema
11397511	Cb barreton pala 2160	2160	0010	B	6.78	Mayo	20/05/2023
11419850	cb de barreton pala 2163	2163	0010	D	7.98	Mayo	20/05/2023
11448272	Cb barreton x desgaste	2161	0010	C	5.84	Diciembre	13/12/2023
21521381	CC BARRETON 7945HR 2161	2161	0010	A	7.65	Agosto	07/08/2023
21659800	CC BARRETON 7945HR 2162	2162	0010	A	6.23	Agosto	17/08/2023
21702415	CC 1500H BARRETON 2160	2160	0010	A	3.45	Marzo	27/03/2023
21116559	CC 1500H BARRETON 2163	2163	0010	A	4.88	Septiembre	09/09/2023

Anexo 4. Procedimiento Estándar de Trabajo (PET) para el cambio del latch bar

CAMBIO DE LATCH BAR- PALA 7495HR	Área: Mantenimiento Mecánico Mina
Procedimiento escrito de trabajo - PET	Versión: 01

SECCIÓN I – INFORMACIÓN GENERAL
1. ALCANCE DEL TRABAJO / DESCRIPCIÓN: El presente procedimiento describe todo el proceso, requerimientos, restricciones y pasos necesarios para llevar a cabo un adecuado control de riesgos asociados al trabajo de cambio de Latch Bar de la Pala Eléctrica CAT 7495.
2. PERSONAL Y RESPONSABILIDADES: 2.1. Gerencia. • Aprobar el presente procedimiento, difundir las responsabilidades y procedimientos establecidos en el presente documento. • Coordinar con el área de Supervisión la capacitación y entrenamiento al personal. • Brindar los recursos necesarios para que el presente procedimiento se pueda cumplir a cabalidad. 2.2. Superintendente y Jefatura de Área. • Velar por el cumplimiento y aplicación del presente procedimiento. • Proporcionar las facilidades logísticas y de recursos humanos para la difusión de este procedimiento. • Verificar que el personal a su cargo se encuentre bien informado y capacitado para la ejecución de este procedimiento. 2.3. Supervisor de Seguridad y Salud. • Asesorar y verificar el cumplimiento del presente procedimiento. • Realizar inspecciones durante el proceso de aislamiento y bloqueo de energía. 2.4. Supervisor de Turno de Mantenimiento. • Informar a los trabajadores sobre los riesgos específicos que pueda generar el trabajo relacionado con este procedimiento. • Facilitar los recursos necesarios para una buena difusión de este procedimiento. • Inspeccionar los equipos, herramientas y materiales antes de iniciar los trabajos para no tener ningún tipo de contratiempo. • Verificar que el personal a su cargo se encuentre bien informado, capacitado y comprenda el procedimiento. 2.5. Personal de Mantenimiento • Cumplir y hacer cumplir lo descrito en el procedimiento. • Coordinar con el supervisor/especialista, durante todo el proceso de cambio de Latch Bar. • Informar si hay desviaciones con el procedimiento de cambio de Latch Bar. 3. REQUERIMIENTO DE PERSONAL PARA LA TAREA: • 01 supervisor de Mantenimiento Mecánico/Eléctrico de palas. • 02 técnicos Mecánicos. • 01 técnicos Eléctricos. • 01 operador de camion grúa. • 01 soldador.

CAMBIO DE LATCH BAR- PALA 7495HR	Área: Mantenimiento Mecánico Mina
Procedimiento escrito de trabajo - PET	Versión: 01

4. REQUERIMIENTOS DE EPP: (CANTIDAD POR PERSONA)

- Casco de seguridad (color blanco ANSI Z89.1-2003)
- Lentes de Seguridad (claros y oscuros ANSI Z87.1-1989)
- Chaleco de Seguridad (ANSI/ISEA 107-2004)
- Guantes de cuero (Norma europea EN388 DE2y DE7)
- Zapatos de Seguridad (INDECOPI; ISO 9001)
- Protección respiratoria N95 (NIOSH42 - ANSI Z88.2)
- Tapones de oído y/o orejeras (ANSI S13.19-1974)
- Orejeras con vincha (ANSI S3.19-1974)
- Overall descartable (EN 533; EN 1149-5; EN 13034; EN531)
- Traje de cuero
- Barbiquejo



5. EQUIPOS /HERRAMIENTAS Y MATERIALES:

- Candado de bloqueo
- Paños absorbentes
- Trapo industrial
- Caja de herramientas
- Camión grúa 14 TN
- 02 Torres de iluminación (Turno noche)
- 02 barretas
- Conos de seguridad
- Sogas para vientos para guías
- 02 eslingas de 1 TN x 3 m
- 02 Grilletes de 3/4"
- Máquina de soldar portátil
- Comba de berilio 25 Lb
- Protector anticorte



SECCION II – DESCRIPCIÓN DEL PROCEDIMIENTO

6. PROCEDIMIENTO

6.1. UBICACIÓN DEL EQUIPO

- Solicitar a control la autorización de ingreso a piso de la pala.
- Solicitar a control la autorización para tomar el equipo en mantenimiento.
- Realizar el bloqueo autónomo (site awareness) de la zona donde se realizará el trabajo (asegurar que todas las unidades queden dentro de la zona de bloqueo).
- Inspección de la zona de trabajo, condiciones del terreno, asegurarse que las distancias de los taludes y máquinas sean adecuadas para desarrollar las actividades.
- Todas las maniobras o ubicación de equipo se realizan con el operador de turno.
- Coordinar con el operador del equipo la ubicación final alejado del talud a una distancia no menor a 30 metros y el apagado correcto del equipo.
- Delimitar área de parqueo de camionetas y equipos de apoyo (camiones de servicio, camión grúa y camión lubricador). Realizar la correcta delimitación del área de trabajo con conos y barras.

CAMBIO DE LATCH BAR- PALA 7495HR	Área: Mantenimiento Mecánico Mina
Procedimiento escrito de trabajo - PET	Versión: 01

6.2. TRASLADO DE HERRAMIENTAS Y REPUESTOS AL ÁREA DE TRABAJO

6.2.1. INGRESO A PISO DE PALA

- Delimitación del área de trabajo con conos y barras de seguridad.
- Observar permanentemente el terreno por donde se va a transitar.

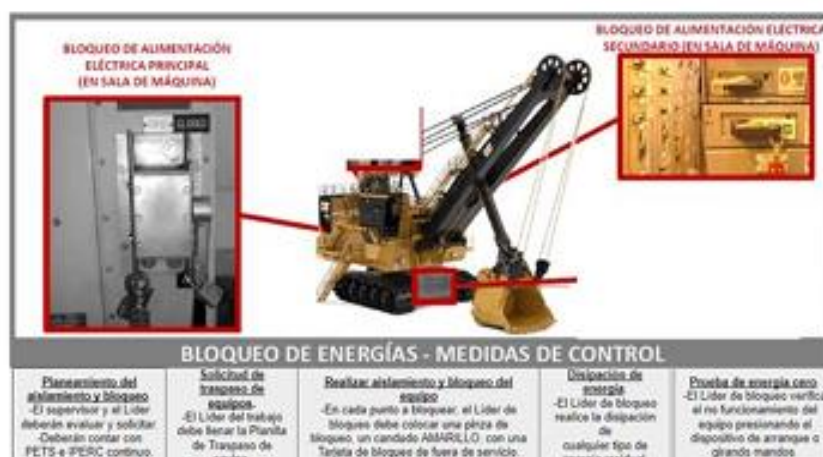
6.2.2. POSICIONAMIENTO DEL EQUIPO

- Realizar las coordinaciones necesarias con el operador de PALA 7495 para el cambio del latch bar.
- Aplicar todos los frenos y apagar la pala.



6.2.3. INGRESO DEL PERSONAL AL EQUIPO (AISLAMIENTO BLOQUEO)

- Antes de accionar el dispositivo de accionamiento mecánico (soga, cable) para bajar la escalera y acceder al equipo, verificar que el personal no se encuentre en el radio de descenso de la escalera.
- Para subir la escalera, accionar la botonera eléctrica en la plataforma, asegurarse de no exponer las partes del cuerpo en los puntos de atrapamientos.



CAMBIO DE LATCH BAR- PALA 7495HR	Área: Mantenimiento Mecánico Mina
Procedimiento escrito de trabajo - PET	Versión: 01

6.2.4. BLOQUEO Y ETIQUETADO

- Comunicar al operador que se procederá a realizar el bloqueo del equipo.



- Dirigirse al gabinete de bloqueo del equipo ZHV/DPD, liberar la energía residual, desconectar el disyuntor principal DPD ubicada en el gabinete ZHV (corta la energía de los motores principales), verificar que no se tenga energía, ubicar candado y tarjeta departamental, ubicar la llave del candado departamental dentro de la caja de bloqueo grupal y proceder a colocar sus candados de bloqueo personal en la caja de bloqueo grupal.
- Personal técnico debe bloquear con candado personal en la caja de bloqueo. El Operador debe apagar la PALA7495.



CAMBIO DE LATCH BAR- PALA 7495HR	Área: Mantenimiento Mecánico Mina
Procedimiento escrito de trabajo - PET	Versión: 01

6.3. EJECUCIÓN DEL CAMBIO DE LATCH BAR

6.3.1. RETIRO DE ESPADA

- Cortar los pernos del candado que une la espada con el cable auxiliar.



- Sostener el latch bar de la oreja superior con grillete de 3/4 y eslinga de 1 TN X 3m de capacidad y elevarlo ligeramente con la grúa (2 a 3 pulgadas) para retirar las lanas y seguros de unión entre el barretón y la espada, los seguros podrían estar soldados por lo que se requerirá el apoyo de soldadura para retirarlos
- Una vez retirado los seguros bajar nuevamente el latch bar y reubicar el brazo de la grúa para iniciar el retiro de la espada.
- Retirar tapa y el pin que une la espada a la estructura de la compuerta, y retirar la espada con movimientos de sube y baja jalando ligeramente hacia la parte exterior con uso de barreta al tener un 50 % de la espada afuera se reubicará el brazo de la grúa para colocar el punto de anclaje en la mitad de la espada, colocar una soga como viento y continuar con el retiro de la espada.

Recomendación: no exponerse en la línea de fuego, la espada podría salir y girar por pérdida de equilibrio, siempre mantenerse alejado de la carga y usar los vientos para controlar en todo momento la carga.

- Ubicar la espada en camión con apoyo de vientos para su retiro del área.

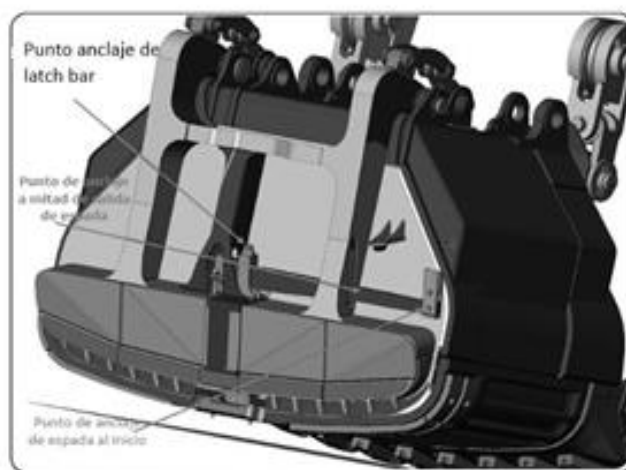
6.3.2. RETIRO DE LATCH BAR

- Ubicar el brazo de la grúa sobre el latch bar y sujetarlo del punto de anclaje superior.
- Iniciar el retiro del latch bar jalando suavemente hacia arriba.
- Tener en cuenta que el latch bar trabaja ligeramente inclinado dentro de la tapa de cucharón, por lo que al salir tendrá un ligero movimiento de valvén, al estar al 50% de retiro se debe colocar un viento y alejarse para controlar la salida del latch bar.

Recomendación: no ponerse en la línea de fuego. El latch bar pesa 500 kilos, al salir deberá controlarse con el viento instalado.

- No perder de vista en todo momento la carga.
- Ubicar el barretón en el camión con apoyo de vientos para su retiro del área.

CAMBIO DE LATCH BAR- PALA 7495HR	Área: Mantenimiento Mecánico Mina
Procedimiento escrito de trabajo - PET	Versión: 01



6.3.3. INSTALACIÓN DEL LATCH BAR NUEVO

- Sujetar el latch bar nuevo del punto de sujeción superior.
- Colocar vientos a la mitad del latch bar para su movimiento hacia la tapa de cucharón.
- Verificar que la posición del latch bar sea la adecuada (chaffan de la punta hacia adelante).
- El latch bar ingresa a la tapa ligeramente inclinado, por lo que la elevación del talón del cucharón ayuda a este, de ser necesario el latch bar deberá ser ayudado para su ingreso con una barreta.
- Bajar lentamente la carga
- Retirar los vientos cuando el latch bar este a un 50% de haber ingresado en la tapa.
- Ubicar el latch bar en su posición final.



CAMBIO DE LATCH BAR- PALA 7495HR	Área: Mantenimiento Mecánico Mina
Procedimiento escrito de trabajo - PET	Versión: 01

6.3.4. INSTALACIÓN DE LA ESPADA

- izar la espada de la parte central de la misma.
- Colocar los vientos en el agujero de unión con el candado.
- Llevar la espada hacia la tapa.
- No perder de vista la carga,
- No ponerse en la línea de fuego
- Insertar la espada en la tapa de cucharón.
- Ingresar ligeramente con ayuda de la grúa.
- Cuando la espada haya ingresado un 50% retirar la eslinga y ubicarla en el agujero de unión con el candado.
- Colocar la C de seguro en el punto de apoyo final de la espada.
- Levantar ligeramente la espada y con ayuda de un combo llevar la espada hasta su posición final.
- De ser necesario, ayudarse con una barreta para guiar el ingreso de la espada.



6.3.5. INSTALACIÓN DE SEGUROS

- Reubicar el brazo de la grúa sobre el latch bar y anclarlo con la eslinga.
- Levantar ligeramente el latch bar para permitir la instalación del pin de seguro entre este y la espada.
- Colocar el seguro del pin con sus pernos.
- Tener cuidado al colocar el pin su peso (7 kilos) podría golpear las manos.
- De ser necesario asegurar con soldadura los pernos.
- Instalar el candado de unión del cable auxiliar con la espada.

6.3.6. HABILITAR ENERGÍA ELÉCTRICA DE LA PALA

- Una vez finalizado el proceso de cambio de latch bar, se procederá a realizar el desbloqueo de equipo, el personal eléctrico habilitará el seccionador del DPD llegando a energizar la Pala CAT 7495, el personal de mantenimiento realizará las coordinaciones con el operador para realizar pruebas operacionales.

CAMBIO DE LATCH BAR- PALA 7495HR	Área: Mantenimiento Mecánico Mina
Procedimiento escrito de trabajo - PET	Versión: 01

6.3.7. ARRANQUE DE EQUIPO

- Retirar al personal no involucrado en las pruebas de equipo, coordinar con el operador y proceder con el arranque de equipo.



6.3.8. CALIBRACIÓN DE LIMITES DE IZAR

- Realizar movimientos de subida y bajada de cucharón, levantar el cucharón y calibrar el límite de retardo y parada en subida; bajar el cucharón y calibrar el límite de retardo y parada en bajada del cucharón.



6.3.9. PRUEBAS OPERACIONALES DE EQUIPO

- Coordinar con el operador para realizar movimientos operativos del equipo y dar su conformidad.

CAMBIO DE LATCH BAR- PALA 7495HR	Área: Mantenimiento Mecánico Mina
Procedimiento escrito de trabajo - PET	Versión: 01



6.3.10. ENTREGA DEL EQUIPO A OPERACIONES

- Se coordina con el operador, se despeja el área y se procede a entregar el equipo vía radial al supervisor de operaciones.



Anexo 5. Cálculo del costo por hora de pala electromecánica 7495HR

DATOS		
Tasa de interés efectiva anual (TEA)	12%	
Máquina	7495 Hydracrowd	
Valor de la máquina (Va)	21,000,000.00	USD
Valor de rescate (10%) (Vr)	2,100,000.00	USD
Precio base de depreciación	18,900,000.00	USD
Vida económica útil (VEU)	109500	Hrs
Vida útil (N)	15	años (N)
	2	Guardias/día
	10	Hrs efectivas / guardia
Horas de operación por año	7300	Horas
Inversión media anual (IMA)	11,200,000.00	USD/año

COSTO DE POSESIÓN				
Depreciación (D)	Va-Vr	18,900,000.00	172.60	USD/Hr
	VEU	109500		
Interés horario del capital invertido (I)	IMA*TEA*N	20,160,000.00	184.11	USD/Hr
	VEU	109500		

Costo posesión por hora	356.71	USD/Hr
-------------------------	--------	--------

COSTO DE OPERACIÓN						
Consumo eléctrico	3778	kW	0.074	USD kW/Hr	279.57	USD/Hr
Consumibles por PM (Filtros+ Aceites+Grasa)					32.21	USD/Hr
Mantenimiento y reparación (50%)					95.89	USD/Hr
Costo de operación por hora					407.67	USD/Hr
Mano de obra (Salario + Beneficios sociales+Bonos)					50.00	USD/Hr
Accesorios	Vida Útil (Hrs)		Precio USD			
Reparación balde	500		30,000.00		60	USD/Hr
Costo de cables	1500		30,189.00		20.126	USD/Hr
Carrilería	30000		1,957,842.00		65.26	USD/Hr
Costo de accesorios					145.39	USD/Hr

Costo operación por hora	603.06	USD/Hr
--------------------------	--------	--------

COSTO TOTAL HORARIO	959.77	USD/Hr
---------------------	--------	--------

Palas Mineral		
Cc	62.7	m3
E	0.91	%
F	0.9	%
H	1	
A	1.1	
% Esponj.	0.83	%
Densidad Mineral	2.45	TM/m3
Densidad Desmonte	0	TM/m3
Tc	19	Segundos
	0.32	Minutos
Rendimiento	4411.24	TM/Hr
Costo Unitario Miner.	0.22	USD/TM
Costo Unitario Var	2.45	USD/TM
Costo Parada	10,807.53	USD/Hr

Leyenda:

- Cc Capacidad de la cuchara
- E Factor de utilización
- F Factor de llenado
- H Factor de corrección por la altura de la pila de material
- A Factor de corrección por el ángulo de giro
- Tc Ciclo de un cuchareo

Anexo 6. Evaluación económica del proyecto

Mes	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Costo del proyecto	- 224,749.00												
Ingresos													
Horas gan 7495HR		4.25	2.96	5.36	7.66	1	5.21	6.62	6.9	2.71	4.65	3.44	7.95
TonVHHefec 7495HR	4,411.24	4,411.24	4,411.24	4,411.24	4,411.24	4,411.24	4,411.24	4,411.24	4,411.24	4,411.24	4,411.24	4,411.24	4,411.24
Extracción Total [TM]		18,747.77	13,057.27	23,644.25	33,790.10	4,411.24	22,982.56	29,202.41	30,437.56	11,954.46	20,512.27	15,174.67	35,069.36
% Ext-Prod	0.32%	0.32%	0.32%	0.32%	0.32%	0.32%	0.32%	0.32%	0.32%	0.32%	0.32%	0.32%	0.32%
Aumento Total Cu [TM]		59.99	41.78	75.66	108.13	14.12	73.54	93.45	97.40	38.25	65.64	48.56	112.22
Ingreso a 1597 USD/TM [USD]		95,808.60	66,727.87	120,831.56	172,680.92	22,543.20	117,450.08	149,235.99	155,548.09	61,092.07	104,825.88	77,548.61	179,218.45
Impuesto (18%)		17,245.55	12,011.02	21,749.68	31,082.57	4,057.78	21,141.01	26,862.48	27,998.66	10,996.57	18,868.66	13,958.75	32,259.32
Flujo de caja	- 224,749.00	78,563.06	54,716.86	99,081.88	141,598.35	18,485.42	96,309.06	122,373.51	127,549.43	50,095.50	85,957.23	63,589.86	146,959.13
Tasa	0.12												
VAN	317,424.48												
TIR	36%												