

FACULTAD DE INGENIERÍA



Carrera de Ingeniería Industrial

“DISEÑO DE UN SISTEMA BASADO EN LA METODOLOGÍA SIX SIGMA PARA MEJORAR LA GESTIÓN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO DE LOS EQUIPOS ESTÁTICOS DE UNA EMPRESA MINERA, CAJAMARCA, 2020”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Industrial

Autor:

Rodolfo Castrejon Torres

Asesor:

Mg. Ing. Elmer Aguilar Briones

Cajamarca - Perú

2021

DEDICATORIA

GRACIAS

Por darme todo lo que tengo, porque sin ustedes yo no sería nada.
¡Por ser lo bueno y constante en mi vida!
Porque a pesar de mis fallas están ahí,
por no dejarme cuando más lo necesite,
pero, sobre todo:

Gracias por tenerme y por darme la vida en todas las formas posibles

AGRADECIMIENTO

A quien le debo todo en la vida, le agradezco el cariño, la comprensión, la paciencia y el apoyo que me brindan mientras estoy a su lado, sé que siempre me cuidan y me protegen de todos los males queridos padres.

A ti por todos los momentos que hemos pasado juntos, has sido un gran apoyo para mí y culminar mi carrera profesional. Porque a pesar de los obstáculos estamos unidos, misión cumplida.

Gracias

TABLA DE CONTENIDOS

| | |
|---|-----------|
| DEDICATORIA | 2 |
| AGRADECIMIENTO..... | 3 |
| ÍNDICE DE TABLAS | 6 |
| ÍNDICE DE FIGURAS | 8 |
| ÍNDICE DE ECUACIONES..... | 10 |
| RESUMEN | 11 |
| ABSTRACT | 12 |
| CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN | 13 |
| 1.1 Realidad problemática..... | 13 |
| 1.2 Formulación del problema | 16 |
| 1.3 Objetivos | 16 |
| 1.3.1 <i>Objetivo general</i> | 16 |
| 1.3.2 <i>Objetivos específicos</i> | 16 |
| 1.4 Hipótesis..... | 16 |
| CAPÍTULO II. METODOLOGÍA | 17 |
| 2.1 Tipo de investigación | 17 |
| 2.2 Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos..... | 17 |
| 2.3 procedimiento..... | 17 |
| 2.3.1 Procedimiento para recoger los datos..... | 18 |
| 2.3.2 Procedimiento para analizar datos..... | 18 |
| 2.3.2 Procedimiento para aplicar Six sigma..... | 19 |
| 2.4 Aspectos Éticos | 19 |
| 2.5 Sistema de Variables | 20 |
| CAPÍTULO III. RESULTADOS | 21 |
| 3.1. Datos Generales de la Empresa..... | 21 |
| 3.1.1 <i>Visión y Misión</i> | 21 |
| 3.1.2 <i>Estructura organizativa del Área de Mantenimiento</i> | 22 |
| 3.2 Diagnóstico de la situación actual área de mantenimiento | 23 |
| 3.2.1 <i>Pasos de los trabajos de mantenimiento predictivo</i> | 23 |
| 3.2.2 <i>Análisis FODA</i> | 24 |
| 3.2.3 <i>diseño basado en la metodología Six sigma</i> | 26 |
| 3.2.4 <i>Diagnóstico de la variable: metodología Six sigma</i> | 30 |
| 3.2.4.1 <i>Dimensión definir</i> | 30 |
| 3.2.4.2 <i>Dimensión medir</i> | 34 |
| 3.2.4.3 <i>Dimensión analizar</i> | 51 |
| 3.2.4.4 <i>Dimensión mejorar</i> | 56 |
| 3.2.4.5 <i>Dimensión control</i> | 60 |
| 3.2.5 diagnostico de la variable dependiente gestión de mantenimiento predictivo de equipos estaticos..... | 63 |
| 3.2.5.1 <i>Dimensión de ornes de trabajo</i> | 63 |
| 3.2.5.2 <i>Dimensión gestión de tiempo</i> | 65 |
| 3.2.5.3 <i>Dimensión inconformidades</i> | 68 |

| | | |
|--|--|-----------|
| 3.3 | Resultado luego de la propuesta de mejora..... | 71 |
| 3.3.1 | resultados luego de la propuesta de mejora de la variable independiente | 71 |
| 3.3.1.1 | Diagnostico dimensión definir..... | 74 |
| 3.3.1.2 | Diagnostico dimensión medir..... | 74 |
| 3.3.1.3 | Diagnostico dimensión analizar..... | 75 |
| 3.3.1.4 | Diagnostico dimensión mejorar..... | 76 |
| 3.3.1.5 | Diagnostico dimensión control..... | 76 |
| 3.3.2 | Mejora estimada resultados luego de la propuesta de mejora de la variable dependiente: gestión de mantenimiento predictivo | 76 |
| 3.3.2.1 | Dimensión gestión de ornes de trabajo | 76 |
| 3.3.2.2 | Dimensión gestión de tiempo..... | 77 |
| 3.3.2.3 | Dimensión inconformidades..... | 77 |
| 3.4 | Resultados de la evaluación de la propuesta de mejora | 78 |
| CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES..... | | 83 |
| 4.1 | Discusión..... | 83 |
| 4.2 | Conclusiones | 86 |
| REFERENCIAS..... | | 87 |
| ANEXOS A: ENCUESTA..... | | 89 |
| ANEXOS B: GUION DE ENTREVISTA | | 90 |
| ANEXOS C: INFORMACIÓN DE LA EMPRESA..... | | 91 |
| ANEXOS D: LISTA DE VERIFICACIÓN 5S` s | | 95 |
| ANEXOS E: CARTA DE AUTORIZACION DE USO DE LA INFORMACIÓN..... | | 96 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | | |
|-----------------|---|----|
| Tabla 1 | <i>Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos</i> | 17 |
| Tabla 2 | <i>Operacionalización de Variable</i> | 20 |
| Tabla 3 | <i>Matriz de las Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas (FODA)</i> | 25 |
| Tabla 4 | <i>Promedio mensual de órdenes de trabajo</i> | 27 |
| Tabla 5 | <i>Tiempo de ejecución de cada fase del proceso</i> | 31 |
| Tabla 6 | <i>Quejas o reclamos de los clientes</i> | 33 |
| Tabla 7 | <i>Tiempo de ejecución de cada fase del proceso</i> | 34 |
| Tabla 8 | <i>Diagrama de SIPOC</i> | 35 |
| Tabla 9 | <i>VoC del Cliente</i> | 36 |
| Tabla 10 | <i>Cronograma de actividades</i> | 37 |
| Tabla 11 | <i>Elementos para el cálculo del DPMO Solicitudes de Órdenes</i> | 38 |
| Tabla 12 | <i>Tiempo de ejecución de cada fase del proceso</i> | 39 |
| Tabla 13 | <i>Falta de cumplimiento de la planificación del programa de mantenimiento</i> | 40 |
| Tabla 14 | <i>Demoras constante en el cumplimiento de cada clico</i> | 41 |
| Tabla 15 | <i>Demoras en la entrega de repuestos</i> | 42 |
| Tabla 16 | <i>Falta de limpieza del área para poder ejecutar la técnica</i> | 43 |
| Tabla 17 | <i>Falta de mano de obra calificada</i> | 44 |
| Tabla 18 | <i>Falta procedimientos estandarizados en los trabajos</i> | 45 |
| Tabla 19 | <i>Falta capacitación del personal de las empresas donde se presta el servicio</i> | 46 |
| Tabla 20 | <i>Falta de materiales o equipos predictivos para el mantenimiento</i> | 47 |
| Tabla 21 | <i>Falta de codificación de los equipos</i> | 48 |
| Tabla 22 | <i>Falta de gestión de repuestos</i> | 49 |
| Tabla 23 | <i>Falta de claridad en las funciones y responsabilidades del personal del área</i> | 50 |
| Tabla 24 | <i>Falta de seguimiento en los trabajos realizados</i> | 53 |
| Tabla 25 | <i>Falta de seguimiento en proveedores</i> | 54 |

| | |
|---|----|
| Tabla 26. <i>Pérdidas de horas por paradas repentinas</i> | 58 |
| Tabla 27. <i>Análisis AMFE</i> | 59 |
| Tabla 28. <i>Modos de fallos según índice prioritario de riesgo</i> | 63 |
| Tabla 29. <i>Factores y niveles del DoE factorial completo</i> | 67 |
| Tabla 30 <i>Matriz factorial completa</i> | 69 |
| Tabla 31. <i>Indicadores del sistema de gestión para mantenimiento predictivo basado en la metodología six sigma</i> | 72 |
| Tabla 32. <i>Promedio mensual de órdenes de trabajo con 30% de mejora estimado</i> | 75 |
| Tabla 33. <i>Análisis AMFE después de la mejora del 30%</i> | 76 |
| Tabla 34. <i>Mejoras estimadas con la puesta en marcha del sistema</i> | 78 |
| Tabla 35. <i>Inversión inicial</i> | 79 |
| Tabla 36. <i>Consumibles periódicos</i> | 79 |
| Tabla 37. <i>Capacitaciones</i> | 80 |
| Tabla 38. <i>Crecimiento trimestral de órdenes de trabajo culminas con las mejoras</i> | 80 |
| Tabla 39. <i>Flujo de caja</i> | 81 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. <i>Estructura organizativa del área de Mantenimiento</i> | 22 |
| Figura 2. <i>Flujograma del área de mantenimiento</i> | 23 |
| Figura 3. <i>Órdenes culminadas vs. Órdenes pendientes</i> | 27 |
| Figura 4. <i>Tiempo de ejecución de mantenimientos: Planificado vs. Real</i> | 28 |
| Figura 5. <i>Distribución de no conformidades</i> | 29 |
| Figura 6. <i>Diseño basado en la metodología Six Sigma</i> | 32 |
| Figura 7. <i>Tabla de conversión Six Sigma</i> | 37 |
| Figura 8. <i>Niveles Six Sigma en Proceso</i> | 38 |
| Figura 9. <i>Mapa del proceso</i> | 39 |
| Figura 10. <i>Porcentaje de falta de cumplimiento de la planificación del programa de mantenimiento</i> | 40 |
| Figura 11. <i>Porcentaje de demoras constante en el cumplimiento de cada clico</i> | 41 |
| Figura 12. <i>Porcentaje de demoras en la entrega de repuestos</i> | 42 |
| Figura 13. <i>Porcentaje de falta de limpieza del área para poder ejecutar la técnica</i> | 43 |
| Figura 14. <i>Porcentaje de falta de mano de obra calificada</i> | 44 |
| Figura 15. <i>Porcentaje de falta procedimientos estandarizados en los trabajos</i> | 45 |
| Figura 16. <i>Porcentaje de falta capacitación del personal de las empresas donde se presta el servicio</i> | 46 |
| Figura 17. <i>Porcentaje de falta de materiales o equipos predictivos para el mantenimiento.</i> | 47 |
| Figura 18. <i>Porcentaje de falta de codificación de los equipos</i> | 48 |
| Figura 19. <i>Porcentaje de falta de gestión de repuestos</i> | 49 |
| Figura 20. <i>Porcentaje de falta de claridad en las funciones y responsabilidades del personal del área.</i> | 50 |
| Figura 21. <i>Porcentaje de falta de seguimiento en los trabajos realizados</i> | 51 |
| Figura 22. <i>Porcentaje de falta de seguimiento en proveedores</i> | 54 |

| | |
|---|----|
| Figura 23. <i>Porcentaje de pérdidas de horas por paradas repentinas</i> | 55 |
| Figura 24. <i>Diagrama Ishikawa</i> | 61 |
| Figura 25. <i>Diagrama de Pareto modos de fallos según índice prioritario de riesgo.</i> | 62 |
| Figura 26. <i>Diagrama de Árbol</i> | 64 |
| Figura 27. <i>Pizarra de control de ejecución de órdenes de trabajo</i> | 66 |
| Figura 28. <i>Pizarra Kanban para órdenes de trabajo</i> | 69 |
| Figura 29. <i>Puntos de operaciones de SGS</i> | 92 |
| Figura 30. <i>Cadena de Valor de empresa minera</i> | 94 |

ÍNDICE DE ECUACIONES

| | |
|---|----|
| Ecuación 1. <i>Porcentaje de órdenes de trabajo ejecutadas</i> | 35 |
| Ecuación 2. <i>Porcentaje de órdenes de trabajo pendientes</i> | 35 |
| Ecuación 3. <i>Desviación del plan de ejecución de trabajo</i> | 35 |
| Ecuación 4. <i>Tiempo adicional para ejecución de mantenimientos</i> | 36 |
| Ecuación 5. <i>Porcentaje de desviación del tiempo de ejecución</i> | 64 |
| Ecuación 6. <i>Índice de no conformidad por servicio</i> | 65 |
| Ecuación 7. <i>Índice de no conformidad por tiempo de entrega</i> | 65 |
| Ecuación 8. <i>Índice de no conformidad absoluta</i> | 68 |
| Ecuación 9. <i>Defectos por oportunidad</i> | 68 |
| Ecuación 10. <i>Defectos por millón de oportunidades</i> | 70 |
| Ecuación 11. <i>Yield (rendimiento)</i> | 70 |
| Ecuación 12 <i>Capacidad del proceso</i> | 70 |
| Ecuación 13. <i>Índice de rentabilidad</i> | 82 |

RESUMEN

La presente investigación tiene por objetivo diseñar un sistema de gestión de mantenimiento predictivo basado en la metodología Six Sigma para mejorar la gestión de los procesos de mantenimiento predictivo de los equipos estáticos de una empresa minera en la región Cajamarca. El tipo de investigación es explicativa, como población se consideró el área de mantenimiento de un proyecto minero ubicado en Cajamarca, la muestra seleccionada fue el área de mantenimiento de equipos estáticos. Se emplearon como técnica de recolección de datos: la entrevista, la encuesta y la observación directa, y como instrumentos; el cuestionario y la lista de verificación. Como resultado más importante en el diagnóstico de la situación actual, de los procesos de mantenimiento predictivo que se ejecutan en la empresa minera se evidenció un porcentaje de desviación en el tiempo de ejecución, con un valor negativa de -39.74%. Para ello se propuso el diseño de un modelo de gestión de mantenimiento predictivo para los equipos estáticos basado en la Metodología Six Sigma, siguiendo la metodología DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Implantar o Mejorar y Controlar) se puede lograr mejoras de hasta 30%. Se concluye que, la aplicación del estudio proyecta una viabilidad económica para a empresa como un VAN de S/.172348.37 y un TIR de 144%.

Palabras clave: Sistema de gestión, metodología Six Sigma, mantenimiento predictivo, minería.

ABSTRACT

This research propose is to design a six sigma management system to improve the administration of static equipment predictive maintenances for Cajamarca’ mining companies. The investigation was descriptive type, the population was Cajamarca’s mining projects, and the sample was the static equipment maintenance area. The data recollection techniques used were interview, inquiry and direct observation. As instruments the checklist and the questionnaire were used. The results showthrough the diagnostic that predictive maintenance process in mining companies at the present doesn’t accomplish its delivery times with a negative deviation of -39.47%. To resolve that, it was proposed a predictive management system based in six sigma methodology following the DMAIC steps (Define, Measure, Analyze, Improvement and Control), to achieve 30% improvements. It is concluded that the system projects an economics increase for de companies with an NPV of S/.172348.37 and IRR of 144%.

Keywords: Six sigma methodology, management system, predictive maintenance, mining.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1 Realidad problemática

En la actualidad la gestión de mantenimiento del equipo mecánico, ha cobrado gran relevancia para los empresarios de la alta gerencia, debido a que una buena gestión puede maximizar la rentabilidad empresarial (Olarte, Botero & Cañón, 2010). En el sector minero la realidad muestra que el mantenimiento de equipos y máquinas se consideraba con una visión muy reducida del mantenimiento creyendo que su enfoque era netamente para realizar cambios de aceites a las maquinarias y manejar de manera muy incipiente un software administrativo de un programa (Alavedra et al., 2016; Viveros et al., 2013).

El mantenimiento significa “mantener el correcto estado funcional de los equipos e instalaciones” (Olarte et al., 2010, p. 21). En este sentido Díaz y De La Paz (2016), definen el mantenimiento como las acciones tanto técnicas, como organizativas y económicas que se esfuerzan por “conservar o restablecer el buen estado de los activos fijos, a partir de la observancia y reducción de su desgaste, con el fin de alargar su vida útil, conservando el medio ambiente y la seguridad del personal” (p.15). Cuya finalidad es preservar o restaurar las máquinas e instalaciones que conforman un proceso de producción, permitiendo que éstos alcancen su máximo rendimiento (Arrieta et al., 2011; Olarte, et al., 2010; Tejada, 2016).

El mantenimiento predictivo en los últimos años se inclina hacia una tendencia permanente de clase mundial, como por ejemplo los procesos Six Sigma, el cual es un modelo del sistema de mantenimiento, donde todos los participantes comprenden el proceso, de fácil aplicación y requiere de un costo mínimo de implementación (Endler & Da Rosa, 2016). Lo cual indica la necesidad de un cambio de concepción en el sector empresarial, donde se valore la implementación de un plan de mantenimiento que

permita conservar sus equipos, maquinarias, herramientas e instalaciones, para la mejora continua de sus condiciones de funcionamiento (Olarte et al., 2010).

Según Gonzales en año 2005, en relación a los equipos estáticos en la industria minera, referidos a los equipos de proceso como tanques, recipientes y líneas; que manejan, contienen o transportan fluidos presurizados y no presurizados, expuestos a presentar un posible riesgo de falla catastrófica, y requiere de un mantenimiento preventivo o predictivo, a los fines de revisar al equipo o parte de él, con la finalidad de determinar cuál es el estado actual y de esa manera realizar las inspecciones pertinente para optimizar la vida útil del equipo o evitar posible fallas graves de funcionamiento así como incrementar los costos por parada de equipos.

Otro estudio que sirvió como antecedente, fue el realizado por Uzcátegui (2014), quien realizó una investigación titulada: Propuesta de mejoramiento de gestión de mantenimiento para el departamento de confiabilidad y proyectos en la empresa PETROSANTANDER Colombia, llegando a la conclusión que la implementación del software de mantenimiento es una herramienta práctica y clave para el establecimiento de los planes de mantenimiento.

Como se pudo evidenciar en los trabajos analizados, en la actualidad el sector minero del Perú se ha visto más favorecido, sin embargo, algunas empresas mineras aun no consideran con la debida premura, la implementación de planes de mantenimiento, y se observa en algunos proyectos mineros que carecen de una buena gestión de mantenimiento, como es el caso de una empresa minera ubicada en Cajamarca, quienes desde hace más de 26 años mantienen sus operaciones en esta localidad, pero su gestión se ha visto recientemente afectada por la falta de un buen sistema de gestión de mantenimiento.

Esta situación se pudo evidenciar en los informes anteriores y manuales del fabricante y en conversaciones sostenidas con los encargados del área de mantenimiento, quienes manifestaron que han venido presentando problemas para brindar servicio de calidad, debido a múltiples factores como por ejemplo, en la ejecución de las múltiples tareas de mantenimiento de hasta de 2 horas de pérdida de tiempo en el inicio de la jornada, y en ocasión cuando el mantenimiento requiere de una herramienta en particular o implica la reposición de alguna pieza o repuesto en específico, el retraso puede alcanzar una demora de hasta 3 días.

Además, debido a la falta de una buena organización, existe también una descoordinación en el trabajo, afectando de esta manera el clima laboral y generando en ocasiones tiempos muertos que van desde 30 minutos a una hora en cada jornada, trayendo como consecuencias la falta de puntualidad en las entregas de los servicios, entre otros. Así mismo manifestaron que existen demoras en la atención de las solicitudes de servicios de aproximadamente un 30%, debido a las constantes improvisaciones en las que se incurren por falta de planificación y una adecuada supervisión trayendo como consecuencias la prestación de un servicio deficiente y las constantes quejas en los clientes.

Todas estas premisas justifican la elaboración de la presente investigación ya que en la actualidad la empresa no cuenta con un efectivo sistema de gestión que le permita mejorar sus procesos, prestar un mejor servicio a los clientes y además ser más competitiva en el mercado, por tanto la presente investigación sería un aporte para mejorar sus procesos, apoyado en el uso de herramientas Six Sigma como metodología que permite generar un alto grado de eficiencia, y a su vez mejorar de forma continua y efectiva los procesos de la empresa.

1.2 Formulación del problema

¿En qué medida el diseño de un sistema basado en la Metodología Six sigma mejora la gestión de mantenimientos predictivos de los equipos estáticos de una Empresa Minera, Cajamarca, 2020?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Diseñar un sistema basado en la Metodología Six sigma para mejorar la gestión de mantenimiento predictivo de los equipos estáticos de una empresa minera, Cajamarca, 2020.

1.3.2 Objetivos específicos

- Determinar la situación actual de los procesos de mantenimiento, así como los indicadores de calidad, en una empresa minera.
- Diseñar un modelo de gestión de mantenimiento predictivo para los equipos estáticos basado en la metodología Six Sigma.
- Estimar el impacto del diseño de la mejora en la gestión de mantenimiento predictivo luego de la aplicación de la Metodología Six sigma en los equipos estáticos de una empresa minera.
- Evaluar la viabilidad económica del diseño de la Metodología Six sigma y su aplicación de un sistema de gestión de mantenimiento predictivo para los equipos estáticos en una empresa minera.

1.4 Hipótesis

El diseño del sistema basado en la Metodología Six Sigma mejorará la gestión de mantenimientos predictivos de los equipos estáticos de una empresa Minera, Cajamarca, 2020.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1 Tipo de investigación

El tipo de investigación es aplicada, explicativa y transversal (Hernández, Fernández y Baptista, 2014), en vista que se aplicaran herramientas de la ingeniería industrial, como la Metodología Six sigma y la gestión de mantenimiento predictivo en equipos estáticos en la industria minera. Es explicativa también porque la variable independiente explica el comportamiento de la variable dependiente, que en este caso es la gestión de mantenimiento predictivo. Es transversal porque la obtención de datos, el procesamiento de los mismos, el diseño de la propuesta de mejora y la obtención de los resultados se han dado en un periodo corto de tiempo

2.2 Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

Tabla 1

Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

| Técnica | Justificación | Instrumentos y materiales | Aplicación |
|---------------------|--|----------------------------------|--|
| Entrevista | Dicha técnica permitió obtener de primera fuente la situación problemática que acontece en el proyecto minero. | Guion de la entrevista | Se aplicó al encargado del área de mantenimiento |
| Observación Directa | Ayudo a captar de primera mano las condiciones del área de mantenimiento | Lista de verificación | Se realizó observación directa para conocer el proceso de área de mantenimiento, las condiciones del área de mantenimiento en cuanto a orden y limpieza de los materiales y equipos destinados para ejecutar el servicio a de los equipos estáticos. |

| Técnica | Justificación | Instrumentos y materiales | Aplicación |
|----------------|---|----------------------------------|--|
| Encuesta | Recolectar información de primera mano sobre las condiciones actuales de saneamiento básico de los habitantes del sector rural. | Cuestionario Lista de correos | Se aplicó un cuestionario enviado vía correo a los trabajadores del área de mantenimiento. |

Fuente: Elaboración propia

2.3 Procedimiento.

2.3.1 Procedimiento para recoger los datos

- Se realizó una entrevista telefónica al encargado del área de mantenimiento.
- Se aplicó una encuesta vía correo electrónico a los trabajadores del área de mantenimiento.
- Se elaboró una matriz FODA para analizar el diagnóstico

2.3.2 Procedimiento para analizar los datos

- Se analizó los diferentes documentos, libros, artículos etc. para dar respuesta desde un punto de vista teórico a las variables de estudio.
- Se analizaron los resultados de la entrevista telefónica para determinar las posibles fallas en los procesos de mantenimiento predictivo aplicando una estadística descriptiva porcentual presentado tablas y grafico para una mejor comprensión de sus resultados.
- Se organizaron y se analizaron los resultados de la encuesta enviada vía correo para conocer la opinión de los trabajadores en relación a distintas fallas que se vienen presentado en el área de mantenimiento predictivo.
- Se elaboró una matriz FODA para determinar las fortalezas, oportunidades debilidades y amenazas del área de mantenimiento.

- Se aplicó la metodología Six Sigma y se analizó cada una de las etapas para conocer las diferentes áreas de mantenimiento predictivo.

2.3.3 Procedimiento para aplicar Six Sigma

- **Definir:** En primera instancia se definen los objetivos del proyecto, tomando en cuenta los recursos necesarios para dar solución a cada problema.
- **Medir:** Segundo se evalúa el desempeño del proceso se recogen los datos que permitan cuantificar el problema e identificando las causas reales de este.
- **Análisis:** Tercero se analiza los datos recabados tanto actuales e históricos para ubicar las verdaderas causas del problema y lograr establecer la relación causa-efecto.
- **Mejora:** Cuarto una vez realizado el análisis de la relación causa-efecto se generan las posibles soluciones para lograr la mejora continua en los procesos.
- **Control:** Una vez evaluada las posibles soluciones se proceden a implantarlos controles que aseguren la continuidad del proceso.

2.4 Aspectos Éticos

En la investigación se consideraron los aspectos éticos para su elaboración para ello se tomó en cuenta lo siguiente:

- **Confidencialidad:** La información obtenida no será revelada ni divulgada y su uso será estrictamente para fines académicos.
- **Consentimiento Informado:** Se informó a los encargados de la empresa de los procedimientos a seguir durante el desarrollo de la investigación.
- **Anónimo:** La data fue tomada de forma confidencial sin tomar en cuenta los datos de identificación de las personas entrevistadas.

2.5 Sistema de Variables

Tabla 2

Operacionalización de Variable

| Variables | Definición | Dimensiones | Indicadores |
|--|---|-------------------------------|--|
| dependiente: Metodología Six Sigma | Según Cantú, (2018) es un método basado en datos que examina los procesos repetitivos de las empresas y tiene por objetivo llevar la calidad hasta niveles cercanos a la perfección. Se distingue de otros métodos en el hecho de que corrige los problemas antes que se presenten. | Definir | Nº de entradas del proceso Nº de salidas del proceso Nº de tareas del proceso |
| | | Medición | DPO (defecto por oportunidades) DPMO (defecto por millón de oportunidades) Capacidad del proceso (C _p) Yield Nivel sigma |
| | | Análisis | Índice prioritario de riesgo (NPR) |
| | | Mejorar | Nº Capacitaciones Nº de experimentos |
| Independiente: Gestión de Mantenimiento predictivo equipos estáticos | Según González, (2014) es aquel que predice las fallas antes de que sucedan. Este mantenimiento se realiza con el fin de detectar fallas y defectos en la maquinaria en sus primeras etapas y que esto no llegue a una falla mucho mayor durante la operación. | Control | Nº de indicadores |
| | | Gestión de órdenes de trabajo | % de órdenes de trabajo ejecutadas % de órdenes de trabajo pendientes % de desviación del plan de trabajo |
| | | Gestión de tiempo | % de desviación del tiempo de ejecución |
| | | Inconformidades | Índice de no conformidad absoluta |

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO III. RESULTADOS

3.1. Descripción General de la Empresa

La empresa minera a objeto de estudio, es una empresa dedicada al área de inspección, verificación, análisis y certificación. Con presencia a nivel internacional con una plantilla de aproximadamente 94.000 trabajadores en las casi 2.600 oficinas y laboratorios por todo el mundo. Sus servicios están orientados básicamente en la inspección, ensayos, certificación y verificación que permiten garantizar que tanto los productos como los servicios cumplan con los estándares internacionales, como las regulaciones locales abarcando toda la cadena de suministro, que va desde la materia prima, hasta llegar al consumidor final.

3.1.1 Visión y Misión

Su *visión*, es ser la organización de servicios con la mayor competitividad y productiva a nivel mundial. Bajo la fortaleza y experiencia clave en inspección, verificación, ensayos y certificación sometida a un proceso de mejora continua para mantenerse a la vanguardia en el sector.

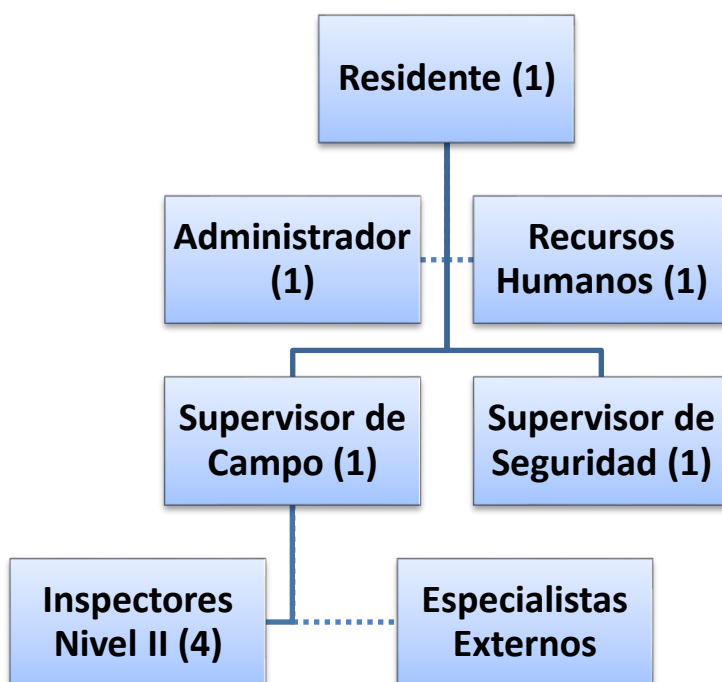
Su *misión*, es garantizar los servicios de manera segura, comprometida y eficaz; realizando para ello consultorías, capacitación, auditoría e inspecciones predictivas ofreciendo acompañamientos constantes a los “clientes, utilizando métodos productivos y efectivos para concientizar y mejorar su calidad, logrando así que sean competentes dentro del mercado, para que a su vez marquen la diferencia entre las demás organizaciones. Su objetivo es ser una empresa líder a nivel mundial en inspección, verificación, análisis y certificación” (Sitio oficial de la empresa, p. 3).

3.1.2 Estructura organizativa del Área de Mantenimiento

La estructura organizativa que se presenta en el área de mantenimiento es vertical porque se despliega de una manera jerárquica de forma escalonada para representar la relación de dependencia de los distintos puestos de trabajo. En el área de mantenimiento laboran 9 personas distribuidas jerárquicamente como se menciona a continuación:

Figura 1.

Estructura organizativa del área de Mantenimiento



Nota. Fuente: Elaboración propia.

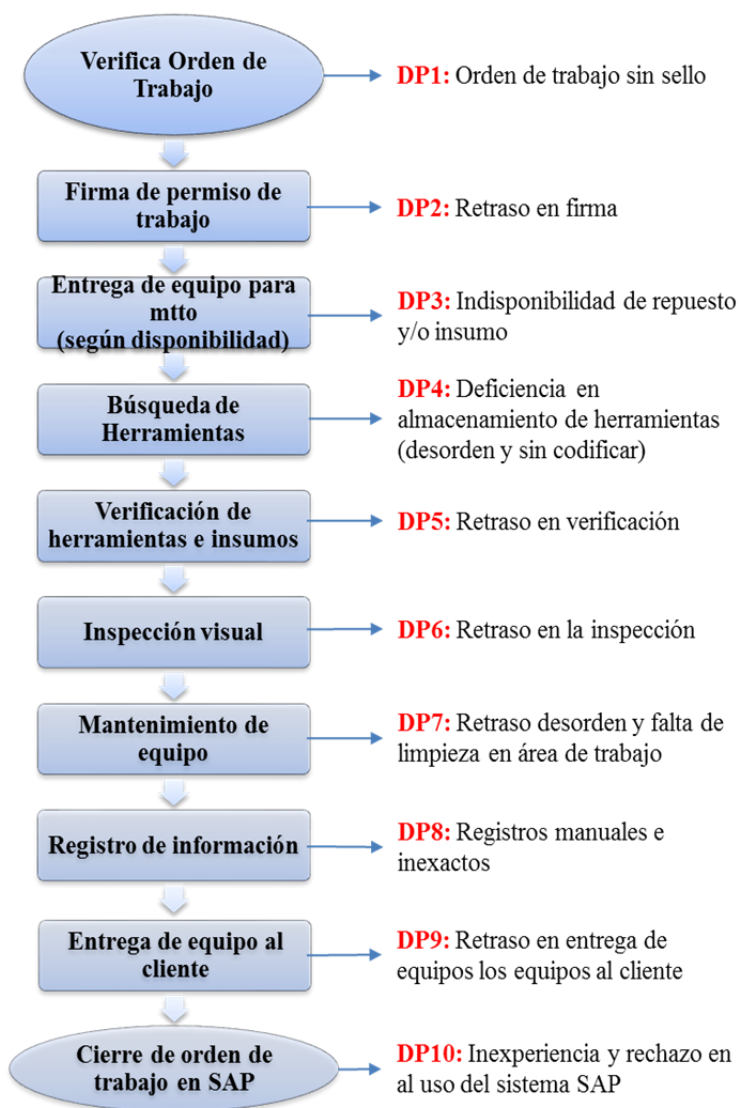
3.2 Resultados del diagnóstico en el Área de estudio: Área de Mantenimiento.

El diagnóstico se centra en el servicio que se presta en el área de mantenimiento predictivo de una compañía minera. Se pretende brindar una posibilidad de darle mayor confiabilidad al proceso y evitar las demoras y quejas de los clientes.

3.2.1 Pasos de los trabajos de mantenimiento predictivo

Figura 2.

Flujograma del área de mantenimiento



Demoras del Proceso (DP)

Nota. Fuente: elaboración propia

En el flujo grama se evidencia la ruta que se realizan en el proceso de mantenimiento predictivo y las demoras que se suscitan en cada una de las fases dicha información fue suministrada por el personal encargado quien manifestó durante la entrevista que la demora en cada fase del proceso está afectando los tiempos en cada una de las etapas.

3.2.2 Análisis FODA

Para el diagnóstico se aplicó una matriz FODA la cual permitió determinar las Fortalezas y oportunidades internas que posee la empresa para determinar las estrategias que pudieran minimizar las debilidades y amenazas que presenta el entorno.

Tabla 3

Matriz de las Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas (FODA)

| | | Fortalezas | Debilidades |
|-------------------------------------|-------------------------------------|---|---|
| Oportunidades – Amenazas | Fortalezas – Debilidades | 1. F1: Personal técnicamente calificado. 2. F2: Reconocimiento nacional de la empresa. 3. F3: Experiencia en el sector minero y de construcción 4. F4: Compromiso de la gerencia para impulsar cultura de mejora continua | 1. D1: Inexperiencia en el uso del SAP 2. D2: Carencia de insumos y herramientas de forma oportuna 3. D3: Falta de planificación. 4. D4: Altos tiempo de demora en el servicio |
| | Oportunidades | FO: Explotar | DO: Buscar |
| | | 1. F1.O1: Formar alianzas con empresas especialistas para complementar la capacidad técnica de la empresa. 2. F2/3.O2: Utilizar la experiencia y reconocimiento de la empresa en el sector minero para promoverla en miras a oportunidades de trabajo creadas por nuevas inversiones en el sector. | 1. D1.O3: Capacitar el personal en el uso de la herramienta tecnológica SAP. 2. D2.O4: Formar alianzas estratégicas con proveedores clave para garantizar la disponibilidad oportuna de insumos. |
| | Amenaza | FA: Confrontar | DA: Evitar |
| | | 1. F4.A1: Aplicar herramientas de mejora continua para optimizar procesos y mejorar la oferta de servicios. 2. F1.A2: Fortalecer las competencias técnicas y de productividad del personal para minimizar la dependencia de personal externo. | 1. D3.A3: Elaborar la planificación de los trabajos tal que se garantice oportunamente los insumos y herramientas requeridas. 2. D4.A2: Procura adelantada de insumos y materiales clave para los servicios. |

Nota. Fuente: elaboración propia

Al analizar los resultados de la matriz FODA se logra identificar las siguientes estrategias para aprovechar las fortalezas y oportunidades para solventar las amenazas y debilidades:

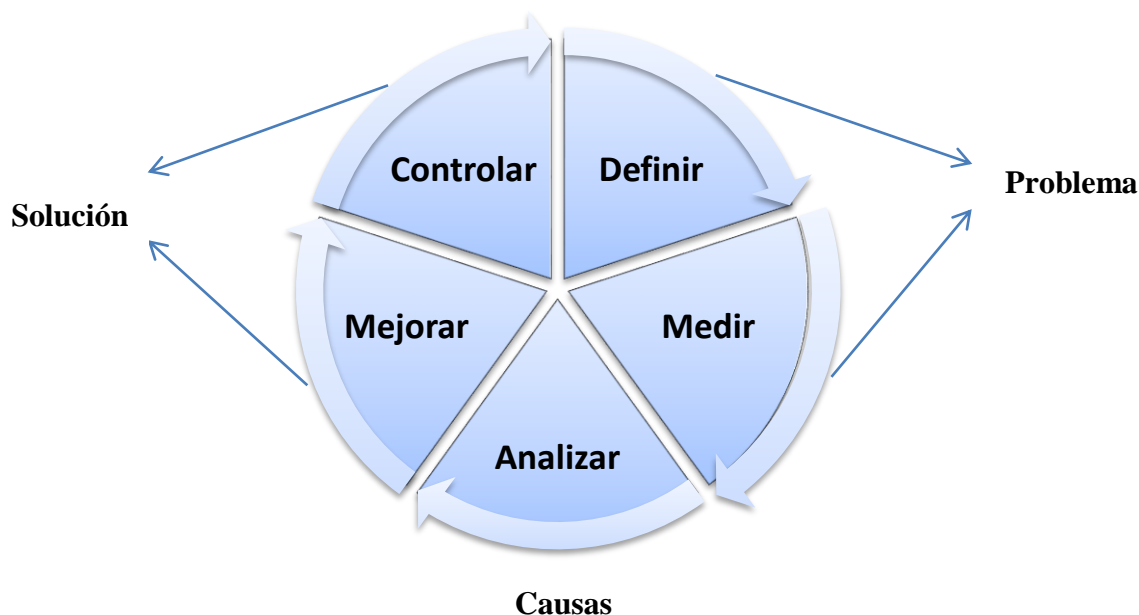
- **F1.O1:** Formar alianzas con empresas especialistas para complementar la capacidad técnica de la empresa.
- **F2/3.O2:** Utilizar la experiencia y reconocimiento de la empresa en el sector minero para promoverla en miras a oportunidades de trabajo creadas por nuevas inversiones en el sector.
- **D1.O3:** Capacitar el personal en el uso de la herramienta tecnológica SAP.
- **D2.O4:** Formar alianzas estratégicas con proveedores clave para garantizar la disponibilidad oportuna de insumos.
- **F4.A1:** Aplicar herramientas de mejora continua para optimizar procesos y mejorar la oferta de servicios.
- **F1.A2:** Fortalecer las competencias técnicas y de productividad del personal para minimizar la dependencia de personal externo.
- **D3.A3:** Elaborar la planificación de los trabajos tal que se garantice oportunamente los insumos y herramientas requeridas.
- **D4.A2:** Procura adelantada de insumos y materiales clave para los servicios.

3.2.3 Diseño basado en la metodología Six Sigma

Para la presente investigación se propone un diseño basado en Six Sigma siguiendo la metodología DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Implantar o Mejorar y Controlar), para lo cual proponen los pasos y herramientas mostradas en la tabla 4.

Figura 3.

Diseño basado en la metodología Six Sigma



Nota. Diseño propuesto basado en la metodología Six Sigma. Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.

Pasos y Herramientas para la ejecución de cada fase del proceso

| FASES | PASOS | HERRAMIENTAS |
|--------------|--|--|
| Definir | <ul style="list-style-type: none"> - Establecer los objetivos de la propuesta - Beneficios esperados - Cronograma de actividades y responsables | <ul style="list-style-type: none"> - Diagrama SIPOC - Mapa de proceso - Voz del cliente (VoC) |
| Medir | <ul style="list-style-type: none"> - Determinar las características CTQ - Diseñar un plan de recolección de datos - Establecer la capacidad del proceso | <ul style="list-style-type: none"> - DPMO - DPO - Capacidad del proceso - Nivel sigma |
| Analizar | <ul style="list-style-type: none"> - Establecer capacidad de producto - Definir los objetivos de mejora | <ul style="list-style-type: none"> - Diagrama causa/efecto - AMFE - Pareto - Diagrama de árbol |
| Mejorar | <ul style="list-style-type: none"> - Establecer optimización de variable - Establecer programa de capacitación - Experimentos | <ul style="list-style-type: none"> - Análisis de capacidad de progreso - DoE - Checklist 5S's |
| Control | <ul style="list-style-type: none"> - Verificar proceso de mejora - Medición de indicadores | <ul style="list-style-type: none"> - Pizarra (dashboard) - Gráficos de control - Indicadores |

Nota. Para el desarrollo de cada fase se proponen una serie de herramientas que facilitan su ejecución.

Para identificar el nivel Six Sigma de la empresa minera se utiliza la medida de Defectos Por Millón de Oportunidades (DPMO) (Drohomeretski, Gouvea, Pinheiro, & Vieira, 2016). Esta se utilizará como referente de comparación de calidad y defectos con la finalidad de buscar mejorar los procesos a un 99,99966% de aceptación, permite reducir la variabilidad de los procesos y así alcanzar a un nivel de 3,4 DPMO, resultados obtenidos, reducción de tiempos y reducción costos lo cual permitirá garantizar la mayor satisfacción de las necesidades de los clientes, y lo importante el desempeño financiero de la empresa así como la reducción de los errores o fallas, e influirá en el rendimiento del servicio que se presta.

Figura 4.

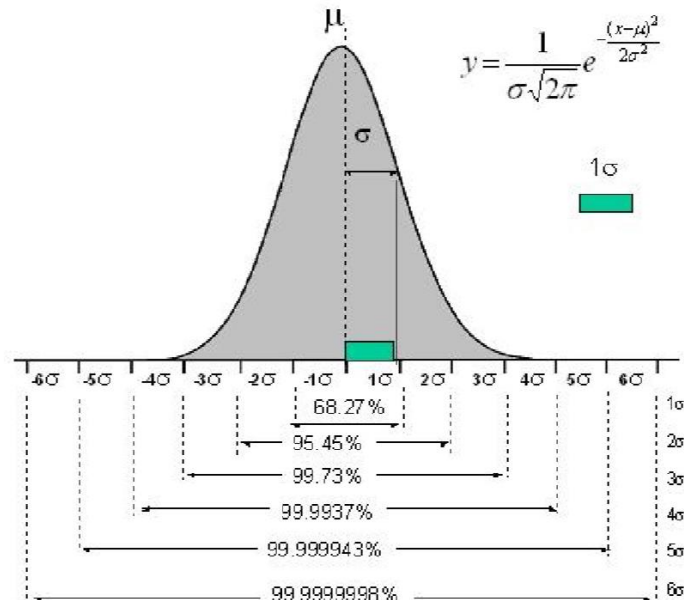
Tabla de conversión Six Sigma

| Sigma | DPMO | YIELD | Sigma | DPMO | YIELD |
|-------|--------|-----------|-------|---------|-------|
| 6 | 3.4 | 99.99966% | 2.9 | 80.757 | 91.9% |
| 5.9 | 5.4 | 99.99946% | 2.8 | 96.801 | 90.3% |
| 5.8 | 8.5 | 99.99915% | 2.7 | 115.070 | 88.5% |
| 5.7 | 13 | 99.99866% | 2.6 | 135.666 | 86.4% |
| 5.6 | 21 | 99.9979% | 2.5 | 158.655 | 84.1% |
| 5.5 | 32 | 99.9968% | 2.4 | 184.060 | 81.6% |
| 5.4 | 48 | 99.9952% | 2.3 | 211.855 | 78.8% |
| 5.3 | 72 | 99.9928% | 2.2 | 241.964 | 75.8% |
| 5.2 | 108 | 99.9892% | 2.1 | 274.253 | 72.6% |
| 5.1 | 159 | 99.984% | 2 | 308.538 | 69.1% |
| 5 | 233 | 99.977% | 1.9 | 344.578 | 65.5% |
| 4.9 | 337 | 99.966% | 1.8 | 382.089 | 61.8% |
| 4.8 | 483 | 99.952% | 1.7 | 420.740 | 57.9% |
| 4.7 | 687 | 99.931% | 1.6 | 460.172 | 54.0% |
| 4.6 | 968 | 99.90% | 1.5 | 500.000 | 50.0% |
| 4.5 | 1,350 | 99.87% | 1.4 | 539.828 | 46.0% |
| 4.4 | 1,866 | 99.81% | 1.3 | 579.260 | 42.1% |
| 4.3 | 2,555 | 99.74% | 1.2 | 617.911 | 38.2% |
| 4.2 | 3,467 | 99.65% | 1.1 | 655.422 | 34.5% |
| 4.1 | 4,661 | 99.53% | 1 | 691.462 | 30.9% |
| 4 | 6,210 | 99.38% | 0.9 | 725.747 | 27.4% |
| 3.9 | 8,198 | 99.18% | 0.8 | 758.036 | 24.2% |
| 3.8 | 10,724 | 98.9% | 0.7 | 788.145 | 21.2% |
| 3.7 | 13,903 | 98.6% | 0.6 | 815.940 | 18.4% |
| 3.6 | 17,864 | 98.2% | 0.5 | 841.345 | 15.9% |
| 3.5 | 22,750 | 97.7% | 0.4 | 864.334 | 13.6% |
| 3.4 | 28,716 | 97.1% | 0.3 | 884.930 | 11.5% |
| 3.3 | 35,930 | 96.4% | 0.2 | 903.199 | 9.7% |
| 3.2 | 44,565 | 95.5% | 0.1 | 919,243 | 8.1% |
| 3.1 | 54,799 | 94.5% | | | |
| 3 | 66,807 | 93.3% | | | |

Nota. Fuente Mejía y Álvarez(2012)

Figura 5.

Niveles Six Sigma en Proceso



Nota. Tomado de Barrera (2019)

Para Becerra, (2019) consideran que el Six Sigma representa la variación o desviación estándar y el nivel sigma de un conjunto respecto a su media, esto con el fin de que el proceso cumpla de forma consistente que permite especificar y promediar algunos resultados según su tendencia bien sea estos bueno o malo.

3.2.4 Diagnóstico de la Variable Independiente: Metodología Six Sigma

3.2.4.1 Dimensión: Definir

Para el desarrollo de los trabajos de mantenimiento se cuenta actualmente con una entrada (orden de trabajo) y una salida (equipo entregado al cliente). Por su parte, tomando como referencia la figura 2 se puede observar que el proceso actualmente cuenta con 10 tareas. Por ende, se tiene que:

Nº de entradas del proceso = 2

Nº de salidas del proceso = 3

Nº de tareas del proceso = 10

Definir: Identificar el problema

En el presente estudio se logró identificar que el proceso de gestión del área de mantenimiento es crítico debido a que interactúa de forma continua con los clientes recibiendo solicitudes de los servicios, así como, no conformidades por parte de las clientes motivadas a fallas del servicio o retrasos de los mismos. El diseño del sistema de gestión del mantenimiento predictivo basado en Six Sigma propone mejorar en 30% la gestión de los mantenimientos predictivos de los equipos estáticos.

Mediante el diagrama SIPOC (siglas en inglés Supplier – Inputs- Process- Outputs – Customers), se representó gráficamente el proceso de gestión del área de mantenimiento visualizando los distintos procesos que se dan en el área como: Los proveedores (**S**), recursos (**I**), procesos (**P**), salidas (**O**) y clientes (**C**).

Tabla 5

Diagrama de SIPOC

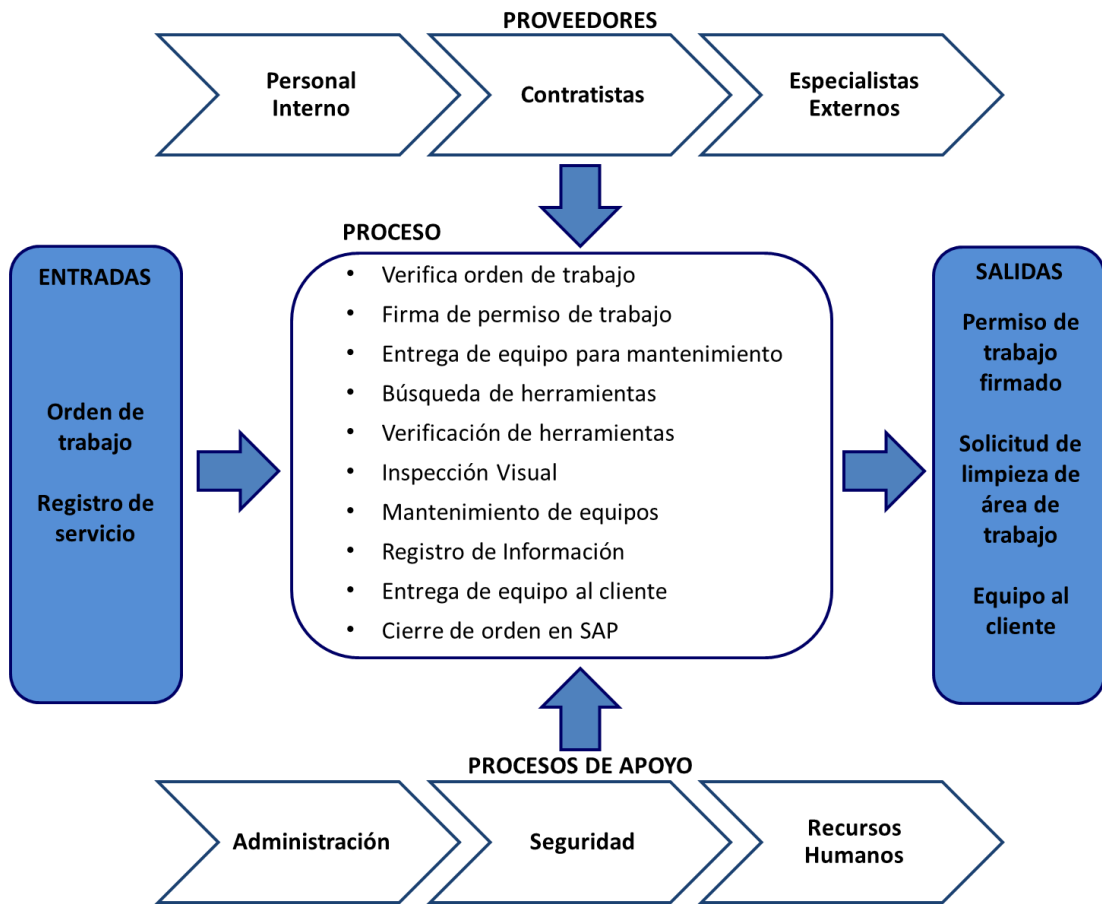
| Proveedores (S) | Entradas (I) | Procesos (P) | Salidas (O) | Clientes (C) |
|--|--|--|---|---|
| Usuarios Internos: 1. Personal interno 2. Residente 3. Técnicos operarios supervisor Usuarios Externos: 1. Empresas 2. Contratistas 3. Especialistas externos | Orden de servicio: Formato Físico. Vía correo, sitio web. Evento: Registro de la orden de servicio | Proceso de Mtto. Predictivo de Equipos Estáticos: 1. Verifica orden de trabajo. 2. Firma de permiso de trabajo. 3. Entrega de equipo para mtto. 4. Búsqueda de herramientas. 5. Verificación de herramientas e insumos. 6. Inspección visual. 7. Mantenimiento de equipo. 8. Registro de información. 9. Entrega de equipo al cliente. 10. Cerrar orden de trabajo en SAP | 1. Firma y autoriza permiso de trabajo. 2. Solicitud de limpieza en el área donde se realizará el mantenimiento 3. Entrega de equipo al cliente | Clientes: 1. Empresas mineras 2. Empresas de construcción. |

Nota. El diagrama de SIPOC permite identificar los proveedores (tanto internos como externos), entradas (conformados por las órdenes de servicio), procesos (se describe los procesos del mantenimiento predictivo en los equipos estáticos), salidas (Se relaciona con los trámites para la realización del servicio) y por último los clientes (tantas empresas mineras, como de construcción etc.).

Mediante la aplicación del SIPOC, se logró determinar aspectos fundamentales del proceso integral de mantenimiento predictivo de los equipos estáticos como sus entradas, actividades o tareas que conforman el proceso (10 tareas que representan 10 oportunidades de error), sus salidas y finalmente sus clientes. Igualmente, se determinaron sus proveedores internos y externos detallando así el proceso. Esta información permitió la construcción del mapa del proceso mostrado a continuación.

Figura 6.

Mapa del proceso



Nota. Fuente: Elaboración propia

Luego se aplicó la herramienta voz del cliente (VoC), para determinar los aspectos requeridos para orientar el proceso a los requerimientos del cliente obteniendo los resultados mostrados en la tabla 6.

Tabla 6

VoC del Cliente

| Calidad del Servicio | Servicio |
|-----------------------------|---|
| Confiabilidad | <ul style="list-style-type: none"> - Procesar todas las órdenes de servicios recibidas - Atención con celeridad a las Solicitudes emitidas |
| Credibilidad | <ul style="list-style-type: none"> - Aplicación del servicio bajo los estándares de calidad - Aplicación de la técnica en su totalidad |
| Rapidez en respuesta | <ul style="list-style-type: none"> - Seguimiento a las Solicitudes de Órdenes emitidas - Mantener una gestión de repuestos eficientes |
| Atención | <ul style="list-style-type: none"> - Llamar a los clientes y explicar las necesidades de limpieza para la aplicación de la técnica de mtto - Atender con prontitud las quejas de los clientes |
| Tangibles | <ul style="list-style-type: none"> - Llevar una de las tareas, con tiempos, recursos y responsables - Dar seguimiento a los servicios prestados |

Nota. La voz del cliente se inclina hacia calidad del servicio.

Por último, se planteó la aplicación de propuesta de la metodología Six Sigma para la mejora de la gestión de los mantenimientos predictivos de equipos estáticos mediante el siguiente cronograma.

Tabla 7

Cronograma de actividades

| Fase | Actividades | Jul | Ago. | Sep. | Oct | Nov | Dic |
|------|-----------------------------------|-----|------|------|-----|-----|-----|
| D | - Objetivos de la propuesta | | | | | | |
| | - Alcance | ■ | | | | | |
| M | - Verificar variación del proceso | | | | | | |
| | - Hacer mediciones | | ■ | | | | |
| A | - Identificar causas potenciales | | | | | | |
| | - Sistema de recolección data | | | ■ | ■ | | |
| I | - Definir estrategias de mejoras | | | | | | |
| | - Identificar factores | | | | ■ | ■ | |
| C | - Establecer controles | | | | | | |
| | - Verificar resultados | | | | | ■ | ■ |

Nota. Fuente: Elaboración propia

3.2.4.2 Dimensión: Medir

Actualmente, la empresa no maneja el valor de los indicadores DPO, DPMO, Cp, Yield, y Nivel sigma. En el caso particular de la capacidad del proceso Cp, no están claramente definidos los límites superior e inferior de especificación, los cuales son necesarios para determinar la capacidad del proceso.

Cabe resaltar con respecto a los indicadores de esta dimensión que, la línea base o diagnóstico actual de la empresa en este sentido será determinado como alcance del diseño Six Sigma dentro de esta fase.

El rendimiento actual de referencia. Recolecta datos

La fase medir se inició con la evolución del proceso de mantenimiento predictivo de equipos estáticos para determinar su índice de defecto por oportunidad (DPO) y defectos por millón de oportunidades (DPMO). Para este cálculo se aplicaron los datos mostrados a continuación.

Tabla 8.

Elementos para el cálculo del DPMO Solicitudes de Órdenes

| Descripción | Valor |
|---|-------|
| Número Solicitudes de Órdenes pendientes (Defectos) | 38 |
| Número de oportunidades de error | 10 |
| Número Solicitudes recibidas (Unidades producidas) | 119 |

Nota. Fuente: Elaboración propia

Ecuación 1.

Defectos por oportunidad

$$DPO = \frac{\text{Defectos}}{\text{Unidades producidas} * \text{Oportunidades de error}} = \frac{38}{119 * 10} = 0.032$$

Ecuación 2.

Defectos por millón de oportunidades

$$DPMO = \frac{\text{Defectos}}{\text{Unidades producidas} * \text{Oportunidades de error}} * 1000000 = \frac{38}{119 * 10} * 1000000 = 31932.77$$

A partir estos cálculos, se determinaron los índices de rendimiento (Yield) y el Nivel Sigma.

Ecuación 3.

Yield (rendimiento)

$$\text{Yield} = (1 - DPO) * 100\% = (1 - 0.032) * 100\% = 96.8\%$$

Por su parte, para determinar el nivel sigma actual de la empresa, se empleó la tabla de conversión Six Sigma mostrada en la figura 4, según la cual el Nivel Sigma actual de la empresa es 3.3 para un DPMO de 31932.77.

Luego, se midió la capacidad del proceso utilizando la ecuación 3 y los datos de la tabla 8. Los límites de especificación superior e inferior establecidos con la empresa se ubicaron en $\pm 1\%$ del tiempo planificado, es decir, ± 4 minutos resultando en un LEI = 386 minutos y un LES = 394 minutos. LEI Y LES LIMITE DE ESPECIFICACION INFERIOR Y SUPERIOR

Tabla 9.

Tiempo de ejecución de cada fase del proceso

| Tareas del proceso | Tiempo planificado de ejecución (minutos) | Tiempo real de ejecución (minutos) | Media | Desviación estándar |
|--------------------------------|---|------------------------------------|---------------|---------------------|
| Verifica orden de trabajo | 5 | 10 | 7.50 | 3.54 |
| Firma de permiso de trabajo | 10 | 15 | 12.50 | 3.54 |
| Entrega de equipo para mtto | 30 | 40 | 35.00 | 7.07 |
| Búsqueda de herramientas | 15 | 20 | 17.50 | 3.54 |
| Verificación de herramientas | 15 | 20 | 17.50 | 3.54 |
| Inspección visual | 110 | 120 | 125.00 | 7.07 |
| Mantenimiento de equipos | 170 | 250 | 215.00 | 63.64 |
| Registro de información | 15 | 20 | 17.50 | 3.54 |
| Entrega de equipo al cliente | 10 | 30 | 20.00 | 14.14 |
| Cerrar orden de trabajo en SAP | 10 | 20 | 15 | 7.07 |
| Totales | 390 | 545 | 467.50 | 109.60 |

Nota. La tabla muestra la media y la desviación estándar en las tareas del Proceso.

Ecuación 4

Capacidad del proceso

$$C_p = \frac{LES - LEI}{6 * \sigma} = \frac{394 - 386}{6 * 109.6} = 0.01$$

Como se puede observar, el resultado de la ecuación 4 es menor a 1 lo que indica que el proceso actualmente no es capaz.

La información recolectada en esta fase se amplió mediante una encuesta aplicada vía correo electrónico a un total de 6 trabajadores de la empresa, con la cual

Se complementó la medición de la situación actual de la empresa desde la perspectiva del personal propio de la misma. Se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 10.

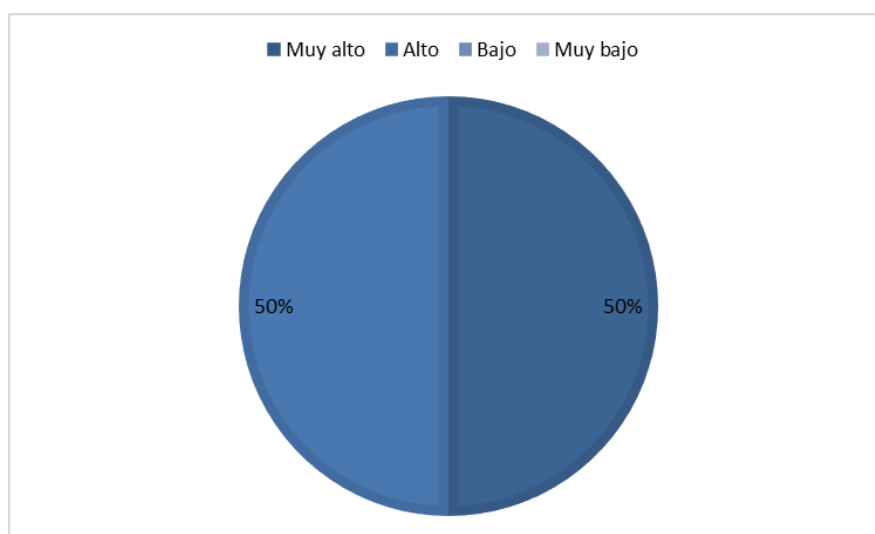
Falta de cumplimiento de la planificación del programa de mantenimiento

| Escala | Frecuencia | Porcentaje | Porcentaje acumulado |
|--------------|------------|------------|----------------------|
| Muy Alto | 3 | 50% | 50% |
| Alto | 3 | 50% | 100% |
| Regular | 0 | 0 | |
| Bajo | 0 | 0 | |
| Total | 6 | 100 | |

Nota. La falta de planificación es considerada como un problema por todos los informantes. 50% de los encuestados considera como muy alto el otro 50% como alto 50% la frecuencia en que se presentan inconvenientes por falta de cumplimiento del plan, lo que se traduce que en el área no se lleva una planificación acorde a los tiempos de entrega de los servicios solicitados lo que ocasiona la improvisación y las demoras en el servicio.

Figura 7.

Porcentaje de falta de cumplimiento de la planificación del programa de mantenimiento



Nota. En la gráfica se aprecia que el 50% está en muy alto y el otro 50%.

Tabla 11.

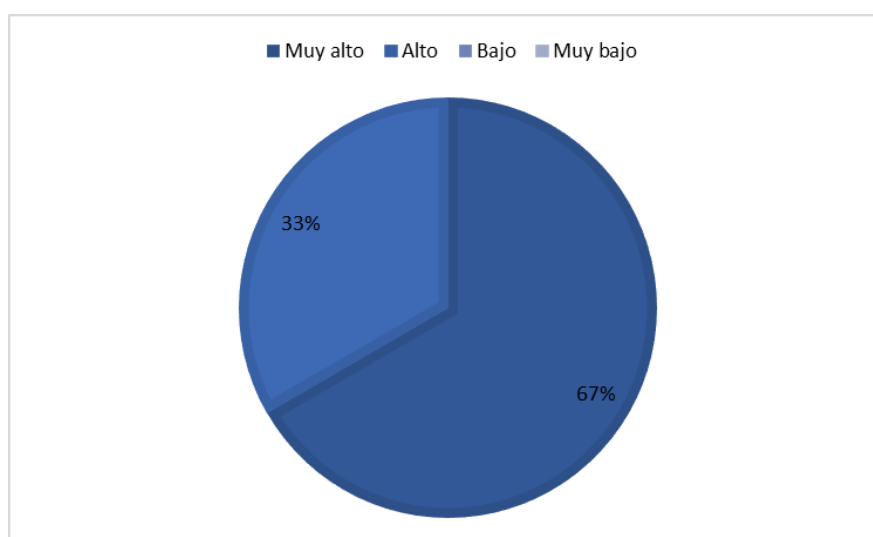
Demoras constante en el cumplimiento de cada ciclo

| Escala | Frecuencia | Porcentaje | Porcentaje acumulado |
|--------------|------------|------------|----------------------|
| Muy Alto | 4 | 67% | 67% |
| Alto | 2 | 33% | 100% |
| Regular | 0 | 0 | |
| Bajo | 0 | 0 | |
| Total | 6 | 100 | |

Nota. Con respecto a los ciclos o tareas del proceso, los informantes declararon que las demoras son altas (33.33%) y muy altas (66.67%), aumentando el retraso en la ejecución del mantenimiento tarea a tarea.

Figura 8.

Porcentaje de demoras constante en el cumplimiento de cada ciclo



Nota. El porcentaje de demoras es de muy alto con un 67% y alto en un 33% en cuanto al cumplimiento de cada ciclo.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 12.

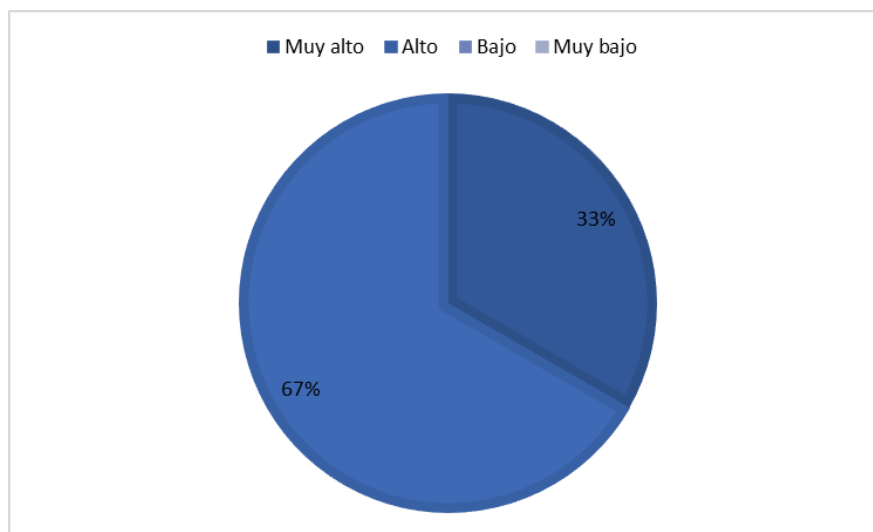
Demoras en la entrega de repuestos

| Escala | Frecuencia | Porcentaje | Porcentaje acumulado |
|--------------|------------|------------|----------------------|
| Muy Alto | 2 | 33% | 33% |
| Alto | 4 | 67% | 100% |
| Regular | 0 | 0 | |
| Bajo | 0 | 0 | |
| Total | 6 | 100 | |

Nota. También se evidenció demoras en las entregas de los repuestos. Así lo señala el 33% de los informantes consideran que las demoras son muy altas mientras que en un 67% lo considera Alto.

Figura 9.

Porcentaje de demoras en la entrega de repuestos



Nota. Las entregas reflejan un alcance de 67% de muy alto y un 33% alto.

Tabla 13.

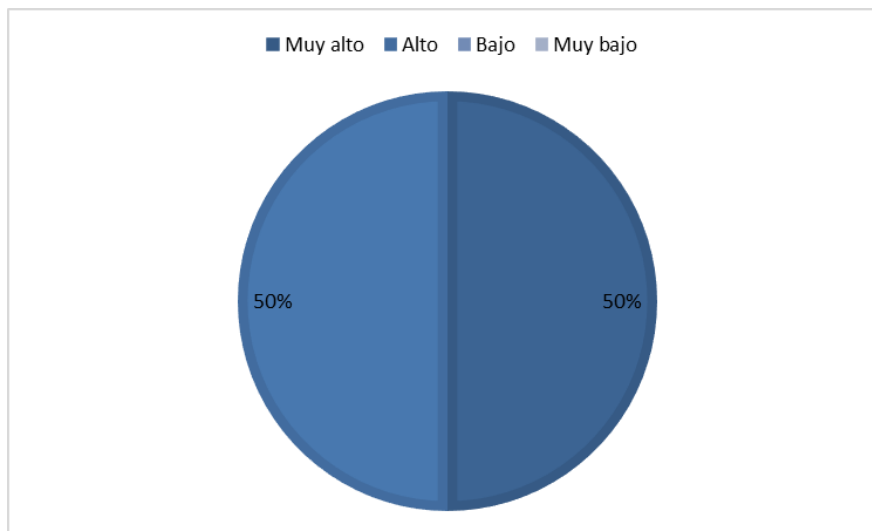
Falta de limpieza del área para poder ejecutar la técnica

| Escala | Frecuencia | Porcentaje | Porcentaje acumulado |
|--------------|------------|------------|----------------------|
| Muy Alto | 3 | 50% | 50% |
| Alto | 3 | 50% | 100% |
| Regular | 0 | 0 | |
| Bajo | 0 | 0 | |
| Total | 6 | 100 | |

Nota. El 50% de los encuestados consideran muy alto la falta de limpieza en el área de trabajo por parte de cliente mientras que el restante 50% lo considera Alto. Esta situación afecta de manera considerable la labor para ejecutar la técnica de mantenimiento predictivo, al emplearse tiempo adicional en labores de orden y limpieza ajenas al trabajo de mantenimiento

Figura 10.

Porcentaje de falta de limpieza del área para poder ejecutar la técnica



Nota. El aspecto de limpieza del área afecta el desarrollo de la técnica y los resultados arrojan que el 50% es muy alto y el otro 50% alto.

Tabla 14.

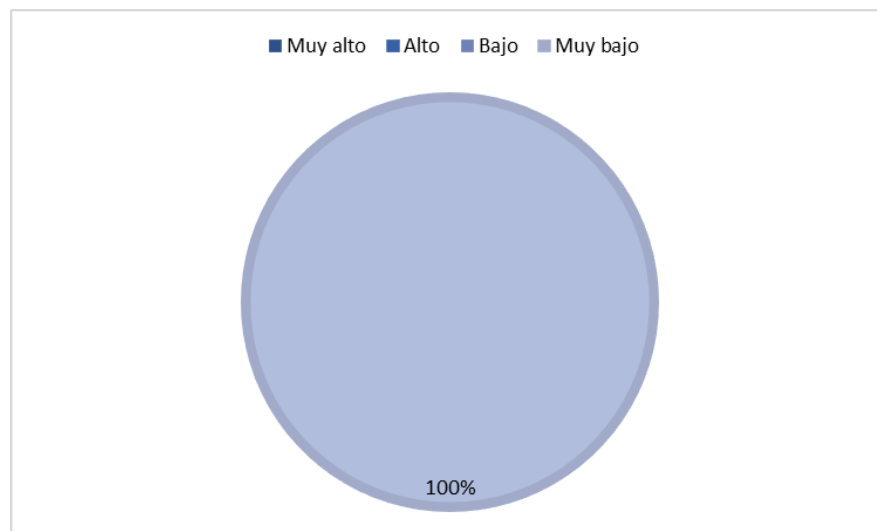
Falta de mano de obra calificada

| Escala | Frecuencia | Porcentaje | Porcentaje acumulado |
|--------------|------------|------------|----------------------|
| Muy Alto | 0 | 0 | 0 |
| Alto | 0 | 0 | 0 |
| Regular | 0 | 0 | 0 |
| Bajo | 6 | 100% | 100% |
| Total | 6 | 100 | |

Nota. Con respecto a la preparación y calificación técnica, el 100% de los encuestados consideran que la mano de obra con que cuenta la empresa está calificada para prestar los servicios de mantenimiento predictivo

Figura 11

Porcentaje de falta de mano de obra calificada



Nota. La mano de obra está calificada en un 100%.

Tabla 15.

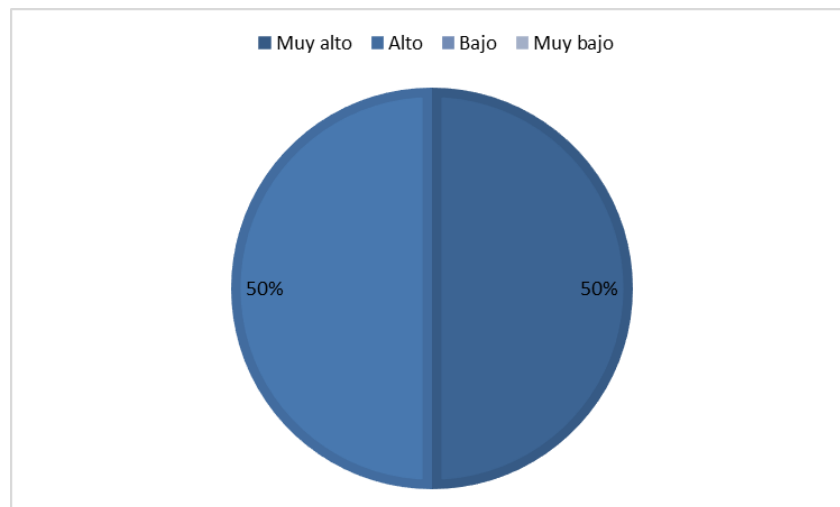
Faltan procedimientos estandarizados en los trabajos

| Escala | Frecuencia | Porcentaje | Porcentaje acumulado |
|--------------|------------|------------|----------------------|
| Muy Alto | 3 | 50% | 50% |
| Alto | 3 | 50% | 100% |
| Regular | 0 | 0 | |
| Bajo | 0 | 0 | |
| Total | 6 | 100 | |

Nota. El 100% de los encuestados manifestó que la falta de procedimientos estandarizados es un inconveniente, donde 50% opinó como muy alta y el otro 50% como alta la problemática por esta carencia.

Figura 12.

Porcentaje de falta procedimientos estandarizados en los trabajos



Nota. La falta de procedimientos estandarizados en un 50% es muy alto y 50% alto.

Tabla 16.

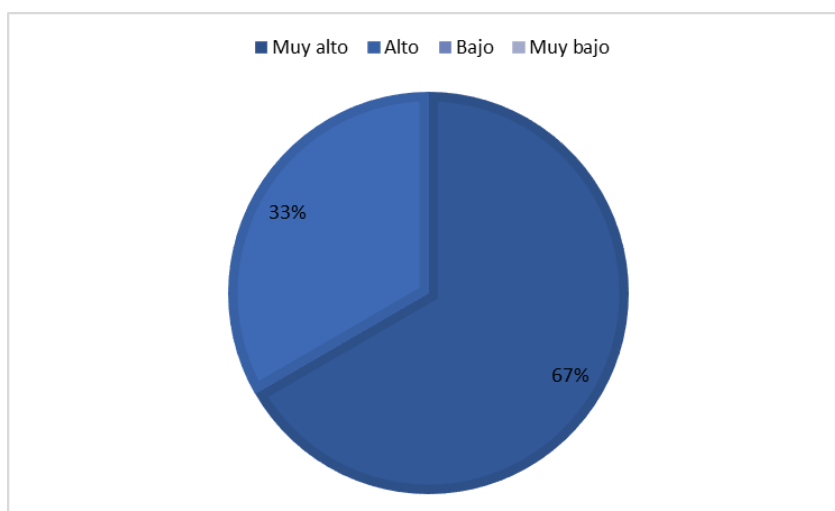
Falta capacitación del personal de las empresas donde se presta el servicio

| Escala | Frecuencia | Porcentaje | Porcentaje acumulado |
|--------------|------------|------------|----------------------|
| Muy Alto | 4 | 67% | 67% |
| Alto | 2 | 33% | 100% |
| Regular | 0 | 0 | |
| Bajo | 0 | 0 | |
| Total | 6 | 100 | |

Nota. La falta de capacitación del personal en las empresas donde se presta el servicio se observa que el 67% es muy alto y el 33% alto. Aunque se considera al personal de la empresa como mano de obra altamente calificada, la falta de formación del personal en la que se presta el servicio se ha considerada como un problema al no fomentar la actualización técnica de sus trabajadores ni fomentar el refrescamiento de herramientas técnicas y productivas de trabajo

Figura 13.

Porcentaje de falta capacitación del personal de las empresas donde se presta el servicio



Nota. La falta capacitación del personal en un 67% es muy alta y el 33% es alto.

Tabla 17.

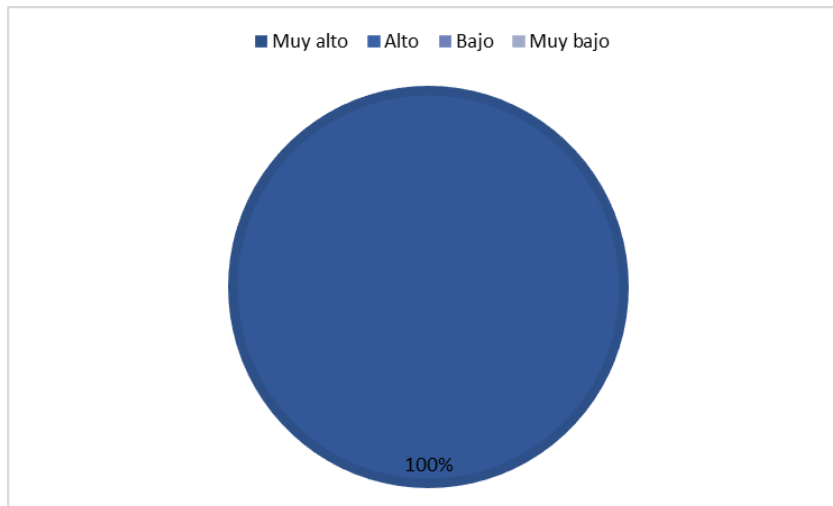
Falta de materiales o equipos predictivos para el mantenimiento

| Escala | Frecuencia | Porcentaje | Porcentaje acumulado |
|--------------|------------|------------|----------------------|
| Muy Alto | 6 | 100% | 100% |
| Alto | 0 | 0 | |
| Regular | 0 | 0 | |
| Bajo | 0 | 0 | |
| Total | 6 | 100 | |

Nota. Con respecto a la falta de materiales y equipos para ejecutar los mantenimientos, el 100% de los informantes manifestó que esta situación afecta significativamente los trabajos opinando que este particular ocurre con muy alta frecuencia.

Figura 14.

Porcentaje de falta de materiales o equipos predictivos para el mantenimiento.



Nota. La falta de materiales o equipos para el mantenimiento predictivo alcanza el 100% de los encuestados como muy alta su afectación en el proceso.

Tabla 18.

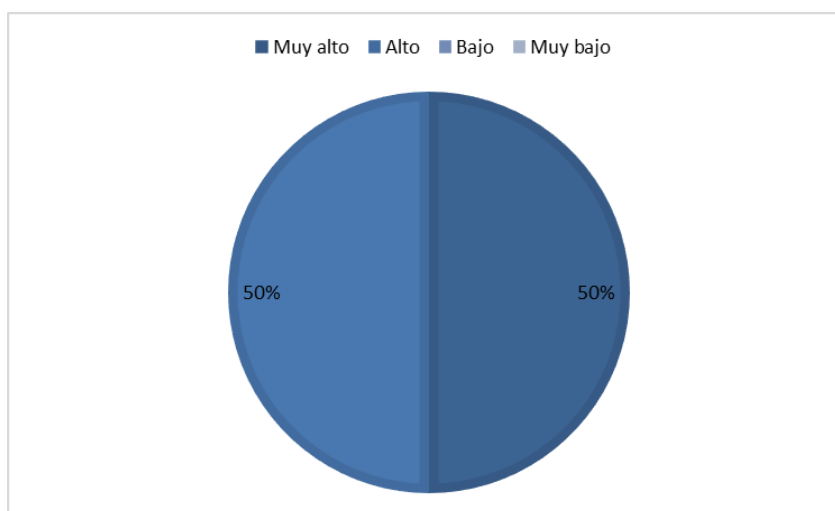
Falta de codificación de los equipos

| Escala | Frecuencia | Porcentaje | Porcentaje acumulado |
|--------------|------------|------------|----------------------|
| Muy Alto | 3 | 50% | 50% |
| Alto | 3 | 50% | 100% |
| Regular | 0 | 0 | |
| Bajo | 0 | 0 | |
| Total | 6 | 100 | |

Nota. En relación a la falta de codificación de los equipos los resultados se distribuyen en un 50% como muy alta y el 50% alta. La falta de disponibilidad de herramientas oportunamente para realizar los trabajos de manteniendo es uno de los factores señalados como problemáticos para la ejecución de las tareas.

Figura 15.

Porcentaje de falta de codificación de los equipos



Nota. El porcentaje de la falta de codificación de los equipos ha representado un problema y 50 % es muy alta y el otro 50%.

Tabla 19.

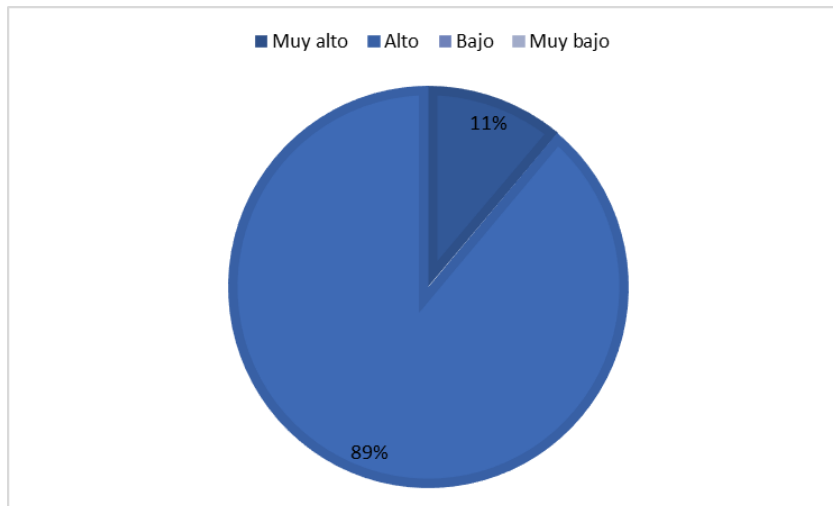
Falta de gestión de repuestos

| Escala | Frecuencia | Porcentaje | Porcentaje acumulado |
|--------------|------------|------------|----------------------|
| Muy Alto | 1 | 11% | 11% |
| Alto | 5 | 89% | 100% |
| Regular | 0 | 0 | |
| Bajo | 0 | 0 | |
| Total | 6 | 100 | |

Nota. La falta de gestión de repuestos es un factor determinante que ha desfasado la ejecución de los mantenimientos, donde el 100% de los consultados (11% muy alto y 89% alto) coincide en que la indisponibilidad de estos insumos retrasa las labores de forma significativa.

Figura 16.

Porcentaje de falta de gestión de repuestos



Nota. El porcentaje de falta de gestión de repuesto afecta de al 89% como muy alta y 11% como alto.

Tabla 20.

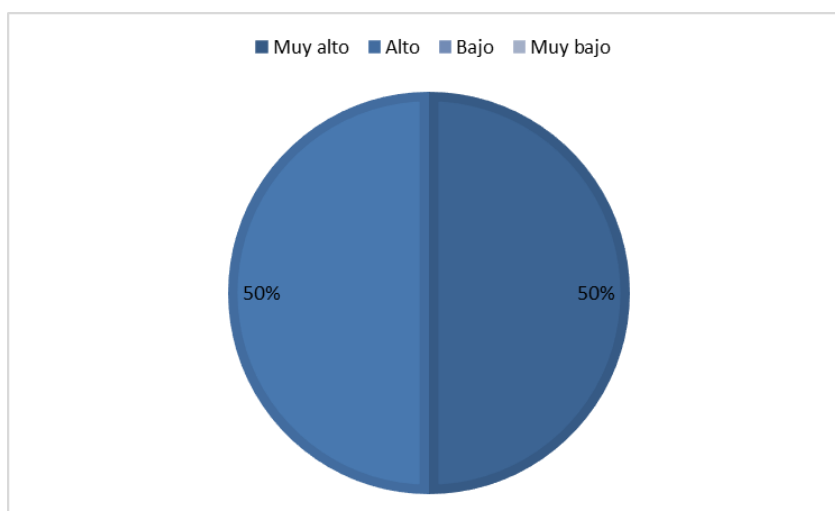
Falta de claridad en las funciones y responsabilidades del personal del área

| Escala | Frecuencia | Porcentaje | Porcentaje acumulado |
|--------------|------------|------------|----------------------|
| Muy Alto | 3 | 50% | 50% |
| Alto | 3 | 50% | 100% |
| Regular | 0 | 0 | |
| Bajo | 0 | 0 | |
| Total | 6 | 100 | |

Nota. La falta descripción de cargo y claridad de las funciones ha genera la claridad en las funciones y/o confusión entre el personal. Un 50% manifiesta que este aspecto les afecta de forma muy alta mientras que el otro 50% lo considera como una afectación alta, que finalmente incide en los tiempos de ejecución de los mantenimientos

Figura 17.

Porcentaje de falta de claridad en las funciones y responsabilidades del personal del área.



Nota. Fuente: elaboración propia.

Tabla 21.

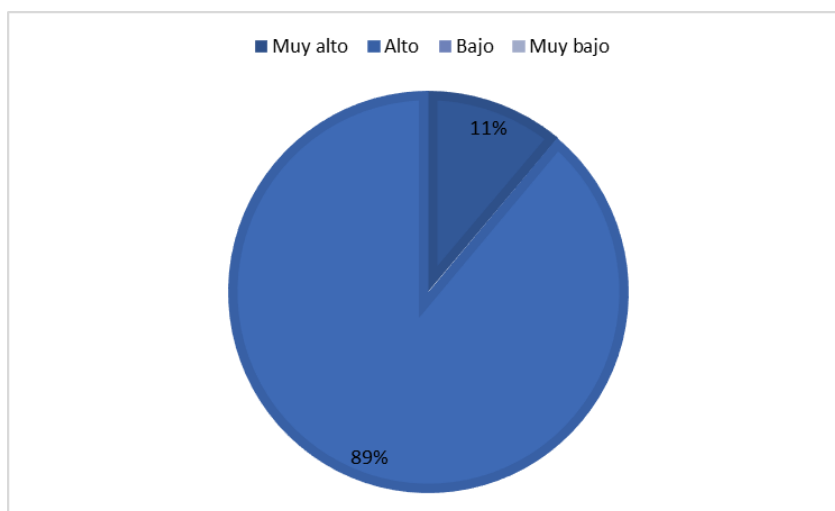
Falta de seguimiento en los trabajos realizados

| Escala | Frecuencia | Porcentaje | Porcentaje acumulado |
|--------------|------------|------------|----------------------|
| Muy Alto | 1 | 11% | 11% |
| Alto | 5 | 89% | 100% |
| Regular | 0 | 0 | |
| Bajo | 0 | 0 | |
| Total | 6 | 100 | |

Nota. De forma similar a la deficiencia en la planificación, la carencia de controles efectivos afecta de forma negativa la ejecución de los trabajos. Esto se evidenció en un 100% de encuestados (11% muy alto y 89% alto), que manifestó que la falta de seguimiento de los trabajos realizados afecta la ejecución de los trabajos

Figura 18.

Porcentaje de falta de seguimiento en los trabajos realizados



Nota. Fuente: elaboración propia.

Tabla 22.

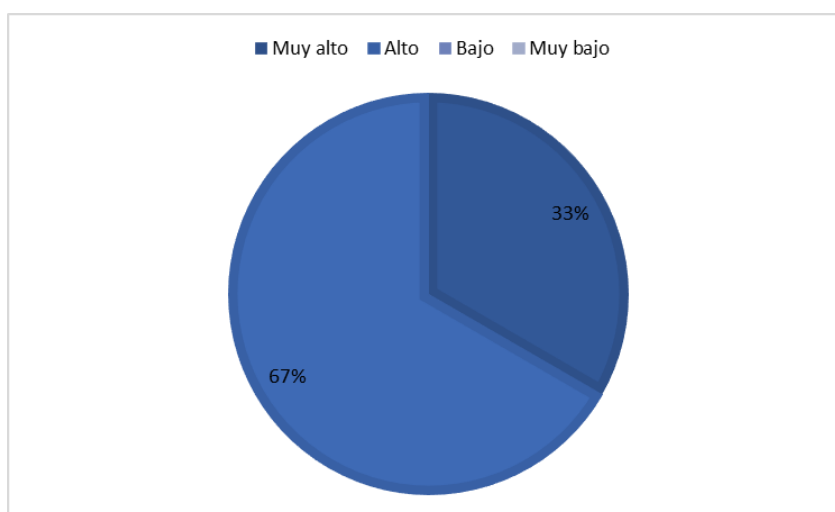
Falta de seguimiento en proveedores

| Escala | Frecuencia | Porcentaje | Porcentaje acumulado |
|--------------|------------|------------|----------------------|
| Muy Alto | 2 | 33% | 33% |
| Alto | 4 | 67% | 100% |
| Regular | 0 | 0 | |
| Bajo | 0 | 0 | |
| Total | 6 | 100 | |

Nota. Los resultados indican que los informantes manifestaron que la llegada a destiempo de los pedidos afecta de forma muy alta (33%) y de forma alta (67%) los trabajos. Adicionalmente a la deficiencia en el seguimiento de los trabajos realizados, se presentan falta de seguimiento a los proveedores, lo cual es un factor fundamental para poder realizar los trabajos de forma eficiente y planificada.

Figura 19.

Porcentaje de falta de seguimiento en proveedores



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 23.

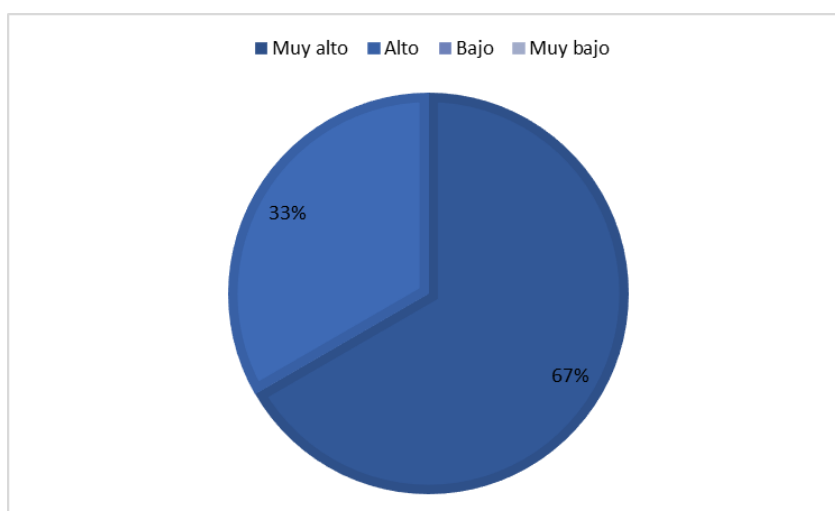
Pérdidas de horas por paradas repentinas

| Escala | Frecuencia | Porcentaje | Porcentaje acumulado |
|--------------|------------|-------------|----------------------|
| Muy Alto | 4 | 67% | 67% |
| Alto | 2 | 33% | 100% |
| Regular | 0 | 0 | |
| Bajo | 0 | 0 | |
| Total | 6 | 100% | |

Nota. Por último, los encuestados manifestaron que la pérdida de horas productivas por paradas repentinas genera afectaciones muy altas (67%) y altas (33%) en los trabajos de mantenimiento.

Figura 20.

Porcentaje de pérdidas de horas por paradas repentinas



Nota. Fuente: Elaboración propia.

3.2.4.3 Dimensión: Analizar

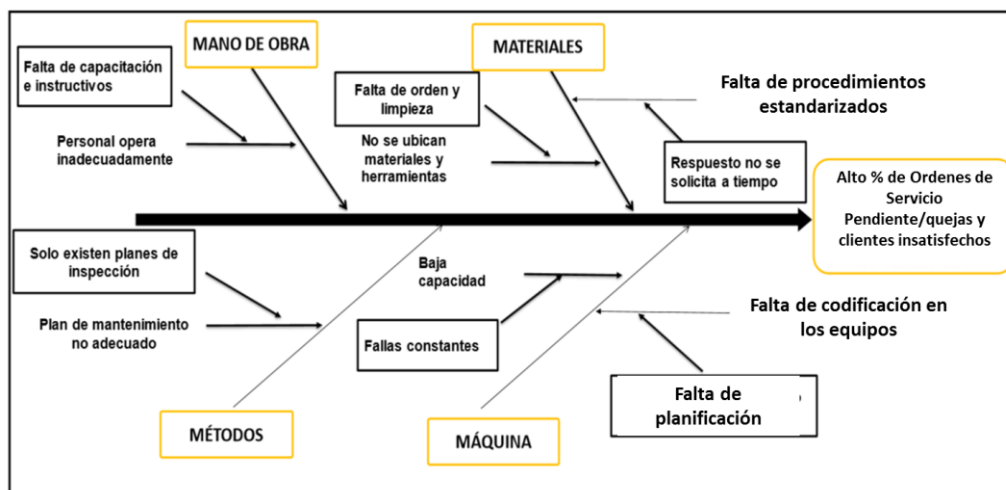
Actualmente la empresa no tiene identificados los modos de fallo ni cuenta con el uso y/o aplicación de herramientas que permita determinar el índice prioritario de riesgo (NPR) presente en el proceso de mantenimiento predictivo de los equipos estáticos.

Identificar la causa raíz del problema. Recolectar datos

El análisis de la raíz del problema inicio con la aplicación de una evaluación causa-efecto mediante de la herramienta diagrama de Ishikawa. En este se evaluaron las posibles causas que estarían ocasionando el alto porcentaje de órdenes sin atender, la entrega tardía de los servicios y las no conformidades de los clientes.

Figura 21.

Diagrama Ishikawa



Nota. Fuente: Elaboración propia

En la figura 21 se logra visualizar las posibles causas de los problemas que se presentan para prestar el servicio de mantenimiento predictivo a una empresa minera con respecto a la mano de obra, material, métodos, y maquinarias. Al analizar la

Pérdida de tiempo que ocurre en los diferentes procesos se observa que no existe una planificación, lo que lleva a improvisar algunas tareas adicionales y desatender un porcentaje considerable de solicitudes pendientes. Por otro lado, no se tiene a disposición y con antelación los repuestos, materiales o equipos para realizar el mantenimiento. Esto ocasiona demoras en las entregas y no conformidad de los clientes por insatisfacción del servicio prestado.

Seguidamente, se realizó un análisis modal de fallos y efectos potenciales (AMFE). Con este se logró establecer los posibles fallos que pueden estar ocasionando deficiencias en el proceso. Por ello se evaluó el número de prioridad de riesgo (NPR) considerando los valores de severidad (S) calificados del 1 al 5 el grado de severidad. Probabilidad de ocurrencia (O) calificando del 1 al 5 el grado de probabilidad, y probabilidad de detección (D) calificando del 1 al 5 la probabilidad de detección.

Tabla 24.

Análisis AMFE

| ANÁLISIS AMFE: ANÁLISIS MODAL DE FALLOS Y EFECTOS POTENCIALES | | | | | | | | |
|---|---|---|--|---|---|-------------------------------------|---------------------------------------|---------------------|
| Modo de Fallo | Efectos potenciales del Fallo | Causa potencial del fallo | Controles Existentes | | | Índice prioritario del riesgo (NPR) | Área responsable de acción correctora | |
| | | | Controles Actuales | S | O | | | D |
| Interrupción de las labores del servicio por retraso de repuestos | -Retraso en las entregas -Quejas del cliente -Tiempo muertos - Improvisaciones | -No se lleva un control riguroso de los repuestos -Deficiencias de los proveedores | Ninguno | 4 | 3 | 3 | 36 | Supervisor de campo |
| Solicitudes de Órdenes pendientes | -Retraso en las tareas -Mala reputación -Mala planificación -Descontrol de prioridades | -Falta de planificación -Desorden en el control de resección de solicitudes | Ninguno | 5 | 5 | 4 | 100 | Residente |
| Retraso en las entregas de los Servicios | -Mala reputación -Quejas de los clientes -Afectación de la Fiabilidad | -Demoras en la dotación de repuestos -No hay claridad en los procesos | Ninguno | 5 | 3 | 5 | 75 | Residente |
| Servicios sin concluir porque no se aplica la técnica completa | -Quejas del cliente -Retrasos en las entregas -Re-trabajos -Demoras en la entrega | -Demoras en los repuestos -Falta de limpieza | Control después de entregado el servicio | 5 | 2 | 3 | 30 | Residente |

Nota. Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a esta evaluación se obtuvo que los problemas que tienen un alto índice de prioridad respecto al riesgo potencial son: a) Las solicitudes de órdenes pendientes, b) La gran cantidad de tiempo que se pierde en cada fase del proceso y c) el número de quejas de los clientes tal y como se muestra en la siguiente Matriz.

Tabla 25.

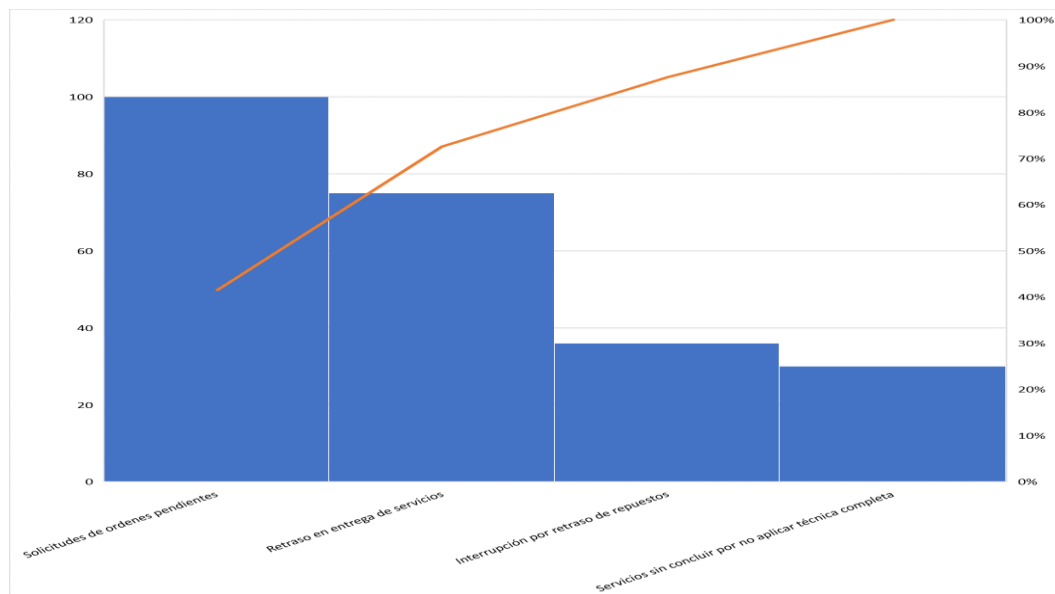
Modos de fallos según índice prioritario de riesgo

| Modo de falla | Índice prioritario de riesgo (NPR) | Porcentaje | Porcentaje acumulado |
|--|------------------------------------|-------------|----------------------|
| Solicitudes de órdenes pendientes | 100 | 41% | 41% |
| Retraso en entrega de servicios | 75 | 31% | 72% |
| Interrupción por retraso de repuestos | 36 | 15% | 87% |
| Servicios sin concluir por no aplicar técnica completa | 30 | 13% | 100% |
| Total | 241 | 100% | 100% |

Nota. Las solicitudes de órdenes pendientes alcanzan un Índice de prioridad de riesgo alcanza el 41%, el retraso en las entregas alcanza un 31%, las interrupciones por el retraso un 15% y el servicio sin incluir y que impide que se aplique la técnica alcanza un 13%. Fuente: Elaboración propia.

Figura 22.

Diagrama de Pareto modos de fallos según índice prioritario de riesgo.

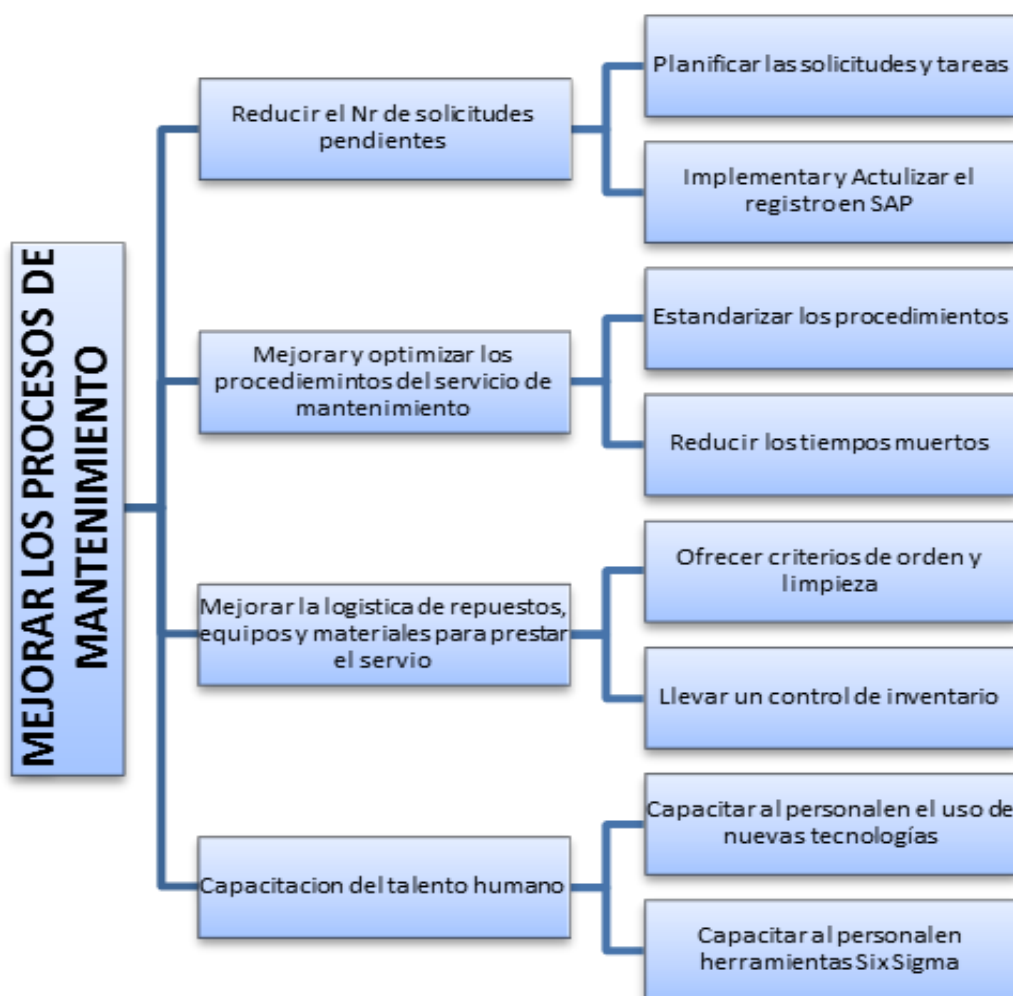


Nota. Fuente: Elaboración propia.

Una vez identificados los problemas se aplicó la técnica del Diagrama del Árbol la cual permitió obtener una visión global de los mecanismos requeridos para lograr resolver la problemática planteada, según lo señalado por Tejada (2016), “este se comienza con una meta general (el "tronco") y se continúa con la identificación de niveles de acción más precisos (las sucesivas "ramas")” (p. 45). Por tanto, se considera establecer una planificación periódica donde se programe la logística, del antes, durante y después, los recursos y requerimientos necesarios para prestar el servicio.

Figura 23.

Diagrama de Árbol



Nota. Fuente: Elaboración propia

Una vez identificadas las posibles mejoras con el diagrama del árbol se tiene la posibilidad de visualizar las posibles variables que pueden estar causando problemas a nivel general para lo cual es necesario priorizar las variables y conocer cuáles son las más críticas.

3.2.4.4 Dimensión: Mejorar

Actualmente la empresa no cuenta con ninguna persona capacitada ni con un plan de formación para aplicar y/o trabajar utilizando herramientas de productividad relacionada con el Six Sigma, por lo cual, no se cuenta con personal capacitado en materia de productividad:

Nº Capacitaciones = 0

De la misma forma, se encontró que no se cuenta con el diseño y/o aplicación de ningún experimento que permita medir la estabilidad y varianza del proceso, lo que indica que la variación en el desarrollo del proceso de mantenimiento predictivo no es realizada.

Nº de experimentos = 0

Propuesta de mejoras

El diseño de la fase mejorar (implantar), incluyo 3 aspectos:

- Plan de capacitación al personal
- Orden y limpieza
- Experimentos

Plan de capacitación al personal

Se propone mantener un plan de capacitación al personal, ya que a pesar que existe un personal capacitado y certificado para el mantenimiento predictivo y que pueden realizar las tareas con un alto índice de eficiencia, y en un menor tiempo esto no está ocurriendo así por tanto se sugiere una capacitación en gestión de procesos. Que les ayude a minimizar demoras existentes y las constantes fallas en los procedimientos. Por tanto, dentro de las posibles soluciones se sugiere emprender un plan de capacitación a todas las personas que participan el proceso. Para ello se sugiere notificar al personal con anterioridad sobre las bondades de emprender los cambios necesarios para alcanzar las metas propuestas. Para lo cual se propone: Implementar talleres teóricos sobre contenidos de herramientas para la mejora continua, siguiendo las siguientes sugerencias:

- Las jornadas de capacitación deben tener una duración de 16 horas a la semana, bajo la conducción de un grupo de experto. Al menos por 2 semanas.
- Se debe implementar un mecanismo que permita medir el impacto de las capacitaciones y el rendimiento de los servicios.
- Se debe realizar reuniones periódicas que mantengan informados al personal involucrado de los cambios a realizar para el logro de los objetivos.
- Capacitación del personal encargado de llevar el control del programa SAP como apoyo al proceso de gestión de mantenimiento predictivo.
- Se deberán considerar un mínimo de 96 horas de formación al año (hasta 3 capacitaciones por persona).

Orden y limpieza

Se propone un cambio en la filosofía de gestión por tanto es necesario emprender acciones para concientizar a los trabajadores del mantener el orden y la debida identificación y clasificar de los repuestos, materiales y equipos necesarios para prestar el servicio de mantenimiento predictivo. Para ello es necesario reacondicionar el lugar de trabajo con la finalidad de eliminar desperdicios. Una vez codificado y ordenados cada elemento se procederá a registrar en un software tanto los elementos necesarios e indispensables como los elementos innecesarios. Se aplicará el Checklist mostrado en el anexo D.

Experimentos

Para comprobar el comportamiento del proceso se propone la aplicación de un experimento (DoE), del tipo factorial completo para determinar el tiempo de culminación de un mantenimiento predictivo bajo la influencia de 4 factores. A continuación, se describen las reglas del experimento:

Tabla 26.

Factores y niveles del DoE factorial completo

| Factor | Niveles | |
|------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|
| | -1 | 1 |
| Herramientas | Compartidas | Kit por trabajador |
| Insumos | Sin planificación | Con planificación |
| Orden y limpieza | Área de trabajo desordena | Área de trabajo ordenada y limpia |
| SAP | Manejo de órdenes de trabajo manual | Manejo de órdenes de trabajo por SAP |

Nota. Fuente: Elaboración propia

El valor objetivo del experimento de establecerá en 390 minutos (media del LES = 394 min y LEI = 386 min). La matriz factorial resultante será como se muestra a continuación.

Tabla 27

Matriz factorial completa

| Herramientas | Insumos | Orden y limpieza | SAP | Resultado (Y) |
|--------------|---------|------------------|-----|---------------|
| 1 | 1 | 1 | 1 | |
| -1 | 1 | 1 | 1 | |
| 1 | -1 | 1 | 1 | |
| -1 | -1 | 1 | 1 | |
| 1 | 1 | -1 | 1 | |
| -1 | 1 | -1 | 1 | |
| 1 | -1 | -1 | 1 | |
| -1 | -1 | -1 | 1 | |
| 1 | 1 | 1 | -1 | |
| -1 | 1 | 1 | -1 | |
| 1 | -1 | 1 | -1 | |
| -1 | -1 | 1 | -1 | |
| 1 | 1 | -1 | -1 | |
| -1 | 1 | -1 | -1 | |
| 1 | -1 | -1 | -1 | |

Nota. Fuente: Elaboración propia

El resultado (Y), corresponde a la resta del valor objetivo menos el resultado del experimento en sí. En esta propuesta, resultan 16 experimentos al ser 2 niveles con 4 factores ($2^4 = 16$), y al considerar el DoE como factorial completo.

El experimento se realizará en la herramienta Minitab, con la cual se graficará y analizarán los resultados, determinando entre otras cosas los efectos más significativos en función de los factores y su interrelación.

3.2.4.5 Dimensión: Control

Actualmente la empresa no aplica ni tiene ningún medio que permita controlar efectivamente el proceso de mantenimiento predictivo de equipos estáticos. Particularmente, no se tienen establecidos indicadores de desempeño, razón por la cual, no se puede comparar y evaluar el desempeño de la empresa de diferentes contratos o periodos de tiempo.

Mantener la mejora. Predecir el comportamiento de los procesos

Pizarra de control (dashboard) para organizar las tareas

Se propone incorporar y adaptar una pizarra de control (dashboard), a la gestión de mantenimiento predictivo de la empresa. Esta permitirá gestionar las órdenes de trabajo mediante un diagrama de planificación donde se lleve un control de manera detallada de la ejecución de la misma. Se considerarán los siguientes aspectos:

- Número de la orden de trabajo.
- Estatus: iniciada (I), por iniciar (PI), culminada (C).
- Fecha de inicio planificada.
- Fecha de inicio real.
- Fecha de finalización planificada.
- Fecha de finalización real.
- Recursos humanos y materiales dispuestos para la ejecución.
- Tiempo de ejecución planificado en minutos.
- Tiempo de ejecución real en minutos.
- Inconformidades.

Figura 24.

Pizarra de control de ejecución de órdenes de trabajo

| Item | Orden de Trabajo N° | Estatus | Fecha de Inicio Plan | Fecha de Inicio Real | Fecha de Fin Plan | Fecha de Fin Real | Recursos | Tiempo de Ejecución Plan (min) | Tiempo de Ejecución Real (min) | Reporte de Inconformidades |
|------|---------------------|---------|----------------------|----------------------|-------------------|-------------------|-----------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|----------------------------|
| 1 | | | | | | | Humano Material e Insumos: | | | |
| 2 | | | | | | | Humano Material e Insumos: | | | |
| 3 | | | | | | | Humano Material e Insumos: | | | |
| 4 | | | | | | | Humano Material e Insumos: | | | |

Nota. Fuente: Elaboración propia.

A partir de esta pizarra se elaborarán los gráficos de control mensuales indicando los tiempos de ejecución (minutos) de cada mantenimiento, comparados con el parámetro esperado (390 minutos) y sus límites de especificación inferior (386 minutos) y superior (394 minutos).

Como complemento, se utilizará una pizarra Kanban para conocer cuales órdenes están por ejecutar, en ejecución y culminadas.

Figura 25.

Pizarra Kanban para órdenes de trabajo

| Orden de Trabajo por Ejecutar | Orden de Trabajo en Ejecución | Orden de Trabajo Ejecutada |
|-------------------------------|-------------------------------|----------------------------|
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |

Nota. Fuente: Elaboración propia.

3.2.5 Diagnóstico de la Variable Dependiente: Gestión de Mantenimiento Predictivo de equipos estáticos.

3.2.5.1 Dimensión: Gestión de Órdenes de trabajo

La gestión de órdenes es una herramienta informativa que ayuda a los encargados garantizar el control de la planificación de las tareas. Ayuda a minimizar el tiempo de trabajo de las distintas áreas y mejora la prestación del servicio, evitando falta de cumplimiento o improvisaciones en el proceso (Huergo, 2013).

Hoy día la empresa no cuenta con un sistema establecido de indicadores que permita conocer el comportamiento de los trabajos, midiendo los porcentajes de órdenes completadas, pendientes y desviaciones de la planificación. A través de la recolección de información y data, se pudo conocer que mensualmente se maneja un promedio de 119 órdenes de trabajo, de las cuales un estimado de 81 órdenes son completadas por mes dejando pendiente 38 órdenes que no logran ser culminadas. En la siguiente tabla se detalla

Tabla 28.

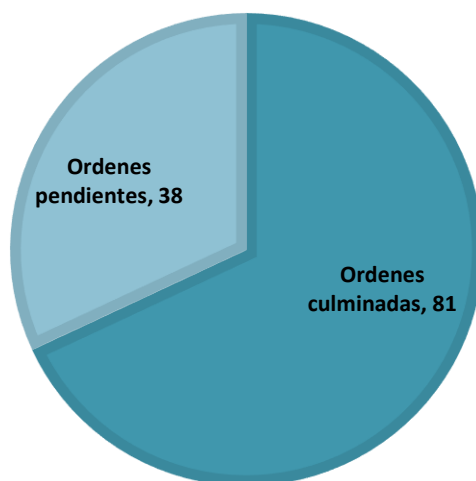
Promedio mensual de órdenes de trabajo

| Descripción | Recibidas | Culminadas | Pendientes |
|--------------------|-----------|------------|------------|
| Órdenes de trabajo | 119 | 81 | 38 |

Nota: Fuente: Elaboración propia

Figura 26.

Órdenes culminadas vs. Órdenes pendientes



Nota. En la gráfica se observa que 81 las Solicitudes de Órdenes son atendidas y culminadas adecuadamente, y grupo importante que alcanza un 38 queda pendiente y en ocasiones no se logran atender.

A partir de esta información se determinaron los porcentajes actuales de órdenes culminadas y pendientes con las ecuaciones 1 y 2.

Ecuación 5.

Porcentaje de órdenes de trabajo ejecutadas

$$\% \text{ de órdenes de trabajo ejecutadas} = \frac{\text{N}^\circ \text{ Órdenes de trabajo ejecutadas}}{\text{N}^\circ \text{ de Órdenes de trabajo programadas}} * 100\% = \frac{81}{119} * 100\% = 68.1\%$$

Como resultado de la ecuación 1 se puede observar que la mayoría de las órdenes de trabajo logran ser ejecutadas alcanzando un 68.1%, es decir, del universo de órdenes de trabajo se ejecutan un promedio de dos tercios (2/3), de las mismas.

Ecuación 6.

Porcentaje de órdenes de trabajo pendientes

$$\% \text{ de órdenes de trabajo pendientes} = \frac{\text{N}^\circ \text{ Órdenes de trabajo pendientes}}{\text{N}^\circ \text{ de Órdenes de trabajo programadas}} * 100\% = \frac{38}{119} * 100\% = 31.9\%$$

De manera proporcional, acorde con resultado obtenido de la ecuación 6 un promedio 31.9% de las órdenes quedan pendientes o sin ejecutar, es decir, 38 trabajos no son realizados. Luego, para determinar la desviación en la planificación se empleó la ecuación 7 mostrada a continuación:

Ecuación 7.

Desviación del plan de ejecución de trabajo

$$\% \text{ de desviación del plan de trabajo} = \frac{\text{N}^\circ \text{ Órdenes culminadas en la fecha programada} - \text{N}^\circ \text{ de Órdenes programadas}}{\text{N}^\circ \text{ de Órdenes programadas}} * 100\% = \frac{81 - 119}{119} * 100\% = -31.9\%$$

Al aplicar la ecuación 7, se determinó que en promedio se tiene una desviación negativa de 31.9% en la ejecución y culminación de las órdenes de trabajo, es decir, la planificación tiene un retraso promedio de 31.9% en completar los trabajos.

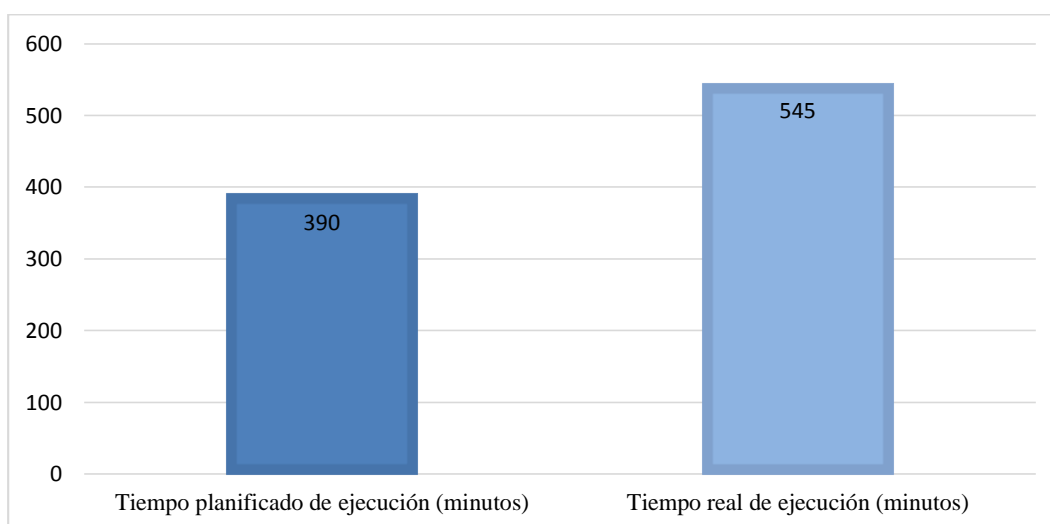
3.2.5.2 Dimensión: Gestión de tiempo

Consiste en el reparto apropiado del tiempo dedicado a realizar una tarea o labor por una persona. La Gestión del tiempo permite administrar de manera efectiva el tiempo con el propósito de obtener una mayor productividad del personal que la ejecuta una tarea o labor (Junta de Andalucía, 2014).

En este sentido se determinó que la empresa actualmente opera con tiempos mayores a los estipulados entre otras cosas, a los retrasos en el inicio de la jornada y a la falta de disponibilidad de herramientas e insumos. Esto da como resultado un requerimiento de 155 minutos extra para culminar las labores, lo que repercute en todas las tareas que conforman el proceso de mantenimiento. La figura 27 y la tabla 28 resumen la situación.

Figura 27.

Tiempo de ejecución de mantenimientos: Planificado vs. Real



Nota. En la gráfica se observa que el tiempo planificado para la ejecución de es de 390 minutos mientras que el tiempo real es ejecutarse es de 545 minutos.

Tabla 29.

Tiempo de ejecución de cada fase del proceso

| TAREAS DEL PROCESO | Tiempo planificado de ejecución (minutos) | Tiempo real de ejecución (minutos) | Retraso (minutos) |
|--------------------------------|---|------------------------------------|-------------------|
| Verifica orden de trabajo | 5 | 10 | 5 |
| Firma de permiso de trabajo | 10 | 15 | 5 |
| Entrega de equipo para Mntto. | 30 | 40 | 10 |
| Búsqueda de herramientas | 15 | 20 | 5 |
| Verificación de herramientas | 15 | 20 | 5 |
| Inspección visual | 110 | 120 | 10 |
| Mantenimiento de equipos | 170 | 250 | 80 |
| Registro de información | 15 | 20 | 5 |
| Entrega de equipo al cliente | 10 | 30 | 20 |
| Cerrar orden de trabajo en SAP | 10 | 20 | 10 |
| Totales | 390 | 545 | 155 |

Nota. Los datos arrojados en cada una de las tareas demuestran un tiempo de retraso en su retraso de hasta 80 minutos lo que en total suman un retraso de 155 minutos.

Los resultados muestran que los trabajos de mantenimiento predictivo deberían ser completados en 390 minutos, en contraste con los 545 minutos que toma actualmente. Más detalladamente, se pudo observar que el incremento del tiempo de ejecución por cada tarea, desde un 25% (actividades como entrega de equipo para mantenimiento o verificación de herramientas), un 52.94% para el mantenimiento de los equipos, hasta un 200% para la entrega del equipo al cliente.

A partir de esta información se determinó la condición actual en referencia a los indicadores tiempo adicional para la ejecución de mantenimientos, el cual indica el total en minutos adicionales requeridos para completar las tareas de un mantenimiento predictivo. Igualmente se determinó el porcentaje de desviación del tiempo de ejecución, para conocer la magnitud del incremento del tiempo para completar las tareas asociadas.

Ecuación 8.

Tiempo adicional para ejecución de mantenimientos

$$\text{Tiempo adicional requerido para ejecutar Mnttos.} = \text{Tiempo real de ejecución} - \text{Tiempo planificado de ejecución} = 545 - 390 = 155 \text{ min.}$$

Como resultado de la ecuación 8 se logró determinar que actualmente se destina más tiempo del planificado para la ejecución de los trabajos de mantenimiento predictivo, obteniendo que se invierten 155 minutos más de lo estipulado por trabajo.

Ecuación 9.

Porcentaje de desviación del tiempo de ejecución

$$\% \text{ de desviación del tiempo de ejecución} = \frac{\text{Tiempo planificado de ejecución} - \text{Tiempo real de ejecución}}{\text{Tiempo planificado de ejecución}} * 100\% = \frac{390 - 545}{390} * 100\% = -39.74\%$$

Como se puede observar de la ecuación 9, existe una desviación negativa de 39.74% con respecto a los 390 minutos estipulados por mantenimientos, lo que indica que la empresa destina más recursos de los requeridos para desempeñar las tareas de mantenimiento y que generalmente entrega con retraso los equipos intervenidos al cliente.

3.2.5.3 Dimensión: Inconformidades

La gestión de reclamos o quejas tiene como función gestionar las quejas de los clientes para solventar y buscando la excelencia del servicio y recuperando su confianza hasta lograr fidelizarlo.

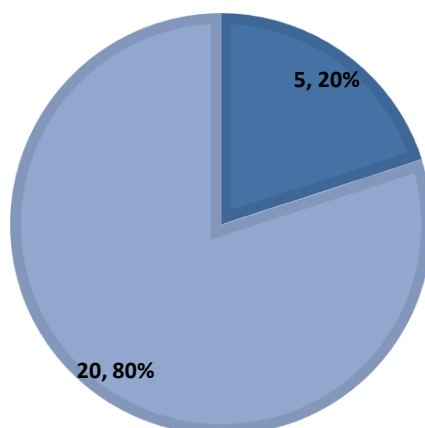
La evaluación de esta dimensión se realizó en función de las no conformidades presentadas con el servicio y con el tiempo de entrega de los equipos intervenidos. La figura 5 y la tabla 6 resumen la situación. En estas se puede observar que se presentaron

un total de 25 no conformidades, 5 no conformidades con el servicio (20%) y 20 no conformidades con el tiempo de entrega (80%).

Figura 28.

Distribución de no conformidades

■ No conformidad con el servicio
■ No con el tiempo de entrega de los equipos intervenidos



Nota. En la gráfica se observa la no conformidad con el servicio alcanza un 20% mientras que las no conformidades con el tiempo de entrega alcanzaron el 80%

Tabla 30.

Quejas o reclamos de los clientes

| Quejas o reclamos mensual | Cliente externo |
|--------------------------------------|-----------------|
| No conformidad por servicio | 5 |
| No conformidad por tiempo de entrega | 20 |
| Total, de no conformidades | 25 |

Nota. Fuente: Elaboración propia

Partiendo de estos datos, se determinó el índice absoluto de no conformidades, el índice de no conformidades por servicio, y el índice de no conformidades por tiempo de entrega, a través de las ecuaciones 6, 7 y 8. De esta forma la situación actual con respecto al manejo de inconformidades resulto:

Ecuación 10.

Índice de no conformidad por servicio

$$\text{Índice de no conformidad por servicio} = \frac{\sum \text{no conformidades por servicio}}{\text{N}^\circ \text{ de Órdenes culminadas}} * 100\% = \frac{5}{81} * 100\% = 6.17\%$$

Por medio de la ecuación 10, se puede observar que las inconformidades por concepto de servicio son bajas al arrojar un 6.17% de un promedio de 81 órdenes ejecutadas.

Ecuación 11.

Índice de no conformidad por tiempo de entrega

$$\text{Índice de no conformidad por tiempo de entrega} = \frac{\sum \text{no conformidades por tiempo de entrega}}{\text{N}^\circ \text{ de Órdenes culminadas}} * 100\% = \frac{20}{81} * 100\% = 24.69\%$$

Luego, con la ecuación 11 se notó un incremento de las no conformidades de los clientes arrojando que con respecto al tiempo de entrega un promedio de 24.69% son culminados a destiempo generando inconformidad en los clientes.

Ecuación 12.

Índice de no conformidad absoluta

$$\text{Índice de no conformidad absoluta} = \frac{\sum \text{no conformidades por servicio} + \sum \text{no conformidades por tiempo de entrega}}{\text{N}^\circ \text{ de Órdenes culminadas}} * 100\% = \frac{5+20}{81} * 100\% = 30.86\%$$

Finalmente, como se puede observar las órdenes de trabajo culminadas presentan una alta tasa de no conformidad absoluta por parte del cliente alcanzado un tercio de los mantenimientos completados (30.86%), siendo el aspecto más

Representativo el retraso en los tiempos de entrega de los equipos inspeccionados y acondicionados con un porcentaje de 24.69% de las no conformidades presentadas.

3.3 Resultados luego de la propuesta de mejora

A partir de la implementación del sistema basado en la metodología Six Sigma se estima que la gestión de mantenimientos predictivos de equipos estáticos en una empresa minera pueda mejorar su desempeño hasta en un 30%. Esto se traduce en un incremento de las órdenes de trabajo completadas, mitigación y/o eliminación de la desviación negativa del plan de trabajo, reducción en los tiempos de entrega ajustando los trabajos a los tiempos planificados, y finalmente reduciendo las inconformidades del cliente a un 5% o menor con respecto al volumen total de órdenes de trabajo atendidas y completadas.

3.3.1 Resultados luego de la propuesta de mejora de la Variable Independiente:

Metodología Six Sigma

Propuesta de indicadores a medir

Algunos indicadores que se proponen como sensibles a medir para controlar la gestión del mantenimiento predictivo con la finalidad de velar por el cumplimiento de las metas y minimizar las variables que pudieran entorpecer los procesos se detallan a continuación:

Tabla 31

Indicadores del sistema de gestión para mantenimiento predictivo basado en la metodología Six Sigma

| Indicadores | Definición | Fórmula | Meta | Temporalidad |
|---|--|---|-------------|---------------------|
| Tiempo mínimo promedio del Servicio de Mantenimiento | Tiempo mínimo de ejecución especificado para completar un servicio de mantenimiento preventivo | Sin formula | 386 min. | Semanal |
| Tiempo máximo de promedio del servicio de mantenimiento | Tiempo máximo de ejecución especificado para completar un servicio de mantenimiento preventivo | Sin formula | 394 min | Semanal |
| % de órdenes de trabajo ejecutadas | Porcentaje de órdenes de trabajo culminadas cabalmente | $\frac{\text{N}^\circ \text{ Órdenes de trabajo ejecutadas}}{\text{N}^\circ \text{ de Órdenes de trabajo programadas}} * 100\%$ | 90% | Semanal |
| % de órdenes de trabajo pendientes | Porcentaje de órdenes de trabajo por ejecutar | $\frac{\text{N}^\circ \text{ Órdenes de trabajo pendientes}}{\text{N}^\circ \text{ de Órdenes de trabajo programadas}} * 100\%$ | 10% | Semanal |

| Indicadores | Definición | Fórmula | Meta | Temporalidad |
|---|--|--|------|--------------|
| % de desviación del plan de trabajo | Porcentaje de desviación negativo o positivo del plan de ejecución de órdenes de trabajo | $\frac{\text{N}^\circ \text{ Órdenes culminadas en la fecha programada} - \text{N}^\circ \text{ de Órdenes programadas}}{\text{N}^\circ \text{ de Órdenes Programadas}} * 100\%$ | ±10% | Quincenal |
| % de desviación del tiempo de ejecución | Porcentaje de desviación negativo o positivo del tiempo de ejecución de órdenes de trabajo | $\frac{\text{Tiempo planificado de ejecución} - \text{Tiempo real de ejecución}}{\text{Tiempo planificado de ejecución}} * 100\%$ | ±10% | Quincenal |
| Índice de no conformidad absoluta | Porcentaje de total de no conformidades de las órdenes de trabajo culminadas en un lapso de un mes | $\frac{\sum \text{no conformidades por servicio} + \sum \text{no conformidades por tiempo de entrega}}{\text{N}^\circ \text{ de Órdenes Culminadas}} * 100\%$ | 5% | Mensual |

Fuente: Elaboración propia.

3.3.1.1 Dimensión: Definir

Los indicadores de esta dimensión se mantienen igual que en la fase inicial, ya que las tareas, entradas y salidas que componen la ejecución de los mantenimientos predictivos se mantuvo sin variación.

- N° de entradas del proceso = 2
- N° de salidas del proceso = 3
- N° de tareas del proceso = 10

Para la dimensión

3.3.1.2 Dimensión: Medir

Tomando como base las mejoras estimadas para la variable dependiente, en sus diferentes dimensiones se estiman los siguientes progresos determinado con las ecuaciones 9, 10 y 11 mostradas en este trabajo.

- DPO = 0.002
- DPMO = 1904.76
- Yield = 99.8%

Luego, al considerar un desempeño esperado en 390 minutos y un escenario de 394 minutos (LES), resulta una $\sigma = 2.83$. Con este valor y empleando la ecuación 12 la capacidad del proceso se ubica en:

- Cp = 0.65

Por último, el nivel sigma de la empresa mejora hasta un valor de:

- Nivel sigma = 4.4

3.3.1.3 Dimensión: Analizar

Dentro de esta dimensión, se definieron 4 modos de fallo cada uno con su NPR asociado. Los mismos se muestran a continuación evaluados al considerar controles actuales con el sistema basado en la metodología Six Sigma:

Tabla 32.

Análisis AMFE después de la mejora del 30%

| ANÁLISIS AMFE: ANÁLISIS MODAL DE FALLOS Y EFECTOS POTENCIALES | | | | | | | | |
|---|---|--|--|---|---|-------------------------------------|---------------------------------------|---------------------|
| Modo de Fallo | Efectos potenciales del Fallo | Causa potencial del fallo | Controles Existentes | | | Índice prioritario del riesgo (NPR) | Área responsable de acción correctora | |
| | | | Controles Actuales | S | O | | | D |
| Interrupción de las labores del servicio por retraso de repuestos | -Retraso en las entregas -Quejas del cliente -Tiempo muertos - Improvisaciones | -No se lleva un control riguroso de los repuestos. -Deficiencias de los proveedores | -Sistema SAP -Pizarra de control -Indicadores | 4 | 1 | 2 | 8 | Supervisor de campo |
| Solicitudes de Órdenes pendientes | -Retraso en las tareas -Mala reputación -Mala planificación -Descontrol de prioridades | -Falta de planificación -Desorden en el control de resección de solicitudes | -Sistema SAP -Pizarra de control Pizarra Kanban -Indicadores | 5 | 1 | 1 | 5 | Residente |
| Retraso en las entregas de los Servicios | -Mala reputación -Quejas de los clientes -Afectación de la Fiabilidad | -Demoras en la dotación de repuestos -No hay claridad en los procesos | -Sistema SAP -Pizarra de control | 5 | 2 | 1 | 10 | Residente |
| Servicios sin concluir porque no se aplica la técnica completa | -Quejas del cliente -Retrasos en las entregas -Re-trabajos -Demoras en la entrega | -Demoras en los repuestos -Falta de limpieza | -Sistema SAP -Pizarra de control -Pizarra Kanban -Checklist 5'S | 5 | 2 | 1 | 10 | Residente |

Nota. Fuente: elaboración propia.

3.3.1.4 Dimensión: Mejorar

Para establecer controles sobre el proceso de mantenimiento predictivo de equipos estáticos, se establecieron un total de:

- N° Capacitaciones = 3 por persona
- N° de experimentos = 16

3.3.1.5 Dimensión: Controlar

Para establecer controles sobre el proceso de mantenimiento predictivo de equipos estáticos, se establecieron un total de:

- N° de indicadores = 7

3.3.2 Mejora estimada Resultados luego de la propuesta de mejora de la Variable

Dependiente: Gestión de Mantenimiento Predictivo

3.3.2.1 Dimensión gestión de órdenes de trabajo

En primera instancia, con el 30% de mejora esperado se incrementará potencialmente la culminación de órdenes de trabajo de 81 a 105. En este sentido, se deberá replantear el manejo de solicitudes a 105 órdenes de trabajo promedio por mes a fin de cumplir la planificación. Se estima una tolerancia de hasta 2% en órdenes de trabajo sin culminar. De esta forma la gestión de órdenes de trabajo quedaría:

Tabla 33.

Promedio mensual de órdenes de trabajo con 30% de mejora estimado

| Descripción | Recibidas | Culminadas | Pendientes |
|-------------------------------|-----------|------------|------------|
| Órdenes de trabajo (absoluto) | 105 | 103 | 2 |
| Órdenes de trabajo (absoluto) | 100% | 98% | 2% |

Nota. Fuente: Elaboración propia

3.3.2.2 Dimensión gestión de tiempo

En cuanto al manejo del tiempo se espera en promedio realizar los trabajos dentro de los 390 minutos establecidos, con una tolerancia de ± 4 minutos acorde a los LEI y LES establecidos. En este sentido, considerando el LES (394 minutos) con respecto a los 390 minutos esperados de ejecución se tendría:

- % de desviación del tiempo = -1%

3.3.2.3 Dimensión inconformidades

En cuanto a las inconformidades por el desarrollo de los trabajos con el escenario esperado, se estima un promedio de 2 inconformidades mensuales atadas a la tolerancia de 2% que genera 2 órdenes de trabajo pendiente, ya que, el mayor motivo de este particular (tiempo de ejecución), se estima controlado. En este sentido, este indicador resultaría en:

- Índice de no conformidad absoluta = 2%

La tabla 34 muestra los resultados esperados en función del 30% de mejora en contraste con la información levantada durante el diagnóstico y el desarrollo de la metodología DMAIC del Six Sigma.

Tabla 34.

Mejoras estimadas con la puesta en marcha del sistema

| Indicador | Dimensión | Antes | Después |
|--|-------------------------------|--------------|----------------|
| % de órdenes de trabajo culminadas | Gestión de órdenes de trabajo | 68.1% | 98% |
| % de órdenes de trabajo pendientes | | 31.9% | 2% |
| % de desviación del plan de trabajo | | -31.9% | -2% |
| Tiempo adicional requerido para ejecutar mtos. | Gestión de tiempo | -39.74% | -1% |
| Índice de no conformidad absoluta | Inconformidades | 30.86% | 2% |
| Nº de entradas del proceso | Definir | 2 | 2 |
| Nº de salidas del proceso | | 3 | 3 |
| Nº de tareas del proceso | | 10 | 10 |
| DPO | | 0.032 | 0.002 |
| DPMO | | 31932.77 | 1904.76 |
| Yield | Medir | 96.8% | 99.8% |
| Nivel Sigma | | 3.3 | 4.4 |
| C _p | | 0.01 | 0.65 |
| NPR: interrupción de las labores del servicio por retraso de repuestos | | Analizar | 36 |
| NPR: solicitud de órdenes pendientes | 100 | | 5 |
| NPR: retraso en la entrega de los servicios | 75 | | 10 |
| NPR: servicios sin concluir porque no se aplica la técnica completa | 30 | | 10 |
| Nº Capacitaciones | Mejorar | 0 | 3 por persona |
| Nº de experimentos | | 0 | 16 |
| Nº de indicadores | Controlar | 0 | 7 |

Nota. Fuente: elaboración propia.

3.4 Resultados de la evaluación económica de la propuesta de mejora:

Los costos asociados al sistema se estiman en 3 categorías:

- Inversión inicial
- Consumibles periódicos
- Capacitación.

Tabla 35.

Inversión inicial

| Descripción | Cantidad | Costo (S/.) | Total (S/.) |
|---|----------|-------------|-------------|
| Vibrómetro Extech Instruments | 4 | 3000 | 12000 |
| Detector de Fugas Black & Decker Tld100 | 4 | 331 | 1324 |
| Fisurómetro FIGEX 3D Digital | 4 | 1360 | 5440 |
| Viscosímetro Brookfield | 4 | 11500 | 46000 |
| Medidor Ultrasónico Lotfancy Digital | 4 | 670 | 2680 |
| Termógrafo HT-02 | 4 | 1370 | 5480 |
| Total | | | 72924 |

Nota. Fuente: elaboración propia.

Tabla 36.

Consumibles periódicos

| Descripción | Cantidad | Costo | Frecuencia/año | Total |
|-----------------------------|----------|-------|----------------|-------|
| Kit de líquidos penetrantes | 4 | 408 | 4 | 6528 |

Fuente: elaboración propia.

Tabla 37

Capacitaciones

| Descripción | Cantidad | Costo (S/.) | Total (S/.) |
|---|-----------------|--------------------|--------------------|
| Gestión de mantenimiento basado en la confiabilidad | 4 | 420 | 1680 |
| Herramientas para la Gestión del Mantenimiento | 4 | 420 | 1680 |
| Planificación y programación del mantenimiento | 4 | 420 | 1680 |
| Técnicas de resolución de problemas | 4 | 420 | 1680 |
| Gestión estratégica del mantenimiento | 4 | 420 | 1680 |
| Total | | | 8400 |

Nota. Fuente: elaboración propia.

Por su parte, los beneficios estarán dados por el incremento de los mantenimientos por mes. Se considerará que el aumento hasta el 30% esperado será escalonado en 5% cada 3 meses de la siguiente manera

Tabla 38

Crecimiento trimestral de órdenes de trabajo culminas con las mejoras

| Descripción | Meses | | | | | |
|---------------------|--------------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|
| | 3 | 6 | 9 | 12 | 15 | 18 |
| Órdenes adicionales | 4 | 8 | 12 | 16 | 20 | 24 |
| % acumulado | 5% | 10% | 15% | 20% | 25% | 30% |

Nota. Fuente: elaboración propia.

Considerando la escala mostrada en la tabla 36, los costos descritos en las tablas 33 a 35 (más 10% de factor de seguridad), se determinó el flujo de caja a 2 años, el valor actual neto (VAN) y la tasa interna de retorno con una tasa de interés del 10%. Los montos son mostrados en miles de soles (MS/). Se estima que cada mantenimiento tenga un costo de S/.12582 dejando una ganancia a la empresa de S/.2570 (20%).

Tabla 39

Flujo de caja

| Descripción | Año 1 (meses) | | | | | Año 2 (meses) | | | |
|----------------------------|---------------|------|------|------|------|---------------|------|------|------|
| | 0 | 3 | 6 | 9 | 12 | 3 | 6 | 9 | 12 |
| Inversión Inicial (MS/.) | -72.9 | | | | | | | | |
| Costos consumibles (MS/.) | | 1.63 | 1.63 | 1.63 | 1.63 | 1.63 | 1.63 | 1.63 | 1.63 |
| Costo capacitación (MS/.) | | 8.4 | | | | 8.4 | | | |
| Costo (misceláneos) (MS/.) | | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| Beneficio (MS/.) | | 10.3 | 20.3 | 30.8 | 41.1 | 51.4 | 61.7 | 61.7 | 61.7 |
| Flujo de caja (MS/.) | -72.9 | 0.2 | 18.7 | 29.2 | 39.5 | 41.3 | 60.1 | 60.1 | 60.1 |

Nota. Fuente: elaboración propia.

A partir de este flujo de caja, se determinaron los indicadores financieros VAN y TIR por medio de la hoja de cálculo MS Excel, resultando en un VAN = 172348.37 con un TIR = 144%, resultando en que la propuesta es factible económicamente.

Una vez determinado el VAN, se procedió a determinar la rentabilidad de la inversión (IR) por medio de la siguiente ecuación

Ecuación 13

Índice de rentabilidad

$$IR = \frac{VAN - Inversión Inicial}{Inversión Inicial} = \frac{172348.37 - 72924}{72924} = S/.1.36$$

De acuerdo al índice de rentabilidad (IR) luego de haber deducido la inversión inicial del VAN y luego dividir entre la misma inversión inicial, se demuestra una viabilidad económica aceptable ya que se ha recuperado el valor invertido y además se ha obtenido un margen o ganancia de 0.36 soles por cada sol.

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1 Discusión

En la investigación los resultados demuestran que se logró elevar el nivel sigma de un (3.3) a (4.4), igualmente los defectos por oportunidad se disminuyen de (0.032) a (0.002) los defectos por millón de oportunidades DPMO de (31932.77) a (1904.76), el nivel de rendimiento Yield de (96.8%) a (99.8%) y la capacidad del proceso de (0.01) a (0.65). Estos resultados se pueden contrastar con los obtenidos por Tejada (2016), donde también logró mejorar la eficiencia de 90.11% a 95.84%, y la eficacia de 91.72% a 96.33%. Logrando evidenciar que la metodología Six Sigma ayuda a las organizaciones a la reducción los tiempos y mejorar la eficiencia en los procesos, el autor también logró evidenciar las mejoras en el tiempo de paradas inesperadas y el incremento de la productividad del concentrado de cobre.

En cuanto a la productividad en la presente investigación se observó un incremento de un 89.99% a un 96.09%, mientras que en el tiempo de ejecución se logró disminuir dentro del LEI=390 minutos y un tiempo máximo de ejecución dentro del LEI=394 minutos, así como un incrementar en la atención/culminación de las ordenes de trabajo 30%, también se logró una disminución de las ordenes de trabajo pendientes en el mismo porcentual. A su vez, al ajustar los tiempos de trabajo a las especificaciones de las no conformidades porque estas se eliminan con las mejoras. Al igual Cruz y León, (2018) quienes en su investigación lograron reducir el tiempo total de mantenimiento de 10,29 horas a 7,92 consiguiendo una disminución de 2,37 horas, alcanzando un promedio de mejora de un 2% y un incremento del 25% de las órdenes

Efectivas realizadas lo que les permitió demostrar que la simulación el Six sigma mejora considerablemente el mantenimiento preventivo.

Con la aplicación de la metodología Six Sigma se estima una mejora del 30% ubicando la culminación de órdenes de trabajo en un 98%, mejorando los valores iniciales de 81 órdenes ejecutadas a 105. Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Cazañas y De la Paz (2016), en su investigación quienes lograron optimizar el procedimiento para la planeación integrada de la producción para el logro de un 98% del cumplimiento de las ordenes de mantenimiento a nivel táctico, mejorando de esta manera el rendimiento y desempeño de los equipos y maquinarias.

Otro resultado importante fue evidenciar que el diseño de la propuesta del programa de capacitación para fortalecer los conocimientos técnico científico en el área de mantenimiento predictivo, con lo cual se espera mantener capacitados y actualizados al personal. Ya que como manifiesta Atincona y Lara (2018), la implementación de un programa de capacitación técnica permitiría el sostenimiento de los resultados en el tiempo.

En cuanto a la evaluación económica, esta resulta muy favorables para un periodo de 2 años considerando la inversión en formación, herramientas e insumos se espera un retorno de un VAN = 172348.37, un TIR = 144% y un IR = S/.1.36. Al igual que García (2017) quien logró demostrar en su trabajo de investigación en una empresa minera, que en la mejora de los procesos (traducido en horas de trabajo efectivas), se logra un lucro cesante de US\$ 1707196.33 en las tareas asociados directa e indirectamente a los mantenimientos de la flota de camiones mineros objeto de su investigación.

Por su parte, los hallazgos de esta investigación son un aporte para la empresa minera a objeto de estudio quienes se verán beneficiados al poner en práctica la propuesta, ya que se logra demostrar que su aplicación es factible y rentable, tanto para el desarrollo de trabajos de mantenimiento predictivo a equipos estáticos de empresas mineras como para futuras investigaciones.

Estos resultados muestran dos escenarios, por un lado, las propuestas de mejora y control pueden ser empleadas como herramientas de mejora para diferentes empresas del sector con miras a mejorar sus procesos, eficiencia, detectando y mitigando los defectos que ocasionan la variabilidad de sus resultados. Por otro lado, otros investigadores se pueden servir de los hallazgos y metodologías empleadas en este trabajo, destacando el hecho de que con frecuencia al aplicar la metodología no se alcanza directamente el nivel Six Sigma, siendo este un proceso que requiere maduración, mejora continua y métodos de mejora y control para alcanzar el objetivo final de reducir los defectos por millón de oportunidades (DPMO) a 3.4 y controlar la variabilidad dentro del rango esperado, sin que sobrepase los límites de especificación inferior y superior (LEI y LES).

Por último, dentro de las limitaciones que se presentaron durante el desarrollo de la investigación estuvieron enmarcadas principalmente al ser un estudio netamente descriptivo en el cual, se plantearon las propuestas de mejora y de control estimando una mejora del 30%, no pudiendo aplicar los experimentos DoE de campo en condiciones controladas que permitieran aplicar a cabalidad las mejoras y controles. De esta forma, el resultado se limita a una aproximación o propuesta de como se espera que mejore el desempeño de los mantenimientos predictivos con un sistema basado en la metodología Six Sigma.

4.2 Conclusiones

La investigación tuvo como objetivo el diseño de un sistema basado en la metodología Six Sigma para mejorar la gestión de mantenimientos predictivos de los equipos estáticos de una empresa minera, Cajamarca – 2020 al finalizar se concluye lo siguiente:

Las condiciones iniciales de la empresa minera en relación a los procesos de mantenimiento predictivo para los equipos estáticos se evidenció un alto porcentaje de solicitudes de órdenes pendientes por ejecutar (31.9%). Así como demoras en las actividades a realizar (155 minutos), lo que trae como consecuencias las constantes quejas de los clientes y un alto índice de no conformidad absoluta (30.86%) y un nivel sigma actual de 3.3.

El diseño de la metodología Six Sigma permitió establecer una línea base del proceso de mantenimiento predictivo a través de las fases definir, medir y analizar, con lo cual se espera que el proceso de mantenimiento predictivo mejore en un 30%, y aumente el número de órdenes ejecutadas a 103. Lo cual implica un nivel de sigma mejora a 4.4, lo que se traduce en un mayor desempeño en el proceso de mantenimiento predictivo.

La evaluación económica refleja que el diseño resulta factible económicamente en un periodo de 2 años a una tasa de interés del 10%, con resultados de un VAN = 172348.37, un TIR = 144% y un IR = S/1.36

REFERENCIAS

- Anticona, A., & Lara, J. (2018). Six sigma en la calidad del servicio de mantenimiento de camiones iveco, empresa Motored S.A. Callao: Universidad Nacional del Callao.
- Barrera, A. (2019). Metodología Six Sigma para mejorar el servicio de Mesa de Ayuda TI en una organización del Sector Público. *Universidad Tecnica Federico Santa María*, 1–34.
- Drohomeretski, E., Gouvea, S., Pinheiro, E., & Vieira, W. (2016). *Factores críticos para o sucesso do seis sigma: Um levantamento do impacto do tempo de empresa e do treinamento na industria alimenticia*. 16(2), 475–498.
- García, S. (2017). Análisis y Propuesta de Mejora en la gestión de mantenimiento de una flota de camiones mineros con la aplicación del Six Sigma Espinar-Cuzco 2016. Arequipa: Universidad Católica San Pablo.
- Huergo, H. (2003). *Los procesos de gestión*.
- Junta de Andalucía. (2014). *Gestión eficaz del Timpo: Primero lo primero*.
- Mejía, I., & Álvarez, S. (2012). Modelo de Dirección para la Aplicación de Six Sigma. Mexico: UNAM.
- Olarte, W., Botero, M., & Cañon, B. (2010). Importancia del mantenimiento industrial dentro de los procesos de producción. *Scientia et Technica Año XVI, 44*, 354–356.
Retrieved from <http://www.mantenimientomundial.com/sites/mmnew/h>
- Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo. (2012). Retrieved from http://www.cytcd.org/?q=es/detalle_proyecto&un=218
- Reymundo, C. (2016). Factores de servicio de mantenimiento mediante Six Sigma para

mejorar la calidad de servicio en la empresa Atlas Copco - Atacocha . Huyanco:
Universidad Nacional del Centro del Perú.

Rodríguez, N., & Romano, J. (2019). Estudio de mezclas porosas modificadas con fibra y cal hidratada mediante análisis estadístico basado en el diseño de experimentos (DOE). Bogotá: Universidad Católica de Colombia.

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

Uscátegui, P. (2014). Propuesta de mejoramiento de gestión de mantenimiento para el departamento de confiabilidad y proyectos en la empresa Petrosantander Colombia (INC). *Universidad Industrial de Santander*, 53(9), 93. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

Vargas, C. (2018). *Análisis comparativo de la inspección visual de un pavimento flexible, por los métodos tradicional y por sensores remotos en un kilómetro de la calle séptima en el municipio de cajica cundinamarca*. Universidad Militar Nueva Granada.

ANEXOSA: ENCUESTA

| Escala de valoración | | | |
|----------------------|------|---------|------|
| Muy alto | Alto | Regular | Bajo |
| 3 | 2 | 1 | 0 |

| DISEÑO DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO BASADO EN LA METODOLOGÍA SIX SIGMA PARA MEJORAR LA EFICIENCIA DE LOS EQUIPOS ESTÁTICOS DE UN PROYECTO MINERO, PERÚ – 2020 | | | | |
|---|---|--|--|--|
| 1 | Preguntas con respecto a las principales causas | | | |
| 2 | Falta de cumplimiento del programa de mantenimiento | | | |
| 3 | Demora en el cumplimiento de cada ciclo | | | |
| 4 | Demora en la entrega de repuestos | | | |
| 5 | Falta de ejecución de la limpieza para poder ejecutar la técnica | | | |
| 6 | Falta de mano de obra calificada | | | |
| 7 | Falta de procedimientos estandarizados en el trabajo | | | |
| 8 | Falta de capacitación al personal del área de mantenimiento | | | |
| 9 | Falta de Materiales o equipos predictivos para el mantenimiento | | | |
| 10 | Falta de codificación de los equipos | | | |
| 11 | Falta de gestión de repuestos | | | |
| 12 | Falta de claridad en las funciones y responsabilidades del personal del área de mantenimiento | | | |
| 13 | Falta de seguimiento a los trabajos realizados | | | |
| 14 | Falta de seguimiento a los proveedores | | | |
| 15 | Perdidas de horas por paradas repentinas | | | |

Nota. Fuente: Adaptado de Rojas, D (2016)

ANEXOSB: GUION DE ENTREVISTA

DISEÑO DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO BASADO EN LA METODOLOGÍA SIX SIGMA PARA MEJORAR LA EFICIENCIA DE LOS EQUIPOS ESTÁTICOS DE UN PROYECTO MINERO, PERÚ – 2020

1. ¿Qué tipo de mantenimiento ofrece la empresa?
2. ¿Cuántos trabajadores laboran en el área de mantenimiento?
3. ¿Cuáles son las quejas más comunes que presenta el cliente?
4. ¿Cuáles son las quejas más frecuentes de los trabajadores o técnicos del área de mantenimiento?
5. ¿Cuántas órdenes de solicitudes aproximadamente se solicitan al mes y cuántas son realmente atendidas?
6. ¿Cuáles es el porcentaje aproximado de trabajos pendiente?
7. ¿Cuál es el tiempo de entrega de un servicio de mantenimiento?
8. ¿Qué mecanismo utiliza para llevar el control del mantenimiento cumplido y programado de los clientes?
9. ¿Qué tipo de planeación se realiza antes de una intervención del mantenimiento en los equipos estáticos (tanques)?
10. ¿Qué tiempo aproximado se demora en cada proceso del mantenimiento el personal asignado?
11. ¿Cuáles son los equipos críticos y necesarios para poder realizar las operaciones de mantenimiento de los equipos estáticos?
12. ¿Qué condiciones se presentan regularmente en el área de trabajo antes de realizar las labores de mantenimiento? (desorden, herramientas sin clasificar, etc)
13. ¿Cuánto tiempo aproximado pierde el personal técnico para poder comenzar sus labores de mantenimiento?
14. ¿Cuáles son las razones principales de la pérdida de tiempo o tiempo muerto del personal de mantenimiento?
15. ¿Cuánto sería el costo económico estimado de pérdida por ese tiempo?
16. ¿Cómo afecta a la prestación del servicio la cantidad disponible de materiales para su atención?
17. ¿Cuáles son los materiales, equipos móviles que utilizan para el mantenimiento predictivo?
18. ¿Cuáles son los tipos retrasos que se presentan por falta de materiales o equipos para la ejecución del mantenimiento?

| | | |
|----------------------------------|-------------------------------|------------------------------|
| Nombre del entrevistador: | Cargo del entrevistado | Fecha: ___/___/___ |
|----------------------------------|-------------------------------|------------------------------|

ANEXOS C: INFORMACIÓN DE LA EMPRESA

Valores Corporativos

Como valores corporativos la empresa procura ser la “personificación de la pasión, la integridad, la innovación y el espíritu emprendedor, esforzándonos continuamente por llevar a la práctica nuestra visión. Estos valores nos guían en todo lo que hacemos, y son la roca en la que descansa nuestra organización” (Sitio oficial de la empresa).

En cuanto los principios comerciales la empresa, genera la confianza e integridad en sus servicios, asegurando el establecimiento de lugares de trabajo seguros y saludables con calidad y profesionalismo. Respetando los derechos humanos, generando igualdad oportunidades, contribuyendo con la sostenibilidad y fomentando el liderazgo, el trabajo, y el compromiso en equipo.

Sector y actividad económica

La empresa, ofrece sus servicios a través de 11 grandes industrias mediante sus diversas líneas de negocio del sector de la Construcción, Energía, Productos Químicos, Bienes de Consumo y Venta Minorista, Fabricación Industrial, Ciencias Biológicas, Petróleo y Gas, Minería, Sector Público, Transporte y Agricultura Y Alimentos. Como se observa la empresa está presente en varias actividades económicas abarcando una gran diversidad de mercados. Para el presente trabajo se centrará en el sector de la minería específicamente en el área de mantenimiento de maquinarias y equipos estáticos. Además de un amplio catálogo de servicios de evaluación e inspección comercial y muestreo de productos como lo son:

- Servicios de cargas y navíos
- Inspección visual

- Gestión de inventarios de existencias
- Servicios de inspección de equipos
- Muestreo tradicional y mecánico
- Análisis comercial
- Evaluación de la conformidad del producto

La misma está presente en más de 28 ciudades en el país, acreditados por ISO 17020 ante INACAL como se muestra en la figura:

Figura 29.

Puntos de operaciones de SGS



Nota. Fuente: Ampuero (2018)

También ofrece servicio de: a) supervisión de construcciones b) seguridad industrial para proyectos, c) supervisión para instalaciones eléctricas, d) laboratorios para suelos y concretos, e) supervisión en la industria a gas, f) Servicios de ensayos no destructivos (NDT) y Análisis de falla mecánica. G) Inspección y certificación de equipos y operadores h) Inspecciones en origen (importaciones). Dentro de lo que destaca para el interés del presente trabajo la inspección y mantenimiento de tanques en los cuales se describen los siguientes servicios:

- Modelado en 3D de fondo y cubierta del tanque
- Evaluación de agua y lodo en los contenedores
- Evaluación de la corrosión del subsuelo
- Medición automática del fondo del tanque
- Estudios de impacto medioambiental y análisis de riesgos
- Mediciones de espesor externas y revisión de cálculos
- Ensayo a presión hidráulica
- Sellado y ajuste de placas de identificación
- Pruebas no destructivas (NDT)
- Gestión de proyectos y supervisión de la construcción
- Medición de volumen de fondo de tanque
- Localización de fugas en el sistema y evaluación de la resistencia del material
- Pruebas de densidad por ultrasonidos
- Procedimientos de soldadura y cualificación conforme a normas internacionales

Proveedores

Los proveedores están conformados por las distintas compañías tanto locales, como internacionales realizando una selección y evaluación una vez al año.

Clientes

Los principales clientes están conformados por las distintas compañías del ramo industrial de diferentes rubros como agrícola, construcción, y minería entre otros.

Todo este apartado se resume con la siguiente figura que muestra la cadena de valor:

Figura 30.

Cadena de Valor de empresa minera

| | | | | | |
|---|--|--|--|---|---------------|
| Infraestructura de la empresa | | | | | Margen |
| Buen local comercial, disponibilidad de vehículo para la distribución y traslado de material, maquinaria y equipos en buenas condiciones para atender la demanda. | | | | | |
| Gestión de Recursos Humanos | | | | | |
| Disponibilidad de personal calificado y disposición para capacitar al personal | | | | | |
| Desarrollo de Tecnología | | | | | |
| Disposición de adquirir tecnología de gestión para optimizar la comunicación y planificación de las tareas. | | | | | |
| Compras | | | | | |
| Proveedores que disponen de precios competitivos, facilidad de proveedores en la localidad. | | | | | |
| Logística Interna | Operaciones | Logística Externa | Marketing y Ventas | Servicios post Ventas | |
| Define los procesos que intervienen en el proceso de mantenimiento predictivo | Programa y Planifica y las actividades para prestar un servicio de calidad | Coopera con el desarrollo de las actividades a realizar. | Disposición de emprender medios de comunicación novedosos para la promoción y publicidad | Disposición para mejorar y brindar un buen servicio cumplimiento con las obras realizadas velando por la calidad y respeto al medio ambiente. | |

Fuente: Elaboración propia

ANEXOS D: LISTA DE VERIFICACIÓN 5S`s

| Item | Consideración | Si | No | N/A |
|------|---|----|----|-----|
| 1 | ¿Los objetos necesarios para el desarrollo de su trabajo están organizados? | | | |
| 2 | ¿Existen objetos obsoletos en el área de trabajo? | | | |
| 3 | ¿Existen objetos dañados en el área de trabajo? | | | |
| 4 | ¿Se dispone de un sitio o medios adecuados para desarrollar los trabajos? | | | |
| 5 | ¿El área de trabajo están debidamente identificada? | | | |
| 6 | ¿Las herramientas están debidamente identificadas? | | | |
| 7 | ¿Los insumos y herramientas son los requeridos en tipo y cantidad? | | | |
| 8 | ¿Está limpia el área de trabajo? | | | |
| 9 | ¿Se cuenta con equipos de EPP que permitan trabajar de forma limpia, ordenada y segura? | | | |
| 10 | ¿Existen medios para disponer la basura? | | | |

ANEXOS E: CARTA DE AUTORIZACION DE USO DE LA INFORMACIÓN



**CARTA DE AUTORIZACIÓN DE USO DE INFORMACIÓN DE EMPRESA
PARA OBTENCIÓN DE GRADO DE BACHILLER**

Yo **Christian Paredes Laura**
(Nombre del representante del área de la empresa)

Identificado con DNI, 42776777 en mi calidad de residente.
(Nombre del padre del representante del área de la empresa)

Del área de **SERVICIOS INDUSTRIAL** de la empresa/institución
(Nombre del área de la empresa)

SGS DEL PERU S.R.L.
(Nombre de la empresa)

con R.U.C N° 20100114349....., ubicada en la ciudad de Lima Calleo.

OTORGO LA AUTORIZACIÓN,

Al señor **Rodolfo Castejón Torres**
(Nombre completo del egresado)

identificado con DNI N° 70025049, egresado de la carrera de Ingeniería Industrial
(Nombre de la carrera profesional)

, para que utilice la información del área de procesos de esta empresa/institución;
(Nombre completo del área)

con la finalidad de que pueda desarrollar su Trabajo de Investigación y de esta manera optar al grado de Bachiller.

25 de octubre del 2019.


Firma del Representante de la Empresa
DNI: 42776777

El Egresado declara que los datos emitidos en esta carta y en el Trabajo de Investigación son auténticos. En caso de comprobarse la falsedad de datos, el Egresado será sometido al inicio del procedimiento disciplinario correspondiente; y asimismo, asumirá toda la responsabilidad ante posibles acciones legales que la empresa, otorgante de información, pueda ejecutar.


Firma del Bachiller
DNI: 70025049

Código: COR-F-REC-VAC-05.04 UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE S.A.C. Vigencia: 06/05/2018
 Pág.: 1 de 1 Versión: 01