



UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

Propuesta de mejora de disponibilidad de la Flota de Volquetes de una
empresa minera

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Para optar el título profesional de Ingeniero Industrial

AUTOR

Quispe Peralta, Julio Michael (0000-0001-5265-5357)

ASESOR

Sifuentes Bitocchi, Oswaldo (0000-0001-9253-4445)

Lima, 01 de junio de 2020

DEDICATORIA

A mis abuelos paternos, que me inculcaron los valores de responsabilidad y humildad, esta es una muestra de su grano de arena puesto en mi persona. A mi esposa María Fernanda e hija Gia Fernanda, por los días que entendieron mi ausencia para la realización de este trabajo de tesis. A mis padres Lino Jesús y María Flor, que siempre me apoyaron y me dieron consejos de hacer cosas buenas y con valor agregado en la vida.

RESUMEN

Las empresas mineras a nivel mundial están constantemente innovando los procesos y la tecnología de los equipos que utilizan con la finalidad de obtener un mayor número de producción de mineral y por lo tanto conseguir incrementar sus ingresos por mayores ventas. El presente trabajo de suficiencia profesional se basa en la mejora de disponibilidad de la Flota de Volquetes de una empresa minera ubicada al sur del Perú con la finalidad de obtener mayores indicadores de producción por la disponibilidad y mayores utilidades producto de la reducción de costos. Se utilizarán las herramientas de ingeniería industrial para identificar el problema, diagnosticar las causas y plantear las alternativas de solución. En el presente trabajo se desarrollarán los capítulos de marco teórico, análisis y diagnóstico de la situación actual, la propuesta de solución, la validación técnica y económica de la propuesta de solución, y las conclusiones y recomendaciones.

Palabras clave: mejora continua, método de solución de problemas, ingeniería industrial, mantenimiento, disponibilidad.

ABSTRACT

Mining companies worldwide are constantly innovating the processes and technology of the equipment they use with the determination to obtain a greater number of mineral production and therefore to increase their income through higher sales. This professional proficiency work is based on improving the availability of the Tipper Fleet of a mining company located in southern Peru with the request to obtain higher production indicators due to availability and higher profits as a result of the cost reduction. Industrial engineering tools will be used to identify the problem, diagnose the causes and propose alternative solutions. In this work, the chapters of theoretical framework, analysis and diagnosis of the current situation, the proposed solution, the technical and economic validation of the proposed solution, and the conclusions and recommendations will be developed.

Keywords: continuous improvement; problem solving method; industrial engineering; maintenance; availability.

TABLA DE CONTENIDOS

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN	1
1.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	1
1.2 OBJETIVO GENERAL	5
1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	5
1.4 MARCO TEÓRICO.....	6
1.4.1 Calidad.....	6
1.4.2 Mantenimiento.....	13
1.4.3 Herramientas de Calidad	21
1.5 CASOS DE ÉXITO DE APLICACIÓN DE METODOLOGÍA QC STORY	26
1.6 NATURALEZA DE LA INVESTIGACIÓN.....	28
1.7 SUPUESTOS DE LA INVESTIGACIÓN	28
1.8 LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN	28
1.9 DELIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN	29
CAPÍTULO 2: ANÁLISIS Y DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL	30
2.1 DATOS DE LA EMPRESA	30
2.1.1 Mina 2.....	31
2.2 MANTENIMIENTO.....	33
2.2.1 Superintendencia de Ingeniería de Mantenimiento	35
2.2.2 Superintendencia de Mantenimiento Mina.....	35
2.2.3 Superintendencia de Mantenimiento Concentradora.....	38
2.3 TALLER VOLQUETES	39
2.3.1 Descripción del Volquete 930E.....	41
2.4 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	44
2.5 IMPACTO ECONÓMICO	45
CAPÍTULO 3: VALIDACIÓN DE LA PROPUESTA DE SOLUCIÓN	47
3.1 VALIDACIÓN TÉCNICA.....	47
3.1.1 Definición del proyecto	47
3.1.2 Análisis de la situación actual	47
3.1.3 Análisis de causas potenciales	52
3.1.4 Planificar soluciones.....	55

3.1.5	Implementación de solución	56
3.1.6	Medición de los resultados	57
3.1.7	Estandarizar la mejora	59
3.1.8	Documentar la acción o mejora	60
3.2	VALIDACIÓN ECONÓMICA	60
3.2.1	Mantenimiento Preventivo	60
3.2.2	Mantenimiento Correctivo.....	62
3.2.3	Combustible.....	64
3.2.4	Disponibilidad	64
3.2.5	Flujo de caja económico	65
CAPÍTULO 4: CONCLUSIONES.....		67
CAPÍTULO 5: RECOMENDACIONES.....		69
REFERENCIAS		70
ANEXO 1 COSTO POR HORA DE EQUIPO PARADO.....		75
ANEXO 2 ACTUALIZACIÓN DE PLAN DE MANTENIMIENTO EN SAP		76

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Personal de taller volquetes	39
Tabla 2 Flota volquetes de Mina	40
Tabla 3 Flota volquetes 930E	44
Tabla 4 Cambios de motor diésel Commins QSP60 años 2015 y 2016	45
Tabla 5 Costo pérdida por equipo parado.....	46
Tabla 6 Costo pérdida por cambios de motor diésel años 2015 y 2016	46
Tabla 7 Cuadro de paradas de mantenimiento	48
Tabla 8 Selección de las causas más probables	53
Tabla 9 Instalación de motor diésel MTA	56
Tabla 10 Costos de mantenimiento preventivo de motor diésel MTA.....	61
Tabla 11 Costos de mantenimiento preventivo de motor diésel Commins	61
Tabla 12 Costos de mantenimiento correctivo por motor diésel	62
Tabla 13 Resumen de costos de mantenimiento correctivo por año	63
Tabla 14 Costos de combustible por motor diésel.....	64
Tabla 15 Costo por disponibilidad de motor diésel.....	64
Tabla 16 Evaluación económica.....	65

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i> Pilares del Total Quality Management (TQM)	8
<i>Figura 2.</i> Círculo de mejora continua de Shewhart.....	9
<i>Figura 3.</i> Ocho pasos de método de solución de problemas	10
<i>Figura 4.</i> Sistema típico de mantenimiento.....	15
<i>Figura 5.</i> Estrategias de Mantenimiento	18
<i>Figura 6.</i> Disponibilidad	20
<i>Figura 7.</i> Tiempo promedio entre fallas (MTBF)	21
<i>Figura 8.</i> Tiempo promedio de reparación (MTTR).....	21
<i>Figura 9.</i> Ejemplo de Histograma	22
<i>Figura 10.</i> Ejemplo de Diagrama de Pareto	23
<i>Figura 11.</i> Ejemplo de Diagrama Causa Efecto.....	23
<i>Figura 12.</i> Ejemplo de Hojas de Verificación.....	24
<i>Figura 13.</i> Ejemplo de Estratificación	24
<i>Figura 14.</i> Ejemplo de Diagramas de Dispersión	25
<i>Figura 15.</i> Ejemplo de Gráfico de Control.....	25
<i>Figura 16.</i> Principales Divisiones de Negocio del Grupo Mexicano de Inversión.....	30
<i>Figura 17.</i> Organigrama de Operaciones	31
<i>Figura 18.</i> Mina 2 en el departamento de Moquegua	32
<i>Figura 19.</i> Vista aérea de la Mina 2	33
<i>Figura 20.</i> Organigrama de la Dirección de Operaciones Mina 2	34
<i>Figura 21.</i> Diagrama de Flujo del Taller Volquetes	40
<i>Figura 22.</i> Volquete 930E.....	41
<i>Figura 23.</i> Dimensiones de Volquete 930E	42
<i>Figura 24.</i> Motor diésel Commins QSP60.....	43
<i>Figura 25.</i> Motor diésel MTA 16T4000	43
<i>Figura 26.</i> Diagrama de Pareto de categorías 2015-2017	49
<i>Figura 27.</i> Diagrama de Pareto de categorías 2015	49
<i>Figura 28.</i> Horas de parada por motor diésel 2015	50
<i>Figura 29.</i> Diagrama de Pareto de categorías 2016	50

<i>Figura 30.</i> Horas de parada por motor diésel 2016.....	51
<i>Figura 31.</i> Diagrama de Pareto de categorías 2017	51
<i>Figura 32.</i> Horas de parada por motor diésel 2017	52
<i>Figura 33.</i> Diagrama Causa – Efecto de Flota Volquetes 930E	54
<i>Figura 34.</i> Diagrama de Pareto de Motores diésel año 2015 y 2016	54
<i>Figura 35.</i> Informe de falla de motor diésel Commins QSP60.....	55
<i>Figura 36.</i> Gráfico de control de reemplazos de Motor diésel 2015.....	57
<i>Figura 37.</i> Gráfico de control de reemplazos de Motor diésel 2016.....	58
<i>Figura 38.</i> Gráfico de control de reemplazos de Motor diésel 2017.....	58
<i>Figura 39.</i> Incremento de disponibilidad Flota Volquetes 930E entre los años 2015 – 2017	59

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo de introducción se desarrollan los objetivos y el marco teórico para el presente trabajo de suficiencia profesional para posteriormente establecer la propuesta de mejora de disponibilidad de la Flota Volquetes de una empresa minera. Asimismo, este capítulo está conformado por cuatro subcapítulos, iniciando con el objetivo general y los objetivos específicos, seguido se encuentra el marco teórico que desarrolla la investigación realizada de calidad, mantenimiento y sus indicadores, y las siete herramientas de medición de la calidad.

1.1 Antecedentes de la Investigación

La historia de la minería desarrollada en el Perú data desde los años 1950 con el desarrollo del proyecto minero de Toquepala ubicado al sur del país, precisamente en el departamento de Tacna. Desde aquellos años hasta la fecha se ha mencionado la actividad minera como principal motor de desarrollo del país, por su gran participación en el PBI a causa de las exportaciones de los minerales y a la inversión para el desarrollo de nuevos proyectos de exploración. Según la Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía SNMPE (2012), la minería tiene gran relevancia en la economía peruana a través de la generación de valor agregado, divisas, impuestos, inversión y empleo; en el 2011 la minería ha sido el mayor sector exportador del país con un 59% de las exportaciones totales, representa el 15% del total de recursos tributarios recaudados, asimismo, representa el 21% de la inversión privada en el Perú lo que convierte a la minería en uno de los sectores que más invierte y genera más de 280 mil puestos de trabajo directos e indirectos. Según De Echave (2012) luego de la década del terrorismo en los años 80, a partir de los años 1990 el Producto Bruto Interno (PBI) de la minería metálica se expandió de una tasa promedio de 7.1% a dos dígitos, es decir, 16% en el año 1999; con ese contexto de expansión, la actividad minera comienza a tener peso dentro de la economía nacional, tal es así que aporta alrededor del 6% del PBI entre los años 1995 y 2009 según datos del Instituto Nacional de Estadística e Informática INEI. Es este último tema el de la inversión, el que a su vez en los últimos años se ha visto afectado por los conflictos sociales. Según Glave (2007) el creciente descontento de los centros poblados ubicados cerca de las operaciones mineras resulta poco entendible dado que si la minería trae beneficios porque oponerse a ellos; la respuesta es simple, porque aún con minería, ellos siguen siendo pobres y se desarrollan las diferencias sociales. Según el

Instituto Peruano de Economía (2015) las paralizaciones por conflictos socioambientales han traído un retraso en las inversiones mineras en el Perú por más de US \$ 21,500 millones entre los años 2010 y 2014. Y es de conocimiento público que si bien se generan utilidades y se reparte el canon minero a los gobiernos regionales donde se desarrolla la actividad extractiva, los ciudadanos a llegados a los sitios mineros sienten una diferencia hacia el desarrollo de sus actividades, que son ajenas a la actividad minera, como es la pesca y la agricultura. Según Glave (2007) con la promulgación del Código de Minería de 1950 se propició un hecho importante en la minería nacional. Los incentivos económicos que se otorgaron atrajeron la inversión extranjera y se desarrolló la mina de Toquepala, que en ese tiempo era considerada como una de mina más grandes del mundo. Sin embargo, en 1967 el Congreso de la República elaboró un informe en el que criticaba a la empresa Southern Perú por sus excesivos ingresos y poca reinversión en el país.

Según Glave (2007) después de elaborarse una encuesta en Lima en el 1967 en el que el 75% de ciudadanos estaba a favor de la nacionalización de empresas extranjeras, en 1968 con el golpe militar que derrocó al presidente Fernando Belaúnde, se inició un proceso de nacionalización de empresas mineras y petroleras. Hacia 1973 las empresas que no pudieron presentar nuevos proyectos de inversión fueron expropiadas y es solo la empresa Southern Perú la única empresa de gran envergadura en desarrollar un año después, es decir en 1974 el proyecto Cuajone.

Como se mencionó, las inversiones mineras en los últimos años encuentran dificultades para el inicio de sus actividades por falta de consenso con la población allegada al punto de explotación minero, y es que el Gobierno solo despierta o solo reacciona cuando se produce un conflicto social. Por ello, según Glave (2007) el gobierno debe diseñar e implementar políticas mineras que promuevan la diversificación económica en las zonas de influencia que aún tenemos grandes vacíos sobre su funcionamiento y sus impactos.

Según Baca (2013) en su estudio sobre el marco normativo minero en el Perú, la problemática de la actividad minera debe seguir el orden de la cadena de valor, con los siguientes aspectos a) el crecimiento de concesiones mineras que se han entregado y se han convertido en un iniciador de conflictos sociales, el cual requiere ser reformado; b) las licencias sociales que son requeridos para el desarrollo de los proyectos mineros para la llamada “nueva minería” en el Perú, sin embargo, las cuales se han convertido en obstaculizaciones por diversos grupos económicos y políticos del sector; c) la debilidad en

el marco normativo ambiental con la creación del SENACE (Servicio Nacional de Certificación Ambiental) y la OEFA (Oficina de Evaluación y Fiscalización Ambiental) en medio de escasos recursos para el desarrollo de su actividad; d) La ausencia de normatividad del gasto social directo de las empresas que se desarrolla tanto en las zonas de influencia como el país.

En cuanto a los tributos fiscales de la actividad minera en nuestro país, según Baca (2013) los ingresos fiscales pasaron de S/. 24,000 millones en 2004 a S/. 74,475 millones en 2012. Sin embargo, el crecimiento acelerado de concesiones mineras también ha llevado a concesionar de 9.3 millones de hectáreas en 2004 a 25.8 millones de hectáreas en el 2012, trayendo como consecuencia superposición de las concesiones mineras con otros usos como: áreas naturales protegidas y zonas de áreas de agricultura comercial.

El marco normativo de minería en el Perú fue reformado a inicios de 1990 con la finalidad de atraer e incrementar la inversión extranjera en el país. De acuerdo al Estudio sobre marco normativo minero en Perú del autor Baca (2013), las principales normas del sector son: el Texto Único Ordenado de la Ley General de Minería aprobado por el Decreto Supremo N° 014-92-EM; la Ley de Promoción de Inversiones en el Sector Minero, Decreto Legislativo N° 708; la Ley N° 27343, Ley que regula los contratos de estabilidad jurídica con el Estado al amparo de las leyes sectoriales; el Decreto Supremo N° 162-92- EF (Reglamento de los Regímenes de Estabilidad Jurídica; el Decreto Legislativo N° 662 Aprobación del régimen de estabilidad a la inversión extranjera; la Ley Orgánica para el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales (Ley N° 26821).

A continuación, se tratarán cuatro temas del marco normativo del sector minería que tienen especial relevancia para el desarrollo sostenible de actividades mineras respetando los derechos de las comunidades y protegiendo el medio ambiente. Estos temas son: las concesiones mineras, el marco normativo ambiental, el régimen tributario y las normas sociales.

Para las concesiones mineras, tal como lo establece la Ley de Promoción de Inversiones en el Sector Minero, Decreto Legislativo N° 708. La solicitud del proceso de concesión ordinario está dirigida por el INGEMMET (Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico). De acuerdo al estudio sobre marco normativo minero de Baca (2013), los petitorios de concesiones mineras pueden ser hechos por personas naturales o jurídicas, y se presentan al

INGEMMET si se trata de gran Minería y al Gobierno Regional de turno, si se trata de pequeña minería o minería artesanal. Ambos procesos se encuentran en el Sistema de Derechos Mineros y Catastro – SIDEMCAT.

En el marco normativo ambiental de la minería, en los últimos años hemos visto un crecimiento de inversiones que a su vez se han encontrado con conflictos socio ambientales. Esto trae ha analizar el marco normativo ambiental actual del país, el cual debe ser iniciado a través del Gobierno para poder reformar y adecuar el marco legal a las exigencias de la comunidad y las empresas mineras.

El sistema de ambiental del país según el informe de marco normativo minero de Baca (2013) está conformado por cinco sistemas: a) Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA), b) Sistema Nacional de Evaluación y Fiscalización Ambiental (SINEFA), c) Sistema Nacional de Gestión de Recursos Hídricos (SNGRH), d) Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas (SINAMPE) y e) Sistema Nacional de Información Ambiental.

Según Baca (2013) la Ley 29968 promulgada en diciembre de 2012, Ley de creación del Servicio Nacional de Certificación Ambiental (SENACE) es el organismo público técnico especializado encargado de revisar y aprobar los Estudios de Impacto Ambiental detallados (EIA-d) regulados en la Ley del SEIA. Asimismo, de acuerdo a la Ley SEIA de 2009, la Oficina de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA), es la encargada de fiscalización y sanción en materia ambiental, el cual tiene el objetivo el cumplimiento de la legislación ambiental y está adscrita al Ministerio de Ambiente (MINAM).

De acuerdo al informe de Baca (2013) el sistema tributario para el sector minero ha venido registrando cambios desde los años 90's mediante la Ley de promoción de la inversión en el sector privado (DL 708 del año 1991), el TUO de la Ley general de minería aprobado por DS 014- EM de 1992, con la finalidad de atraer la inversión minera. El sistema actual considera los siguientes tributos: impuesto a la renta (30%), impuesto general a las ventas, impuesto a los dividendos distribuidos, participación de los trabajadores en las utilidades (8%) e impuesto especial a la minería.

Los gastos del tipo social de la actividad minera son de dos tipos: a) gastos por las empresas mineras privadas, b) gastos a través del Estado como parte de su política pública social. Es necesario precisar que los gastos sociales que realizan las empresas privadas están relacionados a la reducción de pagos de impuestos. Los también

llamados obras por impuestos se incluyen en este tipo de gastos que realiza la empresa privada.

De acuerdo al informe de marco normativo minero elaborado por Baca (2013) el Compromiso con el Desarrollo Sostenible recibe las actividades de la empresa minera como parte de su plan de responsabilidad social y el cumplimiento de los principios estipulados en el Decreto Supremo N° 042-2003-EM. De acuerdo con este marco normativo, todas empresas mineras tienen que presentar anualmente una Declaración Jurada de Desarrollo Sostenible, como parte de la presentación de la Declaración Anual Consolidada (DAC). Al presentar el DAC, no se incluye en este anexo la información de los proyectos o programas implementados por la empresa con otro tipo de fondos, como son los comprometidos con el Programa Minero de Solidaridad con el Pueblo o los correspondientes a fideicomisos o fondos sociales como consecuencia de procesos de promoción de la inversión.

1.2 Objetivo General

El objetivo general del presente trabajo de suficiencia profesional es la aplicación de las herramientas de ingeniería industrial para desarrollar la propuesta de solución de mejora de disponibilidad de la flota de volquetes de una empresa minera.

1.3 Objetivos Específicos

- El objetivo del primer capítulo es la elaboración del marco teórico para desarrollar las propuestas de mejora en el proceso actual de gestión del mantenimiento, mediante textos y artículos recientes.
- El objetivo del segundo capítulo es realizar un diagnóstico del proceso actual de gestión del mantenimiento de la flota de volquetes, para identificar la problemática, así como sus respectivas causas, que permitan luego elaborar las propuestas de mejora apoyados en el marco teórico.
- El objetivo del tercer capítulo es presentar la alternativa de solución para la gestión actual de mantenimiento que se desarrolla en la empresa minera con la finalidad de mejorar la disponibilidad de la flota volquetes y por consecuencia reducir los costos de mantenimiento.
- Por último, presentar las conclusiones del proyecto de suficiencia profesional y elaborar las recomendaciones.

1.4 Marco Teórico

1.4.1 Calidad

El concepto de calidad ha pasado a tomar relevancia durante los últimos años, inicialmente, las empresas se dedicaban a mantener o incrementar los números de unidades producidas sin tomar en cuenta las unidades que se enviaban a desperdicio por tener algún defecto. Sin embargo, el desperdicio generado ya representa un gasto para la empresa, por lo cual algunas empresas tomaron la acción de tener un “control de calidad”, es decir, personas que se colocan al final del proceso para evitar que los productos defectuosos lleguen al cliente final. Esto también representa un gasto para la empresa y no necesariamente así se define al concepto de Calidad. Según la norma internacional ISO 9000 indica que, calidad es la totalidad de las características de una entidad, proceso, producto, organismo, sistema o persona que le confieren aptitud para satisfacer las necesidades establecidas e implícitas. Esta definición de calidad se asemeja a lo que se indicó anteriormente, que la calidad no es un control para evitar desperdicios, el concepto de calidad refiere a productos, procesos o sistemas que cumplen con las necesidades de los clientes o de las operaciones de la empresa.

Es por ello, que la Administración de la Calidad Total o por sus siglas en inglés TQM (*Total Quality Management*), tiene como característica principal la prevención de errores para la producción de bienes o servicios, de manera que se eliminan los problemas que se pudieran tener en la línea de proceso de la organización para evitar gastos en desperdicios y fomentar un ambiente de mejora continua y de creación de valor. El TQM se centra en la mejora de los procesos y las necesidades del cliente.

Según Carro y González (2012) la calidad tiene especial importancia porque afecta en cuatro pilares a una empresa: (a) costos y participación del mercado, las mejoras continuas implantadas en la organización traen consigo la disminución de fallas y por lo tanto, ahorros para la organización y mayor participación del mercado; (b) prestigio de la organización, dados los procesos optimizados, el incremento de productos con calidad y disminución de fallas, trae consigo el prestigio para la empresa y mayor aceptación por parte de los clientes internos o externos; (c) responsabilidad por los productos, las empresas que realizan bienes o servicios tienen la responsabilidad en cuanto a los daños y perjuicios que el bien entregado pueda afectar al cliente, esto traería una pérdida en gastos y prestigio; (d) implicaciones internacionales, en la sociedad actual que se tiene acceso a internet y tratados de libre

mercado, la calidad de los productos o servicios generados debe cumplir con las expectativas de los clientes y sus costos.

El concepto de Total en la Administración de la Calidad TQM, refiere a que esta metodología no solo se aplica a un área o departamento de operaciones o mantenimiento, sino también es aplicado a toda la organización, asimismo, se establece que las personas que se encuentran directamente en el proceso son las personas que pueden aportar las acciones de mejora continua. Según Carro y González (2012) se asume que un 90% de los problemas en la empresa, son generados por el proceso y no por los colaboradores.

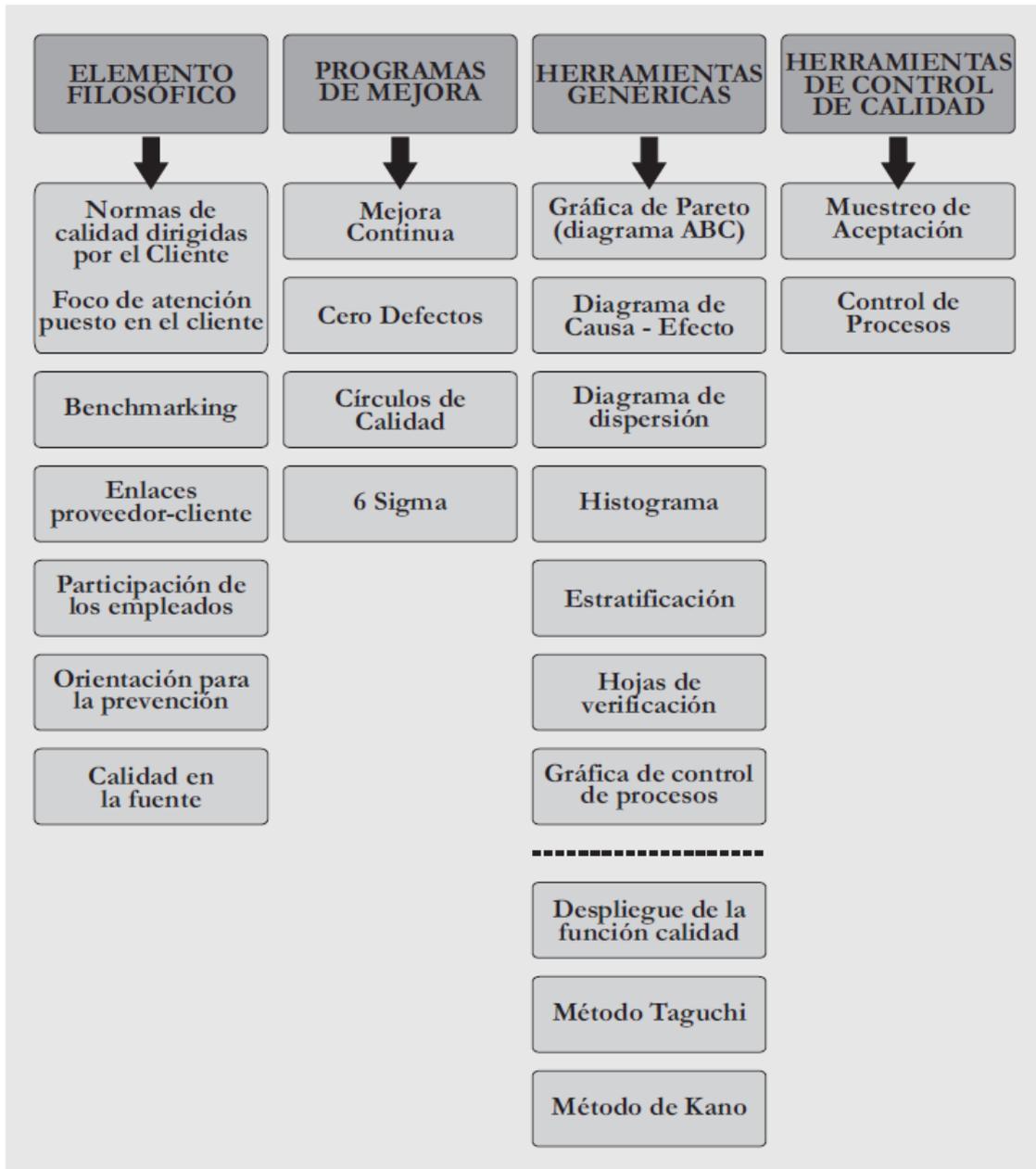


Figura 1. Pilares del Total Quality Management (TQM)

Fuente: Carro y Gonzáles (2012). Administración de la calidad total

Para el TQM hay dos tipos de clientes: los clientes externos e internos. El cliente externo es el usuario final que recibe el producto o servicio, en cambio el cliente interno es parte de la organización y es la persona o departamento que recibe nuestro producto o servicio. Por lo tanto, es importante conocer quien es nuestro cliente sea este interno o externo para brindarle un producto o servicio de calidad.

Como vemos en la Figura 1, dentro de los programas de mejora del TQM tenemos la Mejora Continua o *kaizen* el cual proviene de dos palabras japoneses: “*kai*” que significa cambio y “*zen*” que significa mejorar, por lo que podemos decir que *kaizen* es cambio para mejorar o el mejoramiento continuo.

Según Carro y González (2012) el *kaizen* tiene dos pilares que son los equipos de trabajo y la ingeniería industrial que se utilizan para mejorar los procesos de las empresas. Asimismo, también se enfoca en la eliminación de los desperdicios como: sobreproducción, exceso de inventarios, procesamiento, transporte, movimientos innecesarios, tiempos de espera y, fallas y reparaciones.

Es importante indicar que el concepto de mejora continua es aplicado sin obstrucciones en el país oriental por la filosofía que tienen de obtener resultados a largo plazo, en cambio en los países occidentales, específicamente en América esta filosofía encuentra obstrucción por los directivos de las organizaciones que desean obtener resultados en el corto plazo. Por lo que la metodología del *kaizen* puede ser la alternativa para las organizaciones que desean obtener resultados en el corto plazo y con poca inversión. Este proceso también es presentado por el ciclo de Shewhart o círculo PDCA por sus siglas en inglés: *Plan, Do, Check, Act* que en castellano significa: Planear, Hacer, Revisar y Actuar. Asimismo, este círculo de mejora continua tiene como principal impulsor a Edward Deming.

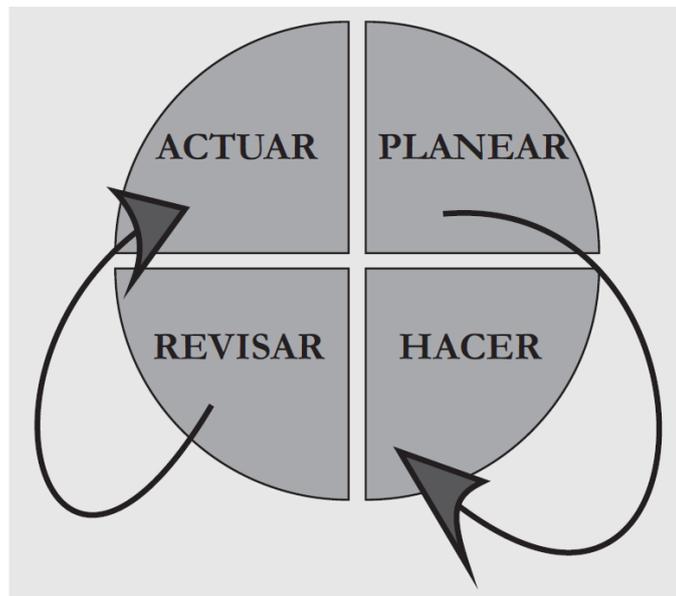


Figura 2. Círculo de mejora continua de Shewhart

Fuente: Carro y González (2012). Administración de la calidad total

El ciclo de mejora PDCA se utiliza para la administración y control de calidad buscando la mejora continua en las organizaciones, que junto con el Story QC o historias de control de calidad se desarrolla el método de solución de problemas de ocho pasos. Este método de solución de problemas se enfoca en el control de la calidad donde se realiza la planificación de la calidad, el mantenimiento de la calidad y la mejora continua de la calidad.

A continuación, en la Figura 3 se describen los ocho pasos del método de solución de problemas a través de la herramienta del ciclo de mejora continua PDCA.

<i>etapa</i>	<i>especificaciones</i>	<i>herramientas</i>
Planear	Definir el proyecto. Definir el problema. Analizar por qué es importante. Definir indicadores (variables de control)	<i>Brainstorming</i> Registros <i>Flowchart</i> Diagrama de Pareto
	Analizar la situación actual. Recoger información existente. Identificar variables relevantes. Confeccionar planillas de registros. Recopilar datos de interés.	<i>Brainstorming</i> Registros <i>Flowchart</i> Diagrama de Pareto
	Analizar causas potenciales. Determinar causas potenciales. Analizar datos recopilados. Observar la experiencia personal. Tormenta de ideas.	<i>Brainstorming</i> Registros <i>Flowchart</i> Diagrama de Pareto Diagrama de dispersión Diagrama de causa-efecto
	Planificar soluciones. Plantear un lista de soluciones. Establecer prioridades. Preparar un plan operativo.	<i>Brainstorming</i> Gráficos de barras Gráficos circulares
Hacer	Implementar soluciones. Efectuar los cambios planificados.	<i>Brainstorming</i> Gráficos de barras Gráficos circulares
Verificar	Medir los resultados. Recopilar datos de control. Evaluar resultados.	Diagrama de Pareto Gráficos de línea Histogramas Gráficos de control
	Estandarizar el mejoramiento. Efectuar los cambios a escala. Capacitar y entrenar al personal. Definir nuevas responsabilidades. Definir nuevas operaciones y especificaciones.	Diagrama de Pareto Gráficos de línea Histogramas Gráficos de control
Actuar	Documentar la solución Resumir el procedimiento aprendido.	Procedimientos generales Procedimientos específicos Registros e instructivos de trabajo

Figura 3. Ocho pasos de método de solución de problemas

Fuente: Carro y Gonzáles (2012). Administración de la calidad total

De acuerdo a la Figura 3, la herramienta central de la metodología de solución de problemas de ocho pasos se fundamenta en el ciclo Planear – Hacer – Verificar – Actual (PHVA) o plan- do – check – act (PDCA). Según (ICONTEC, 2015) se especifica a que refiere cada parte del ciclo de mejora continua:

- Planificar: establecer los objetivos del sistema y de sus procesos, y los recursos necesarios para conseguir resultados de acuerdo con los requisitos del cliente y las políticas de la organización.
- Hacer: implementar lo que se planificó, desarrollar las actividades en base a los lineamientos que se plantearon.
- Verificar: realizar el seguimiento y la medición de los procesos: productos y servicios resultantes respecto de las políticas, los objetivos y los requisitos e informar sobre los resultados.
- Actuar: tomar acciones para mejorar el desempeño de los procesos, cuando sea necesario. Se debe documentar todas las acciones de mejora en los procesos, para evitar duplicidades o re hacer actividades que ya se hicieron anteriormente.

A continuación, se detalla cada actividad del ciclo de mejora continua PHVA que utiliza la metodología de solución de problemas. De esta manera esta herramienta puede ser utilizada para el análisis y aplicación de cualquier área, independientemente cual sea el giro de negocio de la empresa.

- Definición del proyecto

En este paso inicial se define el problema que se tiene que eliminar. Lo más importante dentro de este punto es exponer con toda claridad y de una manera concreta, la gravedad del problema. Se define la criticidad que tiene el problema dentro del proceso en la organización. Se utilizan los registros con los que cuenta el proceso para su posterior análisis.

- Análisis de la Situación Actual

En este paso se utilizan los registros con los que cuenta el área a evaluar. Se analizan los registros y se evalúa si es que son relevantes para el análisis completo de la situación actual. Cabe mencionar que, si los registros actuales no conllevan a determinar la situación actual, se pueden confeccionar registros para obtener información relevante.

- Análisis de Causas Potenciales

Luego del análisis de la situación actual y todos los registros implementados. Se realiza el análisis de causas potenciales, donde se analiza los datos recopilados y se realiza un diagrama causa-efecto.

- Planificación de Soluciones

De las causas potenciales identificados, y asimismo haberle realizado un cuadro de criticidad y alcance de cada causa potencial para ver si es reparable o mejorable; se establecen los puntos para la planificación de su solución. En este punto se prepara un plan operativo con un cuadro de responsabilidades y plazos para su ejecución.

- Implementación de Soluciones

Se toma acción de la planificación de actividades que se realizó para la obtención de la mejora y cambio en el proceso de la organización, con la finalidad de eliminar o mitigar el problema identificado inicialmente.

- Medición de Resultados

Se recopila los datos de los registros obtenidos que previamente se establecieron y se realiza la evaluación de los mismos para ver si estamos dentro del proceso de cambio que se planifico, de cumplirlos para analizar porque no se cumplieron.

- Estandarización de Mejoras

Se realiza la estandarización de las mejoras aplicadas, de ser posible su aplicación a gran escala, es decir, a más área dentro de la organización. Se realiza los estándares de las nuevas responsabilidades, operaciones y especificaciones. Se realiza la capacitación y entrenamiento del personal.

- Documentación de Soluciones

Se establecen los procedimientos que se realizaron, de actividades, de operación y de trabajo, generales y específicos. Es importante establecer los registros e instructivos de trabajo que se utilizan para un correcto procedimiento de aplicación de la mejora.

Este método de solución de problemas de historias de control de calidad de ocho pasos, para la mejora continua de la Administración de Calidad Total, se utilizará para la definición y

análisis del problema que se encuentre en la gestión del mantenimiento de la flota Volquetes 930E de una empresa minera.

1.4.2 Mantenimiento

En 1925 comenzó a hablarse de aplicar el mantenimiento de forma preventiva a fin de evitar problemas y, en especial, averías en los equipos de producción. Esta aplicación se extiende a partir de los años cincuenta. Por lo que se puede decir que el período de tiempo anterior a 1950 se caracteriza por la aplicación del mantenimiento de reparación basado exclusivamente en la reparación de averías. Solamente se llevaba a cabo cuando se detectaba una falla o avería y, una vez reparada, todo acababa aquí, y se denominaba Mantenimiento Correctivo en la mayoría de empresas.

A partir de 1950, se establecen las bases del Mantenimiento propiamente dicho. El Mantenimiento Preventivo se introdujo en Japón procedente de EE. UU. En 1951 por parte de Toanenryo Kogyo, se buscaba la rentabilidad económica por encima de todo, en base a la máxima producción, y, para ello, se establecieron funciones de mantenimiento orientadas a detectar y/o prever posibles fallos antes de que sucedieran. En esta época queda ya totalmente demostrada la relación entre la eficacia económica y el mantenimiento.

Más tarde, en los años sesenta, se incorporó y desarrolló el Mantenimiento Productivo. De hecho, ya se defendía su aplicación desde 1954 en General Electric. Se trataba de un paso adelante respecto al Mantenimiento Preventivo, ya que abarcaba los principios de aquél más otros propios. Incluye el establecimiento de un plan de mantenimiento para toda la vida útil del equipo sin descuidar la fiabilidad (F) y la mantenibilidad (M).

Se define conocidamente que el mantenimiento es el conjunto de técnicas destinadas a conservar equipos e instalaciones en servicio durante el mayor tiempo posible, buscando la más alta disponibilidad y con el máximo rendimiento.

Anteriormente, se pensaba que tener una organización de mantenimiento dentro de la empresa era necesario, pero era un lujo muy costoso. Este punto de vista de la función de mantenimiento ignora totalmente el hecho que una adecuada gestión de la función de mantenimiento crea y mantiene un alto nivel de disponibilidad, confiabilidad y operatividad de la planta. Estos altos niveles se trasladan directamente a la capacidad de producción, productividad y así a los beneficios de la empresa.

Ya se definió el mantenimiento, el cual es una de las disciplinas que ha crecido rápidamente en el mundo industrial, pero porque se debe gestionar el mantenimiento se explica a continuación.

- Aumento de la sofisticación del equipo de producción. La revolución industrial ha iniciado una industria secundaria que esta engranada al mantenimiento de las máquinas y equipos. Luego de la segunda guerra mundial y de la invención del transistor, una nueva revolución, la revolución de la información ha comenzado una avalancha creciente en la complejidad de la tecnología.
- La necesidad de un elevado retorno de la inversión. Uno de los efectos laterales de la revolución de la información es que hay un aumento en la presión por una elevada productividad. Esto conduce a una mayor mecanización y un incremento en el tamaño de las máquinas. La investigación en los equipos de producción está aumentando con el tiempo. Por motivo de las ganancias, esto conduce a un aumento en los niveles de disponibilidad requerido por las compañías de manufactura.
- El alto costo de mantenimiento. El costo de mantenimiento como un porcentaje de los costos de producción está escalando a un ritmo alarmante como resultado del incremento de la mecanización y la sofisticación de los equipos. Dependiendo de la industria, de 15 a 50% del total (variable) del costo de producción es gastado en el mantenimiento de los equipos.
- La complejidad de la función de mantenimiento. Ninguna otra función en la industria se expande a un amplio rango de disciplinas como lo hace el mantenimiento. La gestión del mantenimiento abunda con problemas de control de materiales, compras, personal, control de calidad, finanzas, programación, diseño, proyectos de trabajo, tanto como la gestión de los procesos de falla.

Los autores del libro *Sistemas de mantenimiento, Planeación y control* definen así un sistema típico de mantenimiento:

“Un sistema de mantenimiento puede verse como un modelo sencillo de entrada-salida. Las entradas de dicho modelo son mano de obra, administración, herramientas, refacciones, equipo, etc., y la salida es un equipo funcionando, confiable y bien configurado para lograr la operación planeada de la planta. Esto nos permite optimizar los recursos para aumentar al máximo las salidas de un sistema de mantenimiento.” (Duffuaa, Raouf y Dixon 2000: 31)

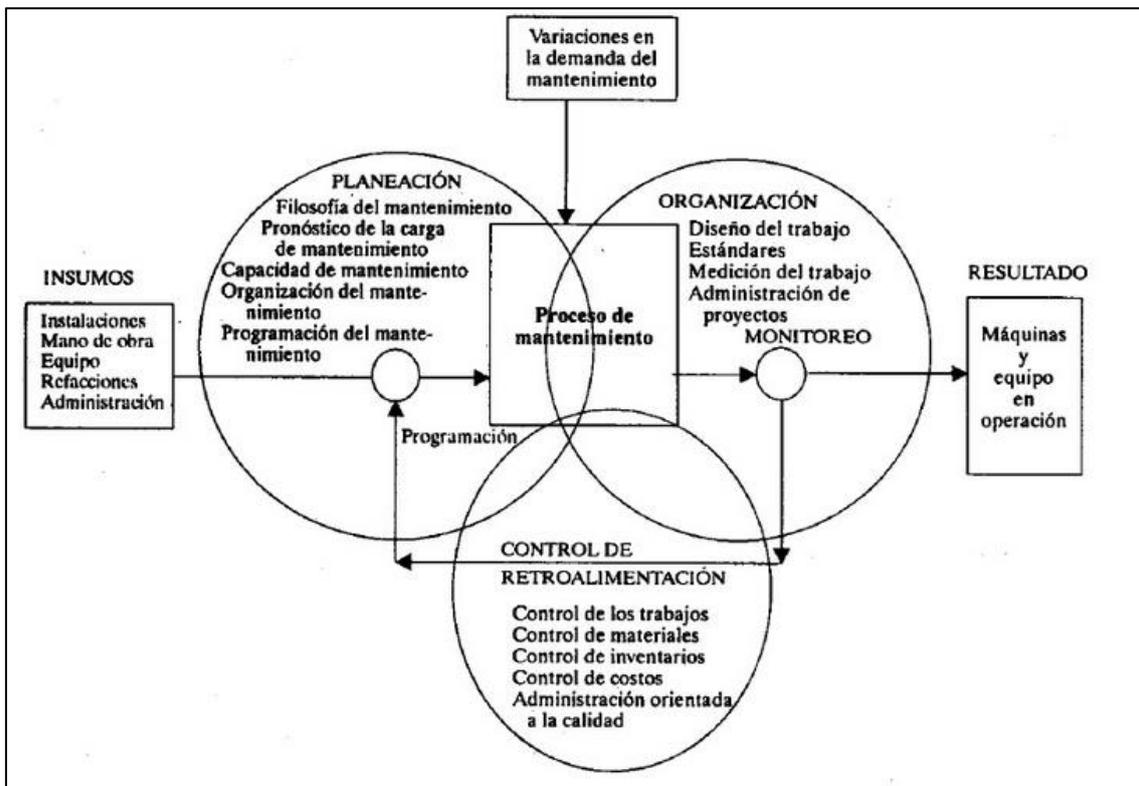


Figura 4. Sistema típico de mantenimiento

Fuente: Duffuaa, Raouf y Dixon 2000: 31

De la Figura 4, se observa que un sistema de mantenimiento se apoya en la planeación, luego en la organización y por último en el control de retroalimentación. Estos procesos de mantenimiento nos apoyan a optimizar nuestros recursos para obtener mayores resultados.

1.4.2.1 Actividades de Planeación:

Las actividades de planeación generalmente incluyen las siguientes:

- Filosofía del mantenimiento, es básicamente la de tener un nivel mínimo de personal de mantenimiento que sea consistente con la optimización de la producción y la disponibilidad de la planta sin que se comprometa la seguridad.
- Pronóstico de la carga de mantenimiento, este pronóstico es el proceso mediante el cual se predice la carga de mantenimiento. La carga de mantenimiento en una planta dada varía aleatoriamente y, entre otros factores, puede ser una función de la edad del equipo, el nivel

de su uso, la calidad del mantenimiento, factores climáticos y las destrezas de los trabajadores de mantenimiento.

- Planeación de la capacidad de mantenimiento, determina los recursos necesarios para satisfacer la demanda de trabajos de mantenimiento. Estos recursos incluyen: la mano de obra, materiales, refacciones, equipo y herramientas.
- Organización del mantenimiento, el mantenimiento se puede organizar por departamentos, por área o en forma centralizada. Cada tipo de organización tiene sus pros y sus contras.
- Programación del mantenimiento, es el proceso de asignación de recursos y personal para los trabajos que tienen que realizarse en ciertos momentos.

1.4.2.2 Actividades de Organización:

La organización de un sistema de mantenimiento incluye lo siguiente:

- Diseño del trabajo, en lo que se refiere al mantenimiento, comprende el contenido de trabajo de cada tarea y determina el método que se va a utilizar, las herramientas especiales necesarias y los trabajadores calificados requeridos.
- Estándares de tiempo, una vez que la tarea de mantenimiento ha pasado por la etapa de diseño, es básico estimar el tiempo necesario para completar el trabajo. Los estándares de tiempo realistas representan un elemento muy valioso para vigilar e incrementar la eficacia de los trabajadores y, de esta forma, reducir al mínimo el tiempo muerto de la planta.
- Administración de proyectos, en el caso de las plantas grandes, las reparaciones generales de gran envergadura o el mantenimiento preventivo que se han planeado se llevan a cabo en forma periódica. Durante estos trabajos, toda la planta o parte de ésta se detiene. Teniendo en mente la minimización del tiempo muerto, conviene planear y graficar el trabajo para hacer el mejor uso de los recursos.

1.4.2.3 Actividades de Control:

El control es una parte esencial de la administración científica. El control tal como se aplica a un sistema de mantenimiento incluye lo siguiente:

- Control de trabajos, el sistema de mantenimiento se pone en movimiento por la demanda de trabajos de mantenimiento. En la carga de trabajo de este tipo, influye sobre todo la filosofía del mantenimiento. La administración y el control del trabajo de mantenimiento son esenciales para lograr los planes. El sistema de órdenes de trabajo es la herramienta que se utiliza para controlar el trabajo de mantenimiento. Una orden de trabajo bien diseñada con un adecuado sistema de informes es el corazón del sistema de mantenimiento.
- Control de inventarios, es la técnica de mantener refacciones y materiales en los niveles deseados. Es esencial mantener un nivel óptimo de refacciones que disminuya el costo de tener el artículo en existencia y el costo en que se incurre si las refacciones no están disponibles.
- Control de costos, el costo de mantenimiento tiene muchos componentes, incluyendo el mantenimiento directo, la producción perdida, la degradación del equipo, los respaldos y los costos de mantenimiento excesivo. El control de los costos de mantenimiento es una función de la filosofía del mantenimiento, el patrón de operación, el tipo de sistema y los procedimientos y las normas adoptadas por la organización.
- Control de calidad, en el caso del trabajo de mantenimiento, es esencial “hacerlo bien la primera vez”. La calidad puede evaluarse como el porcentaje de trabajos de mantenimiento aceptados de acuerdo a la norma adoptada por la organización. Una alta calidad se asegura verificando los trabajos de mantenimiento crítico o mediante la supervisión del mantenimiento.

1.4.2.4 Estrategias de Mantenimiento

Cada vez que ocurre una falla, los efectos negativos pueden ser cualquiera desde la pérdida en las ventas, calidad, programación hasta los altos costos y amenazas a la seguridad de las personas o al medio ambiente. Algunas veces los efectos de la falla no son evidentes inmediatamente (como en el caso de la falla de los dispositivos de seguridad), pero después pueden ser la causa de una falla catastrófica múltiple.

A continuación, se explica las diferentes estrategias de mantenimiento y cuál es su lugar en el plan total de mantenimiento. Colocar varias estrategias de Mantenimiento en perspectiva es lo mejor para el entendimiento de la estructura de la estrategia de mantenimiento como se muestra en la siguiente Figura 5.

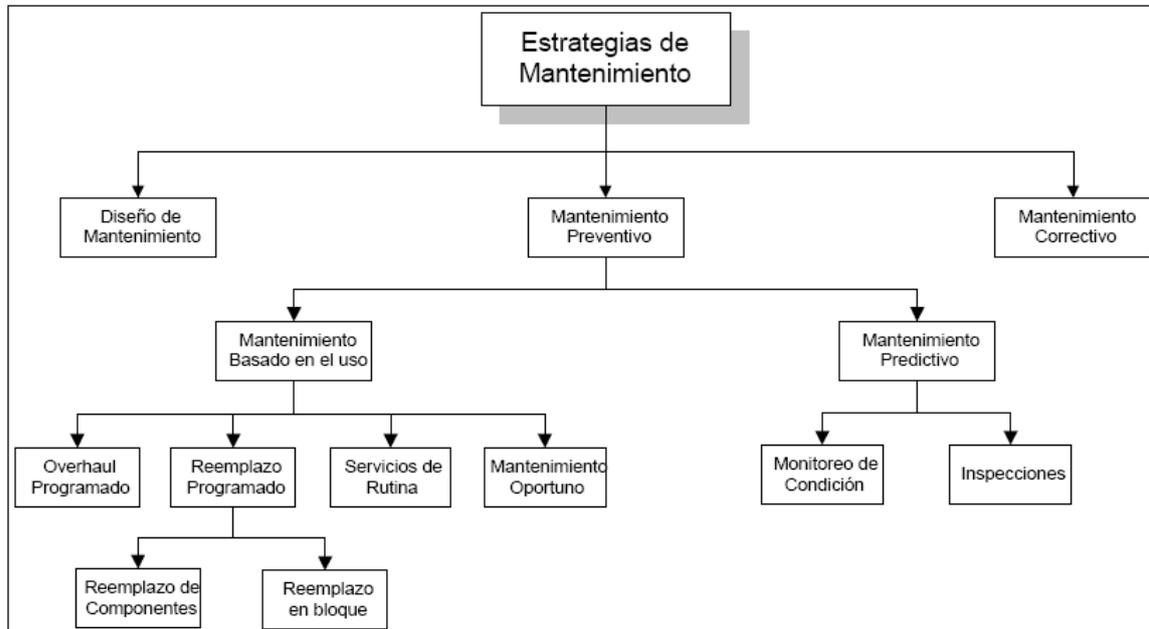


Figura 5. Estrategias de Mantenimiento

Fuente: García, Santiago 2003.

1.4.2.5 Mantenimiento Correctivo

Esta es una estrategia de “no hacer nada” o “esperar la falla”. Esta estrategia no trata de determinar completamente cuando fallará el componente (monitoreo de condición o inspección) o hacer algo para prevenir la falla antes que ocurra (basado en el uso). Este es empleado cuando no puede aplicarse otra estrategia con mejores resultados finales. El mantenimiento correctivo puede ser clasificado en las siguientes tres clases:

- Reemplazo, esta será la estrategia si la decisión fue reemplazar totalmente el componente o la unidad fallada.
- Reparación, esta será la estrategia si la decisión fue reparar el componente o unidad fallada.
- Decisión retardada, esta será la estrategia si la decisión fue un reemplazo total del componente o unidad fallada o una reparación, basada en una inspección apurada luego de la falla.

1.4.2.6 Mantenimiento Preventivo

El mantenimiento preventivo puede estar basado en el uso o basado en la condición. Todas las estrategias de Mantenimiento que apuntan a la prevención de la falla son de la clase de Mantenimiento Preventivo.

El mantenimiento basado en el uso puede a su vez dividirse en:

- Mantenimiento basado en la edad, las acciones de mantenimiento son emprendidas regularmente basadas en la edad del equipo. Ejemplos son los trabajos de mantenimiento programados basados en las horas de funcionamiento del equipo, tonelaje manejado, productos producidos, kilómetros recorridos.
- Mantenimiento basado en la fecha, las acciones de mantenimiento son emprendidas regularmente basadas en el tiempo calendario vencido, sin considerar la intensidad de la producción. Ejemplos son las paradas anuales, bi-anuales para realizar un trabajo reglamentado.

Las tareas de mantenimiento basadas en el uso pueden clasificarse en las siguientes clases:

1. Overhaul programado, la máquina o componente es completamente desmantelado y reacondicionado hasta casi tan bueno como uno nuevo.
2. Reemplazo programado, el ítem (sub-ensamble o componente) es desechado y reemplazado por una nueva unidad.
3. Servicios de rutina, la planta o máquina recibe un servicio durante el cual se hacen rutinas de chequeo, cambios de aceite y filtros, engrase y alineamiento.

El mantenimiento basado en la condición (Mantenimiento Predictivo). Este tipo de estrategia es aplicable a cualquier modo de falla donde se encuentre que es técnicamente posible y rentable, tiene un lugar especial en los casos donde el riesgo de falla (tasa de riesgo) no aumenta con la edad y el mantenimiento basado en el uso no puede ser usado en esos casos.

La condición del equipo o componente es medido a intervalos predeterminados, para detectar cuando el componente fallará. Solo luego será programado un reemplazo u overhaul.

Se pueden identificar dos tipos principales de mantenimiento basado en la condición:

1. Inspección, emplea los cinco sentidos de una persona (ingeniero, técnico, operador) para determinar la condición del equipo o componente. Esto puede incluir el uso de instrumentos que mejoran el uso de los sentidos a través de la amplificación o comparación.

2. Monitoreo de Condición, algunos parámetros son monitoreados para detectar signos de inminente falla. Ejemplo de estos son: vibración, impulso de choque, condición del aceite, emisiones acústicas, rendimiento del equipo y termografía.

1.4.2.7 Indicadores de Mantenimiento

Un sistema de procesamiento es aquel que convierte datos en información útil para tomar decisiones. Para conocer la marcha del departamento de mantenimiento, y decidir si debemos realizar cambios o determinar algún aspecto concreto, se debe definir una serie de parámetros que nos permitan evaluar los resultados que se están obteniendo en el área de mantenimiento.

Los resultados del área se obtendrán solo si se aplican los indicadores correctos para la gestión del mantenimiento. En este subcapítulo se explicará los tres principales indicadores de gestión del mantenimiento: Disponibilidad (A), Tiempo promedio entre fallas (MTBF) y el Tiempo promedio de reparación (MTTR). Con la aplicación de estos principales indicadores se podrá conocer el estado actual de la gestión del mantenimiento llevado en la empresa y poder así tomar decisiones de cambio y mejora continua.

1.4.2.8 Disponibilidad (Availability – A)

Es uno de los indicadores más importantes del mantenimiento. Es el cociente de dividir el número de horas que los equipos han estado disponibles para producir, generalmente se asumen las horas laborables de la empresa, donde excluye domingos y feriados, menos las horas por mantenimiento programado o preventivo totales y las horas por mantenimiento correctivo totales que se hayan presentado durante un intervalo de tiempo. El resultado son las horas que los equipos de planta han estado disponibles para producir (horas laborables de la empresa).

$$\text{Disponibilidad} = \frac{\text{Horas totales} - \text{Horas parada por mantenimiento}}{\text{Horas totales}}$$

Figura 6. Disponibilidad

Fuente: García 2003: 258 (Elaboración propia)

1.4.2.9 Tiempo promedio entre fallas (Mid Time Between Failure – MTBF)

Este indicador nos permite conocer la frecuencia en horas con que suceden las averías, por lo tanto de acuerdo al tipo de empresa, este indicador nos muestra un resultado positivo si entre una medida anterior y una medida actual, se tiene un aumento en el tiempo promedio entre fallas.

La aplicación de esta fórmula es el cociente de las horas totales de operación de los equipos en planta (es decir, restando las horas de mantenimiento programado y las horas de mantenimiento correctivo) y el número de paradas correctivas que se presentaron en la planta durante un intervalo de tiempo.

$$\text{MTBF} = \frac{\text{N}^\circ \text{ horas totales del periodo de tiempo analizado}}{\text{N}^\circ \text{ de averías}}$$

Figura 7. Tiempo promedio entre fallas (MTBF)

Fuente: García 2003: 258 (Elaboración propia)

1.4.2.10 Tiempo promedio de reparación (Mid Time To Repair – MTTR)

Este indicador nos permite conocer el tiempo que se toman los especialistas del área de mantenimiento en reparar una avería imprevista presentada. El indicador muestra un resultado positivo si entre una medida anterior y una medida actual, se tiene una disminución en el tiempo promedio de reparación.

$$\text{MTTR} = \frac{\text{N}^\circ \text{ horas paro por averías}}{\text{N}^\circ \text{ de averías}}$$

Figura 8. Tiempo promedio de reparación (MTTR)

Fuente: García 2003: 258 (Elaboración propia)

1.4.3 Herramientas de Calidad

Para el control estadístico de los procesos de las empresas, se tiene las siete herramientas de calidad que desde los años 60s son aplicados por los operarios, trabajadores e ingenieros de la industria japonesa. Estas herramientas son utilizadas para analizar la situación actual de un proceso, tomar decisiones y establecer acciones de mejora continua en la organización. Las siete herramientas de la calidad son: histogramas, diagramas de Pareto, diagramas de causa-efecto, hojas de verificación, estratificación, gráficas de dispersión y gráficos de control.

1.4.3.1 Histograma

Es un método gráfico que permite ordenar los datos de manera que los intervalos se encuentran en el eje horizontal y las frecuencias en el eje vertical, con ello se establecen medidas de control para la medición de la calidad de los procesos.

Este gráfico muestra la distribución de los datos que ayudan a la toma de decisiones, y su aplicación no es difícil de realizar, por lo que con esta herramienta se pueden identificar los valores que tienen mayor: frecuencia, rotación, producción, consumo, utilización, etc.

<i>Datos de una serie de muestras de concentrado de jugo de naranja</i>		
<i>Concentración comprendida entre</i>	<i>Numero de muestras</i>	<i>Porcentaje de las muestras</i>
4,0% y 4,2%	3	15%
4,2% y 4,4%	8	40%
4,4% y 4,6%	4	20%
4,6% y 4,8%	3	15%
4,8% y 5,0%	2	10%
total	20	100%

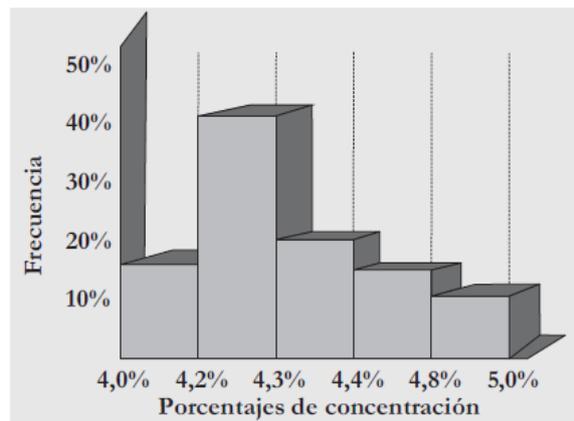


Figura 9. Ejemplo de Histograma

Fuente: Carro y Gonzáles (2012). Administración de la calidad total

1.4.3.2 Diagrama de Pareto

Es un método gráfico que es utilizado para identificar prioridades en los procesos, tal es así que también es conocido como el gráfico 80-20, que quiere decir que el 80% de los problemas proviene del 20% de las causas, con ello se establecen acciones de corrección o mejora para los procesos.

Número de accidentes en un tramo de la carretera			
Causa principal del accidente	Numero de accidentes	Porcentaje	Porcentaje acumulado
Exceso de velocidad	72	60%	60%
Peatones en la calzada	24	20%	80%
Sobrepaso prohibido	12	10%	90%
Falla técnica (frenos)	6	5%	95%
Conducir alcoholizado	4	3,3%	98,3%
Otros	2	1,7%	100%
Total	120	100%	

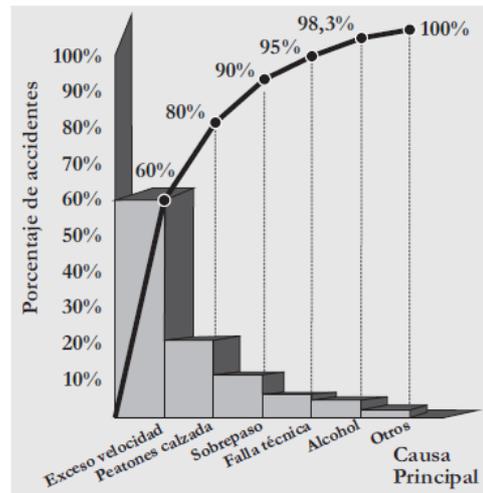


Figura 10. Ejemplo de Diagrama de Pareto

Fuente: Carro y Gonzáles (2012). Administración de la calidad total

1.4.3.3 Diagrama Causa-Efecto

También conocido como diagrama de Ishikawa o de espina de pescado, su útil y fácil aplicación, muestra una vista gráfica donde se pueden visualizar y de manera organizada, determinar las posibles causas de un problema. La visualización sistemática de las posibles causas, permiten atender con mayor exactitud el problema y garantizar el éxito de un área en específico para la mejora de la empresa.

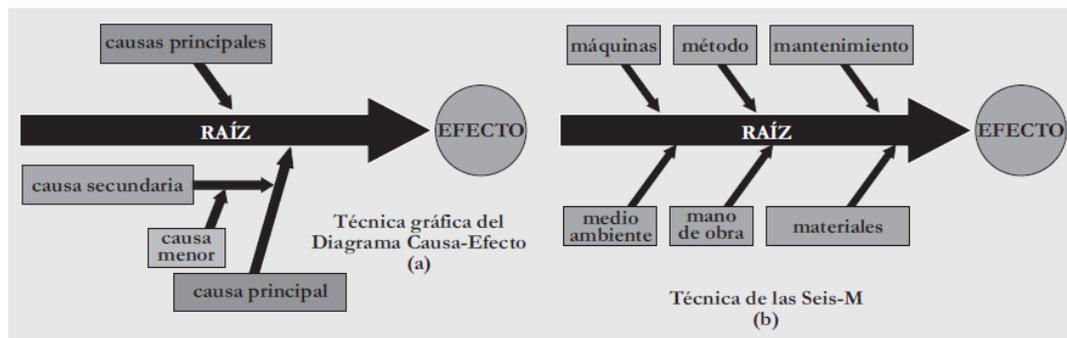


Figura 11. Ejemplo de Diagrama Causa Efecto

Fuente: Carro y Gonzáles (2012). Administración de la calidad total

1.4.3.4 Hojas de Verificación

Para el control de la calidad se debe contar con la información de manera veraz y oportuna, es decir, un método de obtención de información simple y con claridad. Para ello se utilizan las hojas de verificación o listas de verificación, es importante determinar el objetivo que

queremos obtener de la hoja de verificación para que el diseño de esta hoja no sea confuso y permita obtener datos de fácil procesamiento y que nos muestren un resultado.

ANÁLISIS DE FACTORES CLAVE										
DESTREZAS DE UNIDADES O UNITARIAS										
Utilizando Análisis de Factores Clave para lograr Metas de Rendimiento										
- MODULO 3 -										
<i>Objetivo del módulo:</i>	aplicar el análisis de los factores clave de las destrezas de unidad.									
<i>Ejercicio:</i>	destrezas de la unidad: FORMACIÓN DEL SCRUM									
<i>Objetivo:</i>	jugarlo con éxito en un partido.									
<i>Metas resultantes:</i>	¿qué hay que lograr para hacerlo con éxito en un partido?									
<i>Metas de rendimiento:</i>	¿cómo se deben ejecutar las destrezas para lograr los principios del juego?									
Formación del scrum: Metas de rendimiento - Checklist / Lista de Verificación:										
Ejercicio	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1 Meta resultante										
2 Factores clave										
1 Seleccionar de acuerdo al físico.										
2 Ensamblar rápido la primera línea a un brazo de distancia de la primera línea opuesta										
3 Unirse por sobre los hombros y tomarse de la zona de las axilas para la primera línea.										
4 Los pies abiertos al ancho de hombros.										
5 Armar el scrum completo antes de juntarse con el contrario.										
6 Formar el scrum siguiendo la secuencia de “agazaparse”-”pausa” y “formar”										
7 Coordinar el lanzamiento de la pelota con el scrum empujando hacia adelante. Tener una “llamada” para esta coordinación.										
8 Hoocear o tacear la pelota a través de las piernas del pilar izquierdo. (Nro. 1)										
9 Desplazar o canalizar la pelota hacia la derecha del Nro.8										
10 Liberarle la pelota segura al medio-scrum.										

Figura 12. Ejemplo de Hojas de Verificación

Fuente: Carro y Gonzáles (2012). Administración de la calidad total

1.4.3.5 Estratificación

Sirve para realizar una estrategia de clasificación de ciertas variables de interés. Esto generalmente ocurre cuando los datos registrados provienen de diferentes fuentes; sin embargo, son tratados igualmente sin distinción.

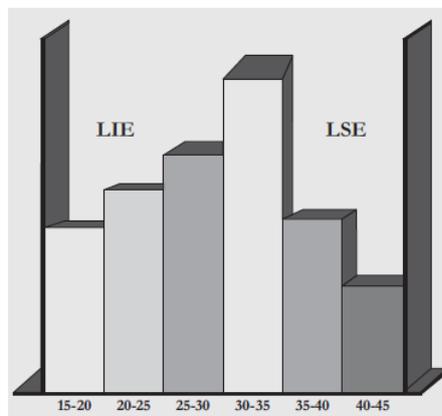


Figura 13. Ejemplo de Estratificación

Fuente: Carro y Gonzáles (2012). Administración de la calidad total

1.4.3.6 Diagramas de Dispersión

Es una representación gráfica en el que se analiza la relación entre dos factores, así mismo, esta gráfica contribuye a la validación de teorías, identificación de causas-raíz y el diseño de soluciones para los procesos. En la Figura 14 se visualiza la representación gráfica en el cual se analiza la relación entre el peso (X) y la estatura (Y) de una muestra de 60 personas.

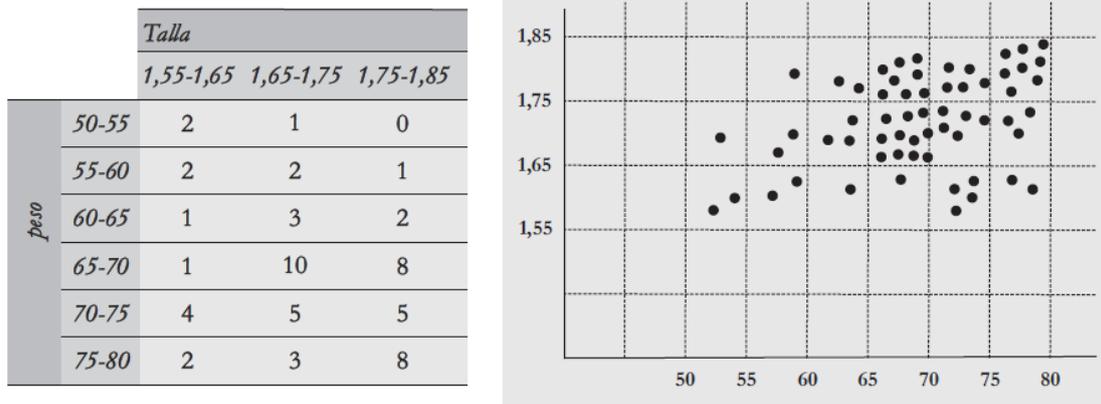


Figura 14. Ejemplo de Diagramas de Dispersión

Fuente: Carro y Gonzáles (2012). Administración de la calidad total

1.4.3.7 Gráficos de Control

Es una representación gráfica que como su mismo nombre representa es de control, el cual contiene límites superiores e inferiores, así como un valor central para la medición de los datos del proceso; también se visualiza la dispersión de los datos.

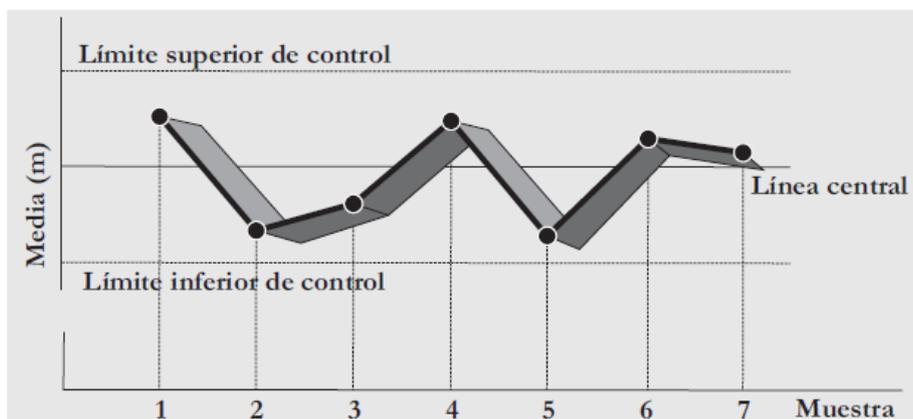


Figura 15. Ejemplo de Gráfico de Control

Fuente: Carro y Gonzáles (2012). Administración de la calidad total

1.5 Casos de Éxito de Aplicación de Metodología QC Story

- Caso de Éxito en Chile

Según Vega (2019) indica que existe un área operativa que utiliza la metodología QC Story para gestionar la mejora continua. El caso de ejemplo de éxito, es el taller de reparación de motores diésel en la planta EMS (Electro Mechanical Shop) en Santiago de Chile, que partió desde cero, con la misma metodología de su planta matriz en Japón. Luego de unos años de trabajo en el taller de reparación de motores diésel, surgieron varios reclamos de los clientes específicamente por los tiempos extensos de reparación de los motores diésel, lo que llevo a los altos ejecutivos e ingenieros del EMS de Santiago a implementar la metodología QC Story. El resultado del análisis mostró que el Tourn Around Time (T.A.T) era de 132 días en el proceso completo de reparación, tiempo que se encontraba en exceso por 72 días de los 60 días comprometidos a los clientes. El resultado final después de haber aplicado en reiteradas oportunidades la metodología QC Story, fue obtener 65 días para la reparación completa de los motores diésel. Con la aplicación de la metodología QC Story, el EMS de Santiago es un taller que opera con un estándar de clase mundial. Este taller durante su proceso de cambio y aprendizaje logró disminuir su tiempo de reparación de motores diésel en un 50% usando la metodología japonesa QC Story.

- Caso de Éxito en el Mundo

Según Vega (2019) el taller de re manufactura en la planta de Oyama en Japón es un caso de éxito. El taller de Oyama es el responsable de prestar soporte a la demanda de todo el mercado en ese país. En esta planta se corroboró el cumplimiento de los tiempos de reparación según el estándar a nivel de clase mundial, con todos los recursos listo para usar en la zona de reparación para ello, sin desviaciones en el proceso, aplicando constantemente la metodología QC Story, basado en la mejora continua, usando permanentemente el ciclo PDCA (plan-do-check-act), con la finalidad de no desviarse de los principales KPI's (Key Performance Indicator) comunicados para el cumplimiento de las reparaciones de los clientes.

- Aplicación de metodología QC Story en empresa de Lubricantes y Llantas

Según los autores Acevedo y Parodi (2004), realizaron la aplicación de la Metodología de Análisis y Solución de Problemas (MASP) o método de solución de problemas por su origen Japones "QC Story" para poder obtener el control de la calidad de una empresa de

Lubricantes y Llantas. Dentro de los objetivos del trabajo realizado es el diagnóstico de la situación de la empresa y la identificación del problema principal que afecta el sistema operativo de la empresa. El resultado final del trabajo de aplicación de la metodología QC Story es la prestación de servicios de calidad para los clientes externos. Asimismo, eficiencia de los colaboradores por la identificación de problemas dentro del proceso de la empresa que fueron solucionados. Todo ello conlleva a mayores ventas y utilidades la empresa de Lubricantes y Llantas.

- Aplicación de metodología QC Story en una empresa Alimentos

Según los autores Correa, Medina y Cruz (2011) realizan el análisis de las variables que afectan la confiabilidad de captura de datos para una empresa de Alimentos, para ello, utilizan la metodología QC Story o ruta de la calidad, la cual tiene actividades secuenciales que permiten solucionar los problemas y establecer las pautas para un mejoramiento continuo. Los autores mencionan que la ruta de la calidad, sigue la secuencia del ciclo de Deming PHVA en base a ocho pasos: definir el proyecto, describir la situación actual, análisis de los datos, establecimiento de acciones, ejecución de las acciones, verificación de los resultados, la estandarización y, la documentación y mejora continua. Los autores concluyen que la ruta de la calidad puede parecer un proceso largo para la solución a un problema, sin embargo, es la ruta más corta y segura, por lo que, para su trabajo de aplicación en una empresa de alimentos, obtuvieron una mayor confiabilidad en la captura de la información para el análisis correcto de los procesos, los cuales conllevan a eliminar reportes físicos de producción con información errónea de la empresa de alimentos.

- Aplicación de la metodología QC Story en una empresa de ensamble de vehículos

Según el autor Lerín (2003) realiza la aplicación de la metodología QC Story en una empresa de ensamble de vehículos, dado el incidente de “Rayas que aparecen en los pilares, centrales y/o delanteros, a la altura del ensamble del Check Link” detectado en los modelos Sentra, Tsubame y Tsuru. Este incidente trae como consecuencia el incumplimiento con el volumen de producción y ejecución de retrabajos. Con la aplicación de la metodología QC Story, el autor Lerín (2003) concluye que obtiene un 100% de cumplimiento del ensamble de vehículos con calidad y eliminando el problema raíz. Asimismo, el autor destaca la simplicidad de aplicación de la metodología QC Story con la cual obtiene solucionar un

problema, esto porque talvez no sea posible aplicar muchas técnicas dentro del área de trabajo, se requiere simplicidad y eficiencia.

1.6 Naturaleza de la Investigación

El presente trabajo de suficiencia profesional tiene el enfoque cuantitativo por la recolección de datos numéricos con los que se realizarán los análisis de datos para plantear alternativas de solución. Tiene un alcance exploratorio y descriptivo debido a que la metodología de solución de problemas QC Story es poco estudiado en el sector de la minería en el Perú.

El diseño de la investigación es no experimental de carácter transeccional, debido a que se realiza un análisis de datos en años específicos, del año 2015 al año 2017, queriéndose plantear una alternativa de solución frente a los problemas que se presentan en dicho periodo en la empresa minera. Asimismo, no se plantean hipótesis porque el presente trabajo de suficiencia profesional tiene un alcance descriptivo bajo un enfoque cuantitativo.

1.7 Supuestos de la Investigación

Los supuestos del trabajo de suficiencia profesional son los siguientes: (a) contar con el acceso a la base de datos de la empresa minera. A partir de esta información, se obtendrá la identificación del problema, (b) obtener acceso a la información específica relacionado al problema de la empresa del sector minería. Esta información, nos permitirá para el análisis cuantitativo del trabajo de suficiencia profesional. De no contar con la información requerida, podría conllevar a resultados no fiables, y (c) contar con el tiempo necesario para la recolección de datos, y análisis de la información, que permita finalizar el trabajo de suficiencia profesional en el plazo establecido.

1.8 Limitaciones de la Investigación

Las limitaciones del trabajo de suficiencia profesional realizado son: (a) la información tomada proviene de la base de datos de la empresa minera, (b) la empresa minera puede resistir a la entrega de información debido al destino que tendrá la información brindada (desconfianza o incertidumbre), y (c) los trabajos de suficiencia profesional con la metodología de solución de problemas en el sector minería en el Perú brindan poca información debido a que no se realizaron muchas investigaciones al respecto.

1.9 Delimitaciones de la Investigación

Las delimitaciones del presente trabajo de suficiencia profesional que se identificaron son: (a) la empresa del sector minería que se encuentra al sur del Perú, (b) la metodología de solución de problemas de la investigación se basó en la toma de información publicada por la empresa, (c) la selección y adecuación del modelo de solución de problemas QC Story se realizó considerando aquellos que se ajustaron mejor a la realidad peruana.

CAPÍTULO 2: ANÁLISIS Y DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL

En el presente capítulo se desarrolla la problemática del trabajo de suficiencia profesional; es decir el motivo por el cual es importante desarrollar la propuesta de mejora de disponibilidad en la Flota de Volquetes de una empresa minera. Con la finalidad de mantener la confidencialidad de la información no se mencionará el nombre de la empresa minera, ni de las empresas fabricantes de los motores diésel y sus características, a su vez se utilizarán nombres creados por el autor. Se inicia con la descripción de la empresa y la unidad minera 2. Luego, se describe el área de mantenimiento para posteriormente identificar el problema y por último determinar el impacto económico.

2.1 Datos de la Empresa

La empresa minera pertenece a un Grupo Mexicano de inversión, siendo uno de los más importantes en México, Perú y Estados Unidos, así mismo es uno de los principales productores de cobre en el mundo. Sus principales divisiones son: Minería, Transporte e Infraestructura.

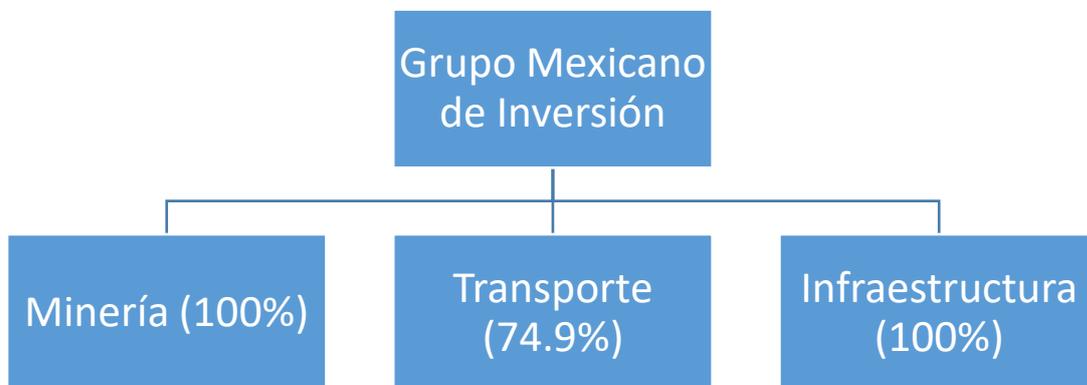


Figura 16. Principales Divisiones de Negocio del Grupo Mexicano de Inversión.

Nota: Adaptado, Elaboración propia

La empresa minera pertenece a la división Perú del grupo, y es el productor integrado de cobre más grande del país y una de las principales empresas cupríferas del mundo. Realiza

sus operaciones por más de 50 años en el sur del Perú, generando progreso, fuentes de trabajo y desarrollo sostenible en las poblaciones y comunidades de su entorno.

Su fuerza laboral está conformada por aproximadamente 6,000 trabajadores. Más de 3,700 personas componen su personal estable, que es un equipo de profesionales y técnicos de primer nivel laborando en Moquegua, Lima, Arequipa y Tacna. A ellos se suman alrededor de 2,300 contratistas permanentes y eventuales.

En la Figura 17, se muestra el organigrama que tiene la empresa en el Perú. Se inicia por el Presidente Ejecutivo, seguido se encuentra el Director General de Operaciones y finalmente se encuentran los Directores de Operaciones mineras.

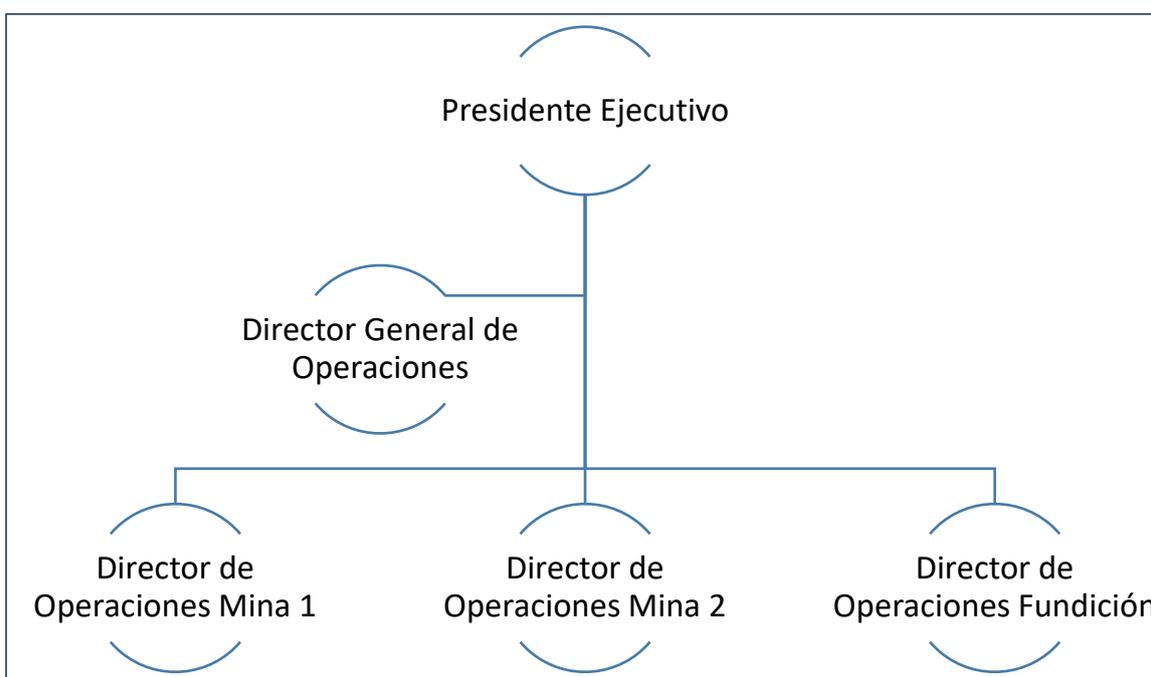


Figura 17. Organigrama de Operaciones

Fuente: Elaboración propia

2.1.1 Mina 2

En noviembre de 1976 se inauguró la Mina 2 ubicada en la región de Moquegua. El desarrollo de este yacimiento representó una inversión que superó los US\$ 727 millones. Por entonces, la mayor inversión minera realizada en el país.

La Mina 2 cuenta con reservas de 1,601 millones de toneladas de mineral, con una ley promedio de 0.56% de cobre y una ley promedio de molibdeno de 0.020%. El tajío de la mina mide 2,100 metros de ancho por 2,500 metros de largo y 840 metros de profundidad.

La Concentradora tiene una capacidad de trituración y molienda de 87 mil toneladas diarias, mientras que la Concentradora de mina 1 puede procesar hasta 120 mil toneladas al día.

El concentrado de cobre de ambas minas ubicadas en Moquegua y Tacna es enviado por ferrocarril hasta la Fundición en Ilo, ubicada en la costa del Océano Pacífico.

La mina 2 está ubicada en la provincia de Mariscal Nieto. Aquí funciona la Mina, la Concentradora y la planta de Lixiviación. En la Figura 18, se encuentra la ubicación de mina 2 en el departamento de Moquegua, al sur del Perú.



Figura 18. Mina 2 en el departamento de Moquegua

Fuente: Departamento de Moquegua

En la Figura 19, se visualiza la vista aérea de la mina 2, el cual se ubica dentro de las minas de tajo o cielo abierto, a diferencia de las minas subterráneas. El diámetro aproximado de la mina es de 1 kilómetro y su profundidad es de aproximadamente 800 metros. Y está entre los 3,150 y 3,850 m.s.n.m. Es importante mencionar que en la mina 2 se encuentra también su campamento minero, el cual cuenta con hospital, mercados, colegios y viviendas para que vivan los trabajadores junto con sus familias, lo que permite al trabajador llegar a casa y ver a sus hijos; a diferencia de otras empresas mineras que solo ofrecen el campamento minero

con habitaciones solo para el trabajador, y su familia se encuentra viviendo en otras ciudades del país.



Figura 19. Vista aérea de la Mina 2

Fuente: Reporte anual de operaciones 2017

2.2 Mantenimiento

La Dirección de Operaciones tiene a su cargo tres gerencias: la Gerencia de Operaciones Mina, la Gerencia de Operaciones Concentradora y la Gerencia de Mantenimiento. A continuación, en la Figura 20 se presenta el organigrama de la Dirección de Operaciones de la mina 2.

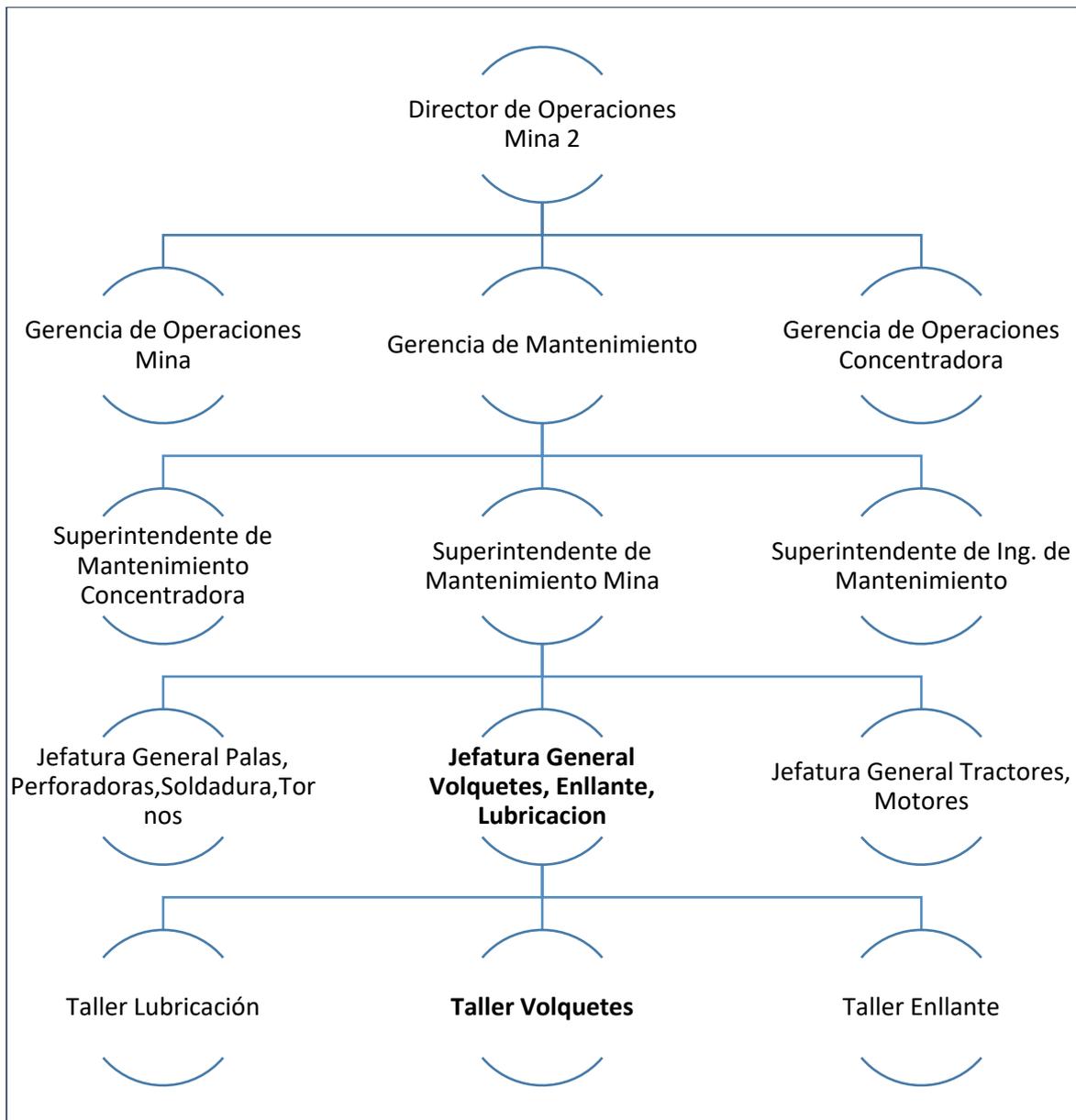


Figura 20. Organigrama de la Dirección de Operaciones Mina 2

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 20, también se visualiza en el organigrama, la ubicación del Taller de Volquetes que tiene a cargo el mantenimiento de la Flota Volquetes.

A continuación, se describe cada área de la Gerencia de Mantenimiento, la cual tiene como misión:

Asegurar la funcionalidad de los activos para las operaciones, efectuando trabajo proactivo, de seguridad para el personal, cumpliendo con la responsabilidad social y ambiental, maximizando la creación de valor para sus accionistas.

2.2.1 Superintendencia de Ingeniería de Mantenimiento

Tiene a su cargo la administración de los activos de mina, concentradora y lixiviación; así como el seguimiento y control del presupuesto de mantenimiento, enfocado en la optimización de los equipos para lograr una mejor mantenibilidad, confiabilidad y disponibilidad.

Así mismo, es parte fundamental de la administración, seguimiento y control de los gastos de capital (CAPEX) y gastos operativos (OPEX) de mantenimiento.

El departamento de mantenimiento Predictivo es el soporte de talleres y planeamiento con la inspección de equipos críticos mediante métodos como: el análisis de vibraciones, análisis de aceites y ultrasonido entre otros para los componentes.

El departamento de Confiabilidad realiza el análisis de criticidad de los equipos y utiliza el análisis causa-raíz de los eventos principales no programados de equipos, realizando reuniones de revisión y coordinación con talleres para establecer planes de mejora en conjunto.

2.2.1.1 Planeamiento de Mantenimiento Mina

Planificar y programar las actividades de mantenimiento semanal, mensual y anual de los Equipos de mina, manteniendo la funcionabilidad de los equipos con la finalidad de incrementar el tiempo promedio entre fallas y obteniendo las mayores disponibilidades de equipos, cumpliendo con las metas de producción, las reglas de seguridad y de protección del medio ambiente.

2.2.1.2 Planeamiento de Mantenimiento Concentradora

Planificar y programar las actividades de mantenimiento semanal, mensual y anual de los Equipos de planta concentradora, manteniendo la funcionabilidad de los equipos con la finalidad de incrementar el tiempo promedio entre fallas y obteniendo las mayores disponibilidades de equipos, cumpliendo con las metas de producción, las reglas de seguridad y de protección del medio ambiente.

2.2.2 Superintendencia de Mantenimiento Mina

2.2.2.1 Talleres de Palas, Perforadoras, Volquetes y Tractores

Ejecutar el programa de mantenimiento preventivo semanal, mensual y anual de los equipos de Mina, así como los cambios de componentes programados y las reparaciones correctivas; cumpliendo con los procedimientos de trabajo, los estándares de seguridad minera y

protección del medio ambiente. Asimismo, mantener la funcionabilidad de los equipos con la ejecución de las actividades con calidad y eficiencia.

2.2.2.2 Taller de Enllante

Ejecutar el programa de rotación de neumáticos de los Volquetes, Tanques de Agua, Equipo Auxiliar y Equipos livianos de Mina, así como la atención de cambio de neumáticos no programados; cumpliendo con los procedimientos de trabajo, los estándares de seguridad minera y protección del medio ambiente.

2.2.2.3 Taller de Tornos y Soldadura

Ejecutar y participar en los trabajos programados de mantenimiento preventivo semanal, mensual y anual de Palas, Perforadoras, Volquetes y Equipo Auxiliar de Mina; así como realizar las reparaciones de Tolvas de los Volquetes y Cucharones de Palas. Cumpliendo con los procedimientos de trabajo, los estándares de seguridad minera y protección del medio ambiente.

2.2.2.4 Taller de Reparación Motores

Ejecutar el programa de mantenimiento preventivo semanal, mensual y anual de la reparación de componentes mecánicos como motores diésel Caterpillar 793C, motores de tracción Komatsu 830E y 930E, mandos finales Caterpillar 793C, ruedas y cilindros hidráulicos de los Volquetes y Equipo Auxiliar de Mina; cumpliendo con los procedimientos de trabajo, los estándares de seguridad minera y protección del medio ambiente. Asimismo, mantener la funcionabilidad de los equipos con la ejecución de las actividades con calidad y eficiencia.

2.2.2.5 Taller de Electricidad Palas, Perforadoras y Volquetes

Ejecutar el programa de mantenimiento preventivo semanal, mensual y anual de los equipos de Palas, Perforadoras y Volquetes por la parte eléctrica de la Mina, así como los cambios de componentes eléctricos como motores eléctricos de giro, avance, empuje de pala Bucyrus 495HR y alternadores de potencia de volquete Komatsu 830E y 930E programados, y las reparaciones correctivas de la parte eléctrica; cumpliendo con los procedimientos de trabajo, los estándares de seguridad minera y protección del medio ambiente. Asimismo, mantener la funcionabilidad de los equipos con la ejecución de las actividades con calidad y eficiencia.

2.2.2.6 Taller de Alta Tensión

Asegurar la línea transmisión eléctrica para los equipos de: Palas Eléctricas, Perforadoras Eléctricas, equipos de bombeo, Chancadora y Overland. Ejecutar el levantamiento de lecturas y el reporte de energía mensual. Asimismo, el tendido, montaje y desmontaje de líneas de transmisión 69 kV, 34 kV 13.8 kV. Y 7.2 kV; y ejecutar pruebas eléctricas de protección eléctrica de los relés de las Subestaciones y Switch House; cumpliendo con los procedimientos de trabajo, los estándares de seguridad minera y protección del medio ambiente. Asimismo, mantener la funcionabilidad de los equipos con la ejecución de las actividades con calidad y eficiencia.

2.2.2.7 Taller de Electricidad Mina

Ejecutar el programa de mantenimiento preventivo semanal, mensual y anual de la reparación de motores eléctricos principales de Palas, Perforadoras, Volquetes y Cargadores de Mina, así como el mantenimiento eléctrico de los talleres de baja tensión; cumpliendo con los procedimientos de trabajo, los estándares de seguridad minera y protección del medio ambiente. Asimismo, mantener la funcionabilidad de los equipos con la ejecución de las actividades con calidad y eficiencia.

Equipos principales de Mina:

Los equipos a los cuales se realiza el mantenimiento en Mina son:

- TALLER PALAS Y PERFORADORAS: Palas modelos: Bucyrus 495HR, 495BII, P&H 2800XPB, 4100A+ y 4100XPC, Perforadoras modelos: P&H 120A, 320XPC, Bucyrus 49HR, 49RIII y Caterpillar MD6640.
- TALLER DE VOLQUETES: Volquetes modelos: Komatsu 830E, 930E-3, 930E-4, 930E-4SE, 980E-4; Caterpillar 793C, 793D y 797F; Cargadores Frontales Letourneau 2350II y 1800; y Tanques de Agua modelo Caterpillar 785C y 785D.
- TALLER DE TRACTORES: Tractores de ruedas Caterpillar 824H, 824K, 834H Y 834K, tractores de orugas Caterpillar D10R, D10T Y D11T, motoniveladoras Caterpillar 16M, 24H Y 24M; y cargadores frontales Caterpillar 966F, 966G, 966H, 988F, 988G, 988H, 988K Y 992K.

2.2.3 Superintendencia de Mantenimiento Concentradora

2.2.3.1 Taller Mecánico Concentradora

Ejecutar la reparación de componentes como Scoop de molinos, Bombas de concentradora, cajas reductoras, ciclones y preparativos de fajas transportadoras para su cambio y uso en planta concentradora según programa semanal, mensual o anual. Así mismo, realiza labores de mantenimiento de planta de lixiviación y apoya en labores según programa de mantenimiento semanal en Chancadoras, Molinos y Filtros según se requiera.

2.2.3.2 Taller Electricidad Concentradora

Ejecutar labores de mantenimiento y reparación de motores eléctricos de planta concentradora según programa semanal, mensual o anual y disponer para su intercambio programado.

2.2.3.3 Taller de Chancadoras-Overland

Ejecutar el mantenimiento semanal, mensual y anual (parada de planta) de los equipos de planta concentradora como chancadora primaria, secundarias, terciarias, HPGR y fajas de planta concentradora y de las fajas del Overland (mejora tecnológica).

2.2.3.4 Taller de Molinos, Flotación y Remolienda

Ejecutar el mantenimiento semanal, mensual y anual (parada de planta) de los Molinos primarios y de remolienda (cambios de forros), celdas de flotación, bombas de concentrado blowers, compresoras y reparación de tuberías en general.

2.2.3.5 Taller de Filtros Moly, Planta de Cal y Relaves

Ejecutar el mantenimiento semanal, mensual y anual (parada de planta) de Filtros Larox, Filtro FL Smith, Filtros de tambor, Fajas transportadoras, Bombas de concentrado.

Así mismo, realiza el mantenimiento y reparación de equipos varios de Planta de molibdeno, Planta de Cal, y Tanques Espesadores de Relaves, que incluyen celdas de flotación, reductores, bombas de flujo y de agua recuperada.

Equipos principales de Concentradora:

Los equipos a los cuales se realiza el mantenimiento en Planta son:

- SECCION DE CHANCADORAS- FAJA OVERLAND: Chancadora Primaria THYSSEN KRUPP 63 x 114, Fajas transportadoras de 72", 60" y 54", Chutes de

transferencias. Chancadoras Secundarias MP1000 y Chancadoras Terciarias HP700, HPGR y Zarandas.

- SECCION DE MOLINOS, FLOTACION, REMOLIENDA: Molinos Allis Chalmers, Molinos Svedala, Celdas de flotación OK100 y OK160, Ciclonas Krebs, Bombas Svedala Bombas GIW, Bombas Denver y Fajas transportadoras de 36”.
- SECCION DE FILTROS, MOLIBDENO Y RELAVES: Filtro Prensa Larox, Filtro Prensa Dorr Oliver, Filtros de tambor Eimco, Celdas de flotación, Secadores Holoflyte, Tanques Espesadores 141 ft y 430 ft, Bombas Denver, Bombas de agua recuperada y Bombas Wilfley.

2.3 Taller Volquetes

El área de mantenimiento del taller Volquetes se encuentra bajo la Superintendencia de Mantenimiento Mina. Como se visualiza en la Tabla 1, el taller está compuesto por 52 personas, entre las que se encuentran: la jefatura del taller teniendo el cargo de funcionarios, los supervisores de taller teniendo el cargo de empleados y los mecánicos del taller divididos en siete grupos de trabajo.

Tabla 1
Personal de taller volquetes

CARGO	CANTIDAD
Funcionarios	2
Empleados	5
Mecánicos	45
TOTAL	52

Nota: Elaboración propia

El taller de Volquetes tiene a cargo la ejecución del mantenimiento preventivo y correctivo de 35 equipos, que son: 27 volquetes para el acarreo del mineral, 4 tanques de agua para la mitigación de polvo en vías de la mina, 2 remolcadores que son utilizados para el traslado de equipos como perforadoras y tractores, así como remolque de volquete en caso de falla, y 2 cargadores de mineral que son utilizados para también el carguío de mineral o desbroce. En la Tabla 2, se muestra la lista de flota de equipos que se encuentran bajo el mantenimiento del taller Volquetes. A continuación, se realizará la descripción de la Flota de Volquetes 930E que es objeto de investigación en el presente trabajo de suficiencia profesional.

Tabla 2
Flota volquetes de Mina

TIPO	MODELO	CANTIDAD
Volquete	830E	4
Volquete	930E	15
Volquete	930E4-SE	2
Volquete	980E	4
Volquete	793D	2
Tanque de Agua	785C/D	4
Remolcador	793C	2
Cargador	LT2350	1
Cargador	LT1800	1

Nota: Elaboración propia

En la Figura 21, se presenta el diagrama de flujo del taller Volquetes, el cual realiza dos tipos de mantenimiento: preventivo y correctivo. El mantenimiento preventivo se programa a través del área de Planeamiento de Mantenimiento y es ejecutado por el taller de Volquetes. El mantenimiento correctivo es un evento no programado por lo que el taller apertura una orden de mantenimiento en el sistema SAP y realiza la ejecución de la tarea correctiva.

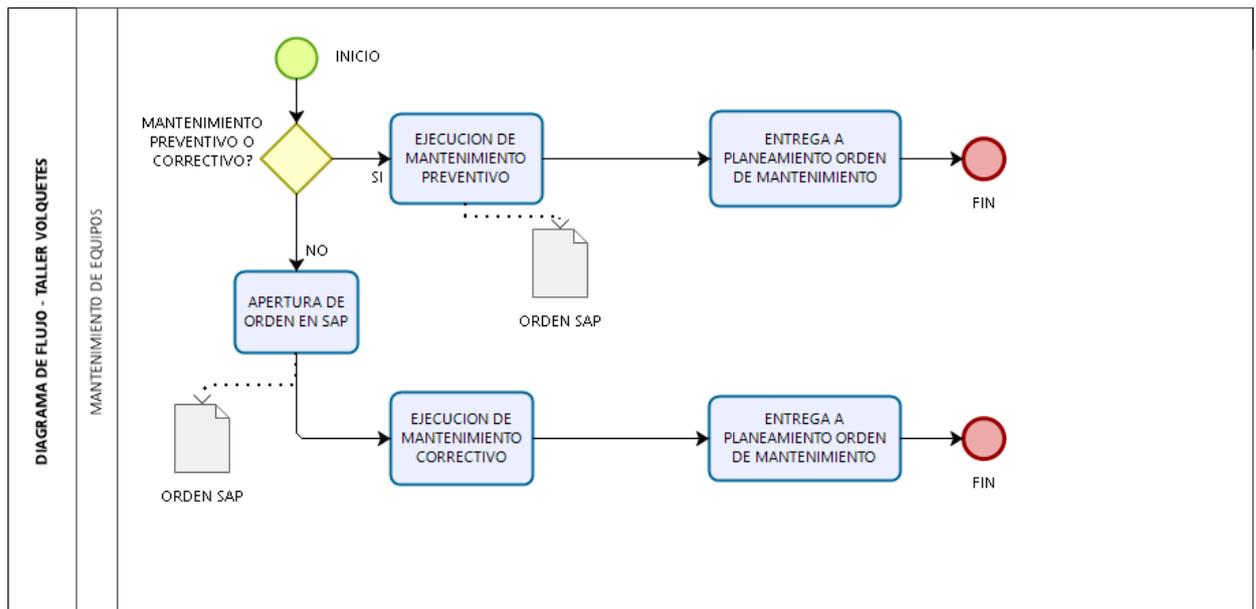


Figura 21. Diagrama de Flujo del Taller Volquetes

Fuente: Elaboración propia

2.3.1 Descripción del Volquete 930E

La minería en el Perú tiene como equipo de traslado o acarreo de mineral principalmente al volquete de llantas, siendo estos de transmisión mecánica o eléctrica. El presente trabajo de tesis de suficiencia profesional se centra en el volquete de transmisión eléctrica de modelo 930E, el cual viene instalado con el motor diésel marca Commins modelo QSP60. A continuación, se describirá el volquete de modelo 930E.

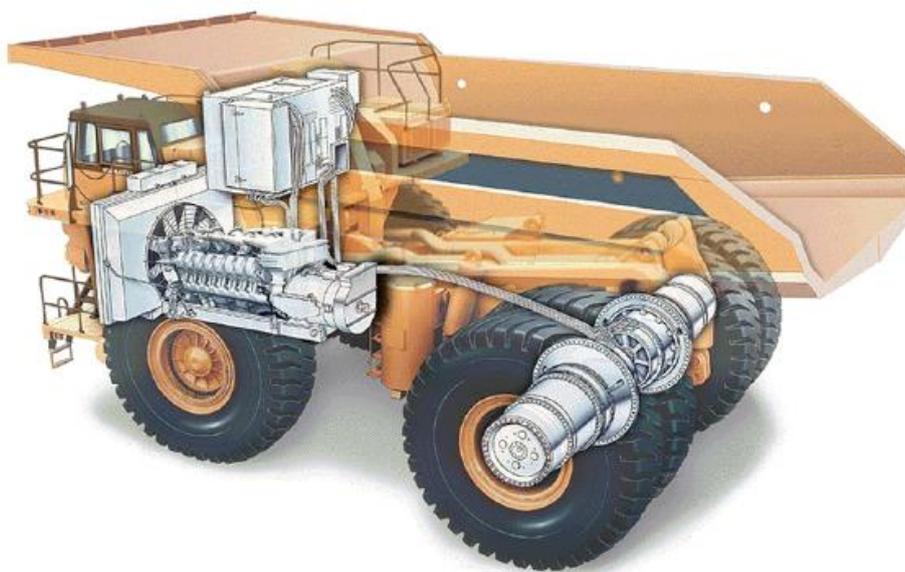


Figura 22. Volquete 930E

Fuente: Manual de operación y mantenimiento 930E

Como partes principales del volquete modelo 930E de la Figura 22, se tiene al motor diésel marca Commins modelo QSP60 como generador de energía que es transmitida al alternador de potencia y que este alimenta a los motores eléctricos de propulsión posterior izquierdo y derecho que a su vez transmiten giro a los mandos de tracción mecánico que se encuentran en las llantas posteriores. El Volquete tiene un peso en vacío de 210,000 kilogramos y una capacidad de carga útil de 290,000 kilogramos, siendo su peso bruto total de aproximadamente 500,000 kilogramos. Adicional a ello, el volquete lleva 6 llantas de medida 53/80R63, y cada llanta tiene un peso de 4,500 kilogramos, una altura de 4 metros y un costo unitario de aproximadamente \$ 40,000.

El volquete 930E llega de fábrica y es puesto en marcha con el motor diésel Commins modelo QSP60 de 2,700 HP y tiene un peso de 9,608 kg. El periodo de vida útil del motor diésel Commins QSP60 es de 72,000 horas, dentro de los cuales se realizan tres reparaciones generales de motor cada 18,000 horas. Asimismo, también se tiene el motor diésel marca

MTA modelo 16T4000 que se ha instalado en los volquetes 930E, este motor diésel tiene una vida útil de 60,000 horas, dentro de los cuales se realizan tres reparaciones generales de motor cada 15,000 horas. Al 31 de diciembre del año 2015 se tiene que 4 volquetes tienen motor diésel MTA 16T4000 y 11 volquetes tienen motor diésel Commins QSP60 en la flota de volquetes 930E

En la Figura 23, se tienen las dimensiones del Volquete 930E, el cual tiene un largo de 15,6 metros, una altura de 7,5 metros y un ancho de 8.7 metros.

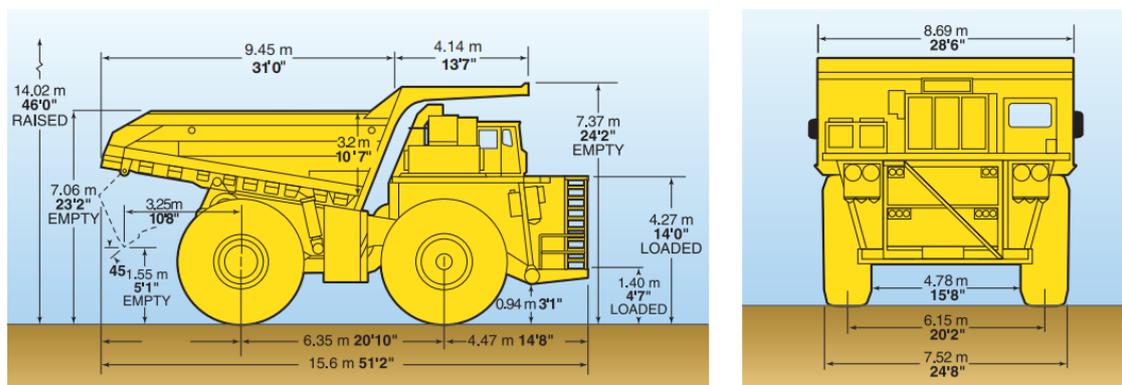


Figura 23. Dimensiones de Volquete 930E

Fuente: Manual de operación y mantenimiento 930E

Como se mencionó anteriormente, este Volquete 930E viene instalado con el motor diésel marca Commins modelo QSP60. Este motor diésel tiene 16 cilindros y tiene una cilindrada total de 60 litros, que alcanza una potencia de 2700 HP. En la Figura 24, se presenta gráficamente el motor diésel marca Commins de modelo QSP60.

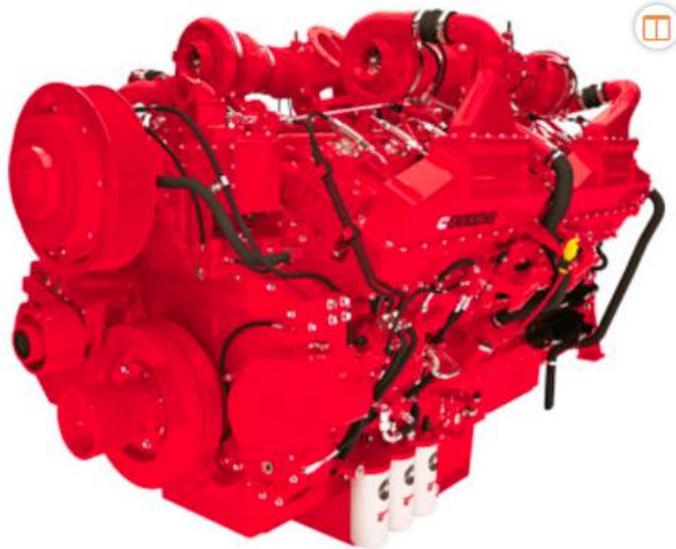


Figura 24. Motor diésel Commins QSP60

Fuente: Manual de mantenimiento motor diésel Commins QSP60

Alternativamente en el mercado se encuentra el motor diésel de marca alemana MTA que sus siglas traducidas al español significan “Unión Fabricante de Motores y Turbinas”. Este motor diésel de modelo 16T4000 al igual que el motor diésel Commins tiene 16 cilindros y cada cilindro tiene un volumen de 4 litros. En la Figura 25, se tiene la representación gráfica del motor diésel MTA 16T4000.

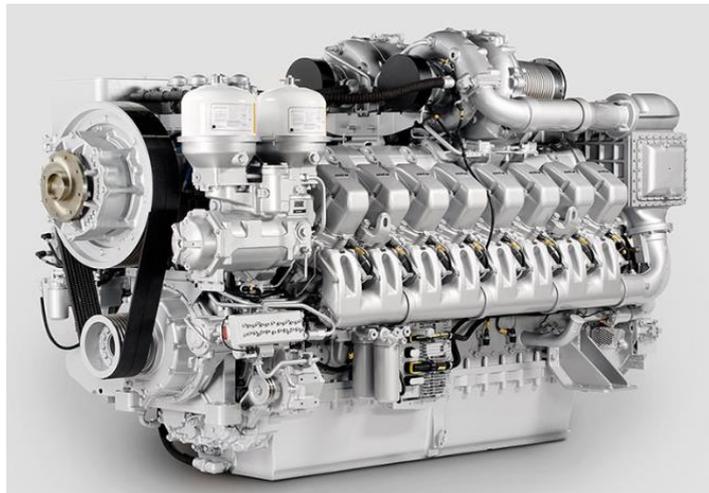


Figura 25. Motor diésel MTA 16T4000

Fuente: Manual de mantenimiento motor diésel MTA 16T4000

2.4 Identificación del Problema

El taller de mantenimiento Volquetes de la mina 2 tiene a cargo la flota de Volquetes 930E, la cual está conformada por 15 unidades que se detallan en la Tabla 3. El volquete de marca 930E tiene una capacidad de carga útil de 290 toneladas métricas y un peso del volquete vacío de 210 toneladas, haciendo un peso bruto del volquete de 500 toneladas métricas; asimismo alcanza una velocidad máxima de 64.5 km/hr o 40 mph.

Tabla 3
Flota volquetes 930E

EQUIPO	COSTO EQUIPO	AÑO INICIO
VQC100	\$ 2,336,903.00	2005
VQC101	\$ 2,336,903.00	2005
VQC102	\$ 2,570,593.00	2005
VQC103	\$ 2,336,903.00	2006
VQC104	\$ 2,336,903.00	2006
VQC105	\$ 2,570,593.00	2006
VQC106	\$ 2,983,226.00	2007
VQC107	\$ 2,983,226.00	2010
VQC108	\$ 2,983,226.00	2010
VQC109	\$ 2,983,226.00	2010
VQC110	\$ 2,983,226.00	2010
VQC111	\$ 3,377,107.00	2010
VQC112	\$ 3,377,107.00	2010
VQC113	\$ 3,377,107.00	2010
VQC114	\$ 3,377,107.00	2010

Nota: Datos al 31 de diciembre 2015. Elaboración propia.

Las principales actividades de mantenimiento que se realizan en el Volquete 930E son: cambios de motor diésel, cambios de componentes hidráulicos como bombas y cilindros, y finalmente cambios de los mandos de tracción mecánico posteriores.

En la Tabla 4, se muestra la información de los cambios de motor diésel de marca Commins QSP60 en los años 2015 y 2016 de la flota de Volquetes 930E, habiéndose realizado 8 cambios de motor diésel no programados por falla en cada año, lo que generó un total de horas de parada de la flota de 732 en el año 2015 y 619 en el año 2016.

Asimismo, estos cambios de motor diésel no programados generaron una disminución de la disponibilidad de la flota de Volquetes 930E de 0.6% y 0.5% en los años 2015 y 2016 respectivamente.

Tabla 4
Cambios de motor diésel Commins QSP60 años 2015 y 2016

Ítem	Fecha de Cambio (DD/MM/AÑO)	TIPO	N/S Motor Diésel	Equipo	Horas Parciales	Horas Acumuladas	TIEMPO DE CAMBIO DE MOTOR DIESEL	TIPO	CAUSA
2016									
1	10/11/2016	QSP60	MOVQ33161863	VQC102	6837	62323	46	NO PROGRAMADO	EJE LEVAS
2	01/07/2016	QSP60	MOVQ33180923	VQC106	1968	27149	63	NO PROGRAMADO	CATASTROFICA
3	01/06/2016	QSP60	MOVQ33201531	VQC114	7991	7991	59	PROGRAMADO	ALQUILER
4	13/04/2016	QSP60	MOVQ33167948	VQC105	16160	52982	95	NO PROGRAMADO	BLOWBY ALTO
5	09/04/2016	QSP60	MOVQ33188085	VQC107	16642	16642	93	NO PROGRAMADO	BLOWBY ALTO
6	06/04/2016	QSP60	MOVQ33180704	VQC103	3520	29626	84	NO PROGRAMADO	BLOWBY ALTO
7	19/03/2016	QSP60	MOVQ33160186	VQC106	8320	55354	77	NO PROGRAMADO	FUGA
8	25/01/2016	QSP60	MOVQ33161469	VQC112	16491	56322	89	NO PROGRAMADO	MODI
9	09/01/2016	QSP60	MOVQ33179341	VQC109	12540	37179	72	NO PROGRAMADO	BLOWBY ALTO
2015									
1	10/01/2015	QSP60	MOVQ33161863	VQC103	16457	55697	105	NO PROGRAMADO	METALES BANCADA
2	02/12/2015	QSP60	MOVQ33175608	VQC111	3203	8976	66	NO PROGRAMADO	CATASTROFICA
3	05/11/2015	QSP60	MOVQ33179346	VQC102	16894	36377	54	PROGRAMADO	HORAS
4	17/09/2015	QSP60	MOVQ33169925	VQC103	8227	8227	63	PROGRAMADO	ALQUILER
5	09/09/2015	QSP60	MOVQ33180852	VQC113	6543	27951	78	NO PROGRAMADO	METALES BANCADA
6	30/05/2015	QSP60	MOVQ33180923	VQC111	8495	25061	81	NO PROGRAMADO	BLOWBY ALTO
7	18/05/2015	QSP60	MOVQ33179375	VQC108	15128	33790	84	NO PROGRAMADO	CIGÜEÑAL
8	07/04/2015	QSP60	MOVQ33156110	VQC110	14795	63974	69	NO PROGRAMADO	BLOWBY ALTO
9	01/04/2015	QSP60	MOVQ33180922	VQC114	8264	26899	79	NO PROGRAMADO	BLOWBY ALTO
10	14/03/2015	QSP60	MOVQ33179391	VQC104	6516	27376	170	NO PROGRAMADO	CIGÜEÑAL

Nota: Elaboración propia.

2.5 Impacto Económico

El área de Operaciones de la Mina 2 desarrolla anualmente una valorización del costo de pérdida por hora de volquete sin producir. Con ello, se valorizará el impacto económico por las fallas de motor diésel en la flota de Volquetes 930E. En la Tabla 5, se muestra que para la flota de Volquetes 930E se tiene un costo pérdida por hora de \$ 646 para el año 2017. Este valor es la multiplicación de la cantidad libras de cobre fino producido en 1 hora por el factor de margen de ganancia final en dólares por libra de cobre (Cu).

Tabla 5
Costo pérdida por equipo parado

KOM 930	TONELAJE
Produccion perdida (t)	500
Relación Desbroce (D/M) - Plan Turno	3.79
Acarreo Mineral (t)	104
Ley Cu (%) - Plan Turno	0.61
Recuperación Conc. (%)	87.4%
Recuperación Fund. (%)	97.4%
Recuperación Refin. (%)	99.9%
Toneladas de Cobre Fino (t)	0.54
Libras de Cobre Fino (Lb)	1,196
Margen de Ganancia Final - US\$ / Lb de Cu	0.540
Perdida (US\$) / Hora	646

Nota: Datos correspondientes del año 2017 – Operaciones mina 2.

En la Tabla 6, se muestra la valorización del tiempo de parada por los cambios de motor diésel no programados en los años 2015 y 2016, lo que generó tener menos tiempo para el movimiento de mineral e involucró tener un costo pérdida total de \$ 872,746 para la flota de Volquetes 930E.

Tabla 6
Costo pérdida por cambios de motor diésel años 2015 y 2016

AÑO	HORAS	COSTO	SUBTOTAL
2015	732	\$ 646	\$ 472,872
2016	619	\$ 646	\$ 399,874
		TOTAL	\$ 872,746

Nota: Elaboración propia.

Basado en los datos presentados, se propondrá una alternativa de solución en el capítulo 3 para el presente trabajo de suficiencia profesional utilizando las herramientas de ingeniería industrial con la finalidad de incrementar la disponibilidad en la flota de volquetes 930E de la unidad minera.

CAPÍTULO 3: VALIDACIÓN DE LA PROPUESTA DE SOLUCIÓN

En el tercer capítulo se desarrollan las validaciones técnica y económica de la propuesta de solución para la problemática del presente trabajo de suficiencia profesional; con la propuesta se busca eliminar la causa, por lo tanto, mejorar la disponibilidad de la flota Volquetes 930E de la empresa minera. Se empezará por la validación técnica, para finalmente desarrollar la validación económica.

3.1 Validación Técnica

Para la validación técnica del presente trabajo de suficiencia profesional, se aplicarán los ocho pasos del método de solución de problemas a través de la herramienta del ciclo de mejora continua PDCA o círculo de Deming. A continuación, se iniciará con el punto del Plan que incluye: definición del proyecto, análisis de la situación actual, análisis de causas potenciales y la planificación de la solución.

3.1.1 Definición del proyecto

En minería, la disponibilidad está referida a un factor de tiempo de operatividad de los equipos que el área de mantenimiento entrega al área de operaciones mina. En este proyecto de tesis de suficiencia profesional se trata específicamente de la disponibilidad de la flota de Volquetes.

Por la identificación del problema desarrollado en el capítulo 2 de los cambios de motor diésel Commins QSP60 no programados por falla, la definición del proyecto es la aplicación de las herramientas de ingeniería industrial con la evaluación técnica y económica para desarrollar una propuesta de solución que mejore la disponibilidad de la flota de volquetes de una empresa minera.

Con ello, se busca obtener el mayor número de disponibilidad de la flota de volquetes 930E para ofrecer más tiempo de operatividad tanto para el acarreo de mineral como para el desbroce.

3.1.2 Análisis de la situación actual

La empresa minera para el registro de las detenciones de los equipos utiliza el programa Minet Ops, en el cual se detallan los motivos y tiempos de cada detención del equipo. La utilización de esta información es fundamental para el análisis y desarrollo del presente trabajo de suficiencia profesional.

En la Tabla 7, se muestra la cantidad de horas de parada de la flota 930E por tipos de mantenimiento que afectan su disponibilidad. Cabe destacar que están bajo la responsabilidad del área del taller de mantenimiento Volquetes.

Tabla 7
Cuadro de paradas de mantenimiento

CUADRO DE PARADAS POR TIPO DE MANTENIMIENTO FLOTA 930E (HORAS)						
AÑO	Mecánica	Mantenimiento Preventivo	Eléctrica	Servicio	Enllante	Soldadura
2015	6128	2872	2567	1716	1572	387
2016	4705	3319	2055	1592	1508	396
2017	4764	3310	2091	1537	1149	379
Total	15597	9501	6712	4846	4230	1162

Nota: Elaboración propia.

A continuación, se describe cada tipo de mantenimiento:

- Mecánica: Se refiere a todas las paradas no programadas relacionadas a la parte mecánica, como sistemas hidráulicos, neumáticos y motor diésel.
- Mantenimiento Preventivo: Se refiere a todas las paradas programadas del equipo, como el mantenimiento de cambio de aceites de motor, filtros y cambio de componentes hidráulicos.
- Eléctrica: Se refiere a todas las paradas no programadas relacionadas a la parte eléctrica, como tarjetas de control y luces del equipo.
- Servicio: Se refiere a todas las paradas por llenado de combustible de los volquetes y que son atribuidas a mantenimiento.
- Enllante: Se refiere a todas las paradas programadas y no programadas por cambio y emparejamiento de llantas.
- Soldadura: Se refiere a todas las paradas no programadas por actividades relacionadas a reparación por soldadura, como reparación de tolva y chasis.

Para profundizar, en la figura 26 se muestra el diagrama de Pareto de los tipos de mantenimiento que afectan a la disponibilidad con los datos de horas de los años 2015, 2016 y 2017. Se obtiene que la categoría mecánica es la que más afecta a la disponibilidad de flota Volquetes 930E, porque tiene 15,597 horas por detenciones mecánicas, lo que representa un 37% del total de paradas. Por lo tanto, se procederá analizar las detenciones por categoría mecánica de cada año.

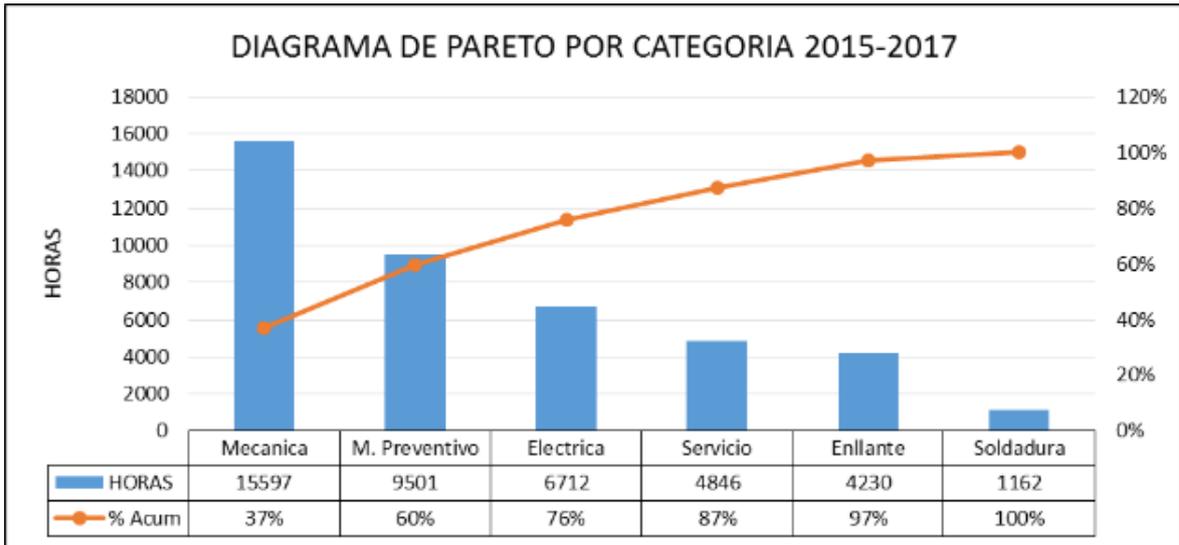


Figura 26. Diagrama de Pareto de categorías 2015-2017

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 27, se tiene el diagrama de Pareto por tipo de mantenimiento correspondiente al año 2015 de la flota Volquetes 930E. Como se mencionó anteriormente, el tipo de mantenimiento que tiene mayor valor es el mecánico, para ese año representó un 40% que corresponde a 6,128 horas.

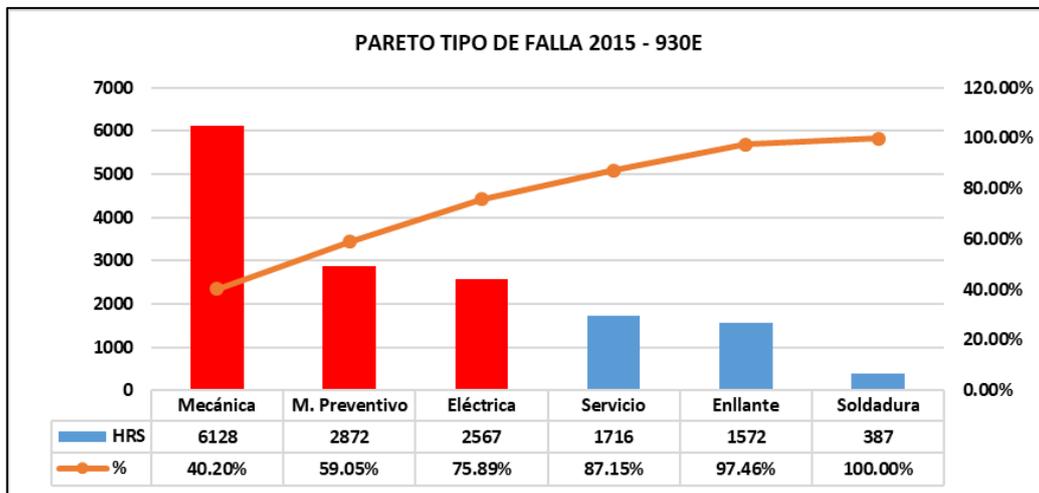


Figura 27. Diagrama de Pareto de categorías 2015

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 28, se realiza el histograma de los datos del tipo mecánico del año 2015, se revisa a detalle las paradas. De las 6,128 horas de paradas por tipo mecánico, corresponden 906 horas (15%) de parada por motor diésel Commins QSP60 y 124 horas (2%) de parada

por motor diésel MTA. Se encuentra que el 15% de las paradas por falla mecánica son del motor diésel Commins.

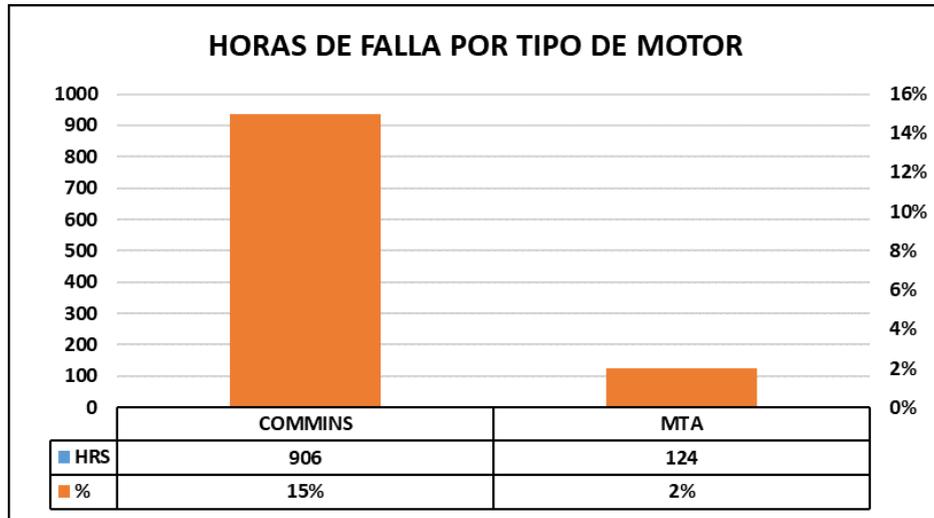


Figura 28. Horas de parada por motor diésel 2015

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 29, se tiene el diagrama de Pareto por tipo de mantenimiento correspondiente al año 2016 de la flota Volquetes 930E. El tipo de mantenimiento que tiene mayor valor es el mecánico, para ese año representó un 35% que corresponde a 4,705 horas.

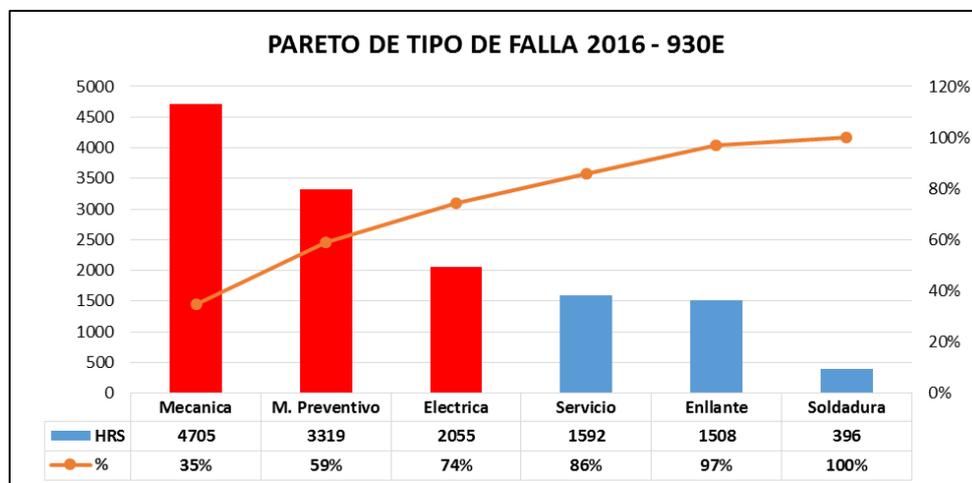


Figura 29. Diagrama de Pareto de categorías 2016

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 30, se realiza el histograma de los datos del tipo mecánico del año 2016, se revisa a detalle las paradas. De las 4,705 horas de paradas por categoría mecánica, corresponden 1,649 horas (35%) de parada por motor diésel Commins QSP60 y 500 horas

(11%) de parada por motor diésel MTA. Se encuentra que el 35% de las paradas por falla mecánica son del motor diésel Commins.

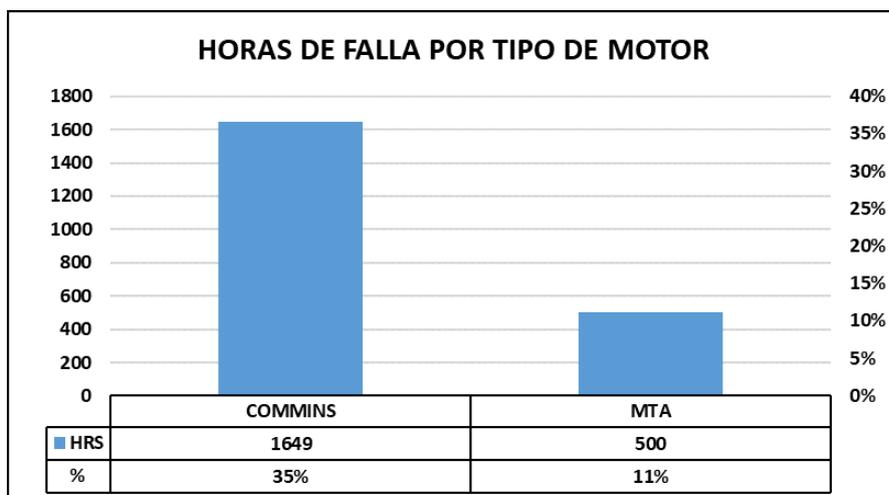


Figura 30. Horas de parada por motor diésel 2016

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 31, se tiene el diagrama de Pareto por tipo de mantenimiento correspondiente al año 2017 de la flota Volquetes 930E. Como se mencionó anteriormente, el tipo de mantenimiento que tiene mayor valor es el mecánico, para ese año representó un 36% que corresponde a 4,764 horas.

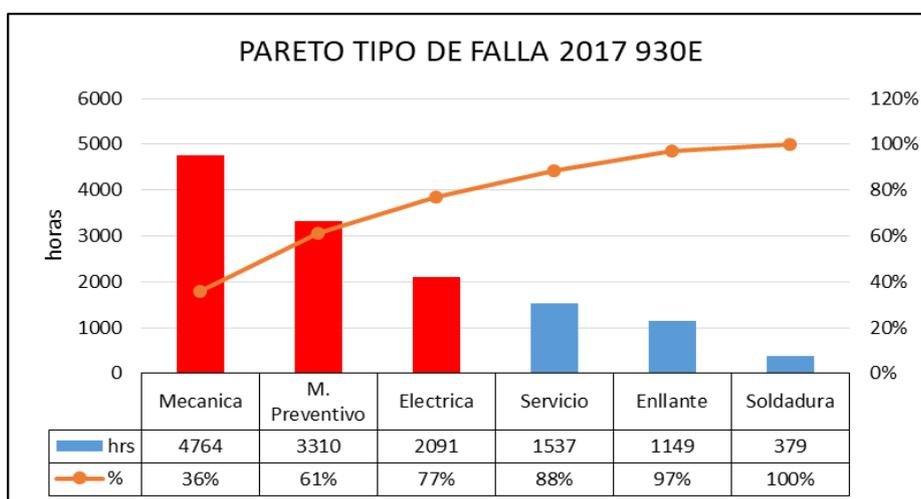


Figura 31. Diagrama de Pareto de categorías 2017

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 32, se realiza el histograma de los datos del tipo de mecánico del año 2017, se revisa a detalle las paradas. De las 4,764 horas de paradas por categoría mecánica,

corresponden 1,118 horas (23%) de parada por motor diésel Commins QSP60 y 646 horas (14%) de parada por motor diésel MTA. Se encuentra que el 23% de las paradas por falla mecánica son del motor diésel Commins.

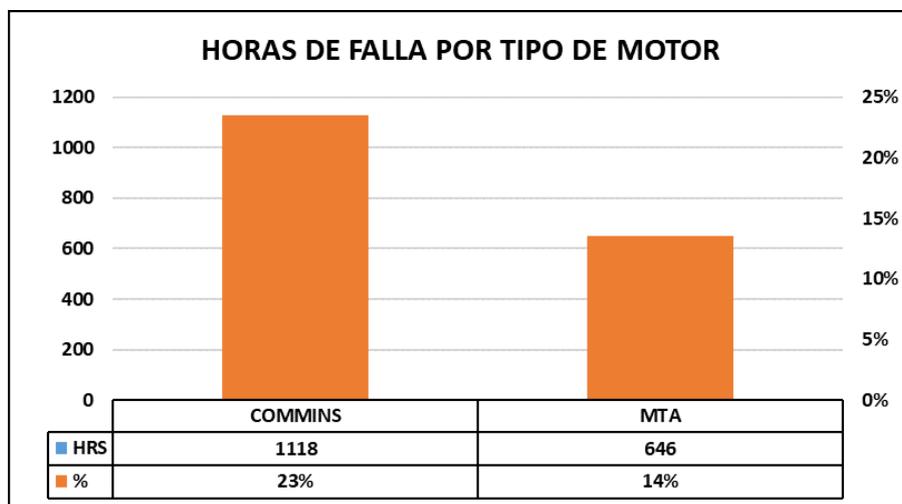


Figura 32. Horas de parada por motor diésel 2017

Fuente: Elaboración propia.

En base a la información presentada, se concluye que el tipo de mantenimiento que más afecta la disponibilidad de la Flota de Volquetes 930E es el tipo mecánico. Asimismo, son mayores las horas de paradas por falla del motor diésel Commins QSP60 que corresponden al tipo de mantenimiento mecánico en los años 2015, 2016 y 2017.

3.1.3 Análisis de causas potenciales

Para determinar las causas por las que se obtienen paradas que afectan la disponibilidad de la Flota de Volquetes 930E, se realizó una tormenta de ideas de las causas fundamentales más probables en base al método de las 6 m del diagrama de Ishikawa o diagrama causa-efecto. En la Tabla 8 se muestran las causas más probables en base a los datos recopilados y se estratificó según las 6 m: medio ambiente, medida, materia prima, mano de obra, método y máquina.

El medio ambiente se refiere al entorno con el que se realizan las actividades y para el presente trabajo se relaciona con el entorno del taller de volquetes. La medida se refiere a las actividades de control que se realizan para evitar errores en el proceso, para este trabajo se relaciona con las actividades de control para los mantenimientos programados de los motores diésel. La materia prima se refiere a los insumos que se utilizan para el producto o servicio, para este caso se relaciona con todos los materiales utilizados en los

mantenimientos de los motores diésel. La mano de obra se refiere al personal que ejecuta las actividades, para este caso se relaciona con los mecánicos del taller de volquetes. El método se refiere al proceso para desarrollar las actividades. Y la máquina se refiere a los equipos utilizados para desarrollar las actividades, para el presente trabajo se relaciona con los motores diésel de los volquetes de la Flota 930E.

Tabla 8
Selección de las causas más probables

Causa Fundamental	Motivo	Conclusión
Medio Ambiente		
1.- Falta de orden y limpieza en el taller de mantenimiento Volquetes.	Se realiza orden y limpieza para la realización de los mantenimientos.	Poco probable
Medida		
1.- Falta de programa de control de mantenimiento de los motores diésel	El área de planeamiento realiza seguimiento a las actividades de mantenimiento de los motores diésel.	Poco probable
Materia Prima		
1.- Filtros y repuestos para mantenimiento de los motores diésel en mal estado.	No hay registro de reclamos de garantía por defectos en los insumos para los mantenimientos.	Poco probable
Mano de Obra		
1.- Personal no especializado en mantenimiento de motores diésel	El personal ha pasado evaluación técnica y tiene experiencia en mantenimiento de motores diésel y equipo pesado.	Poco probable
2.- Falta de programa de capacitación para el personal de mantenimiento	Se realiza capacitación anual en mantenimiento y operación de equipos a los trabajadores	Poco probable
Método		
1.- Ausencia de proceso para la realización de mantenimiento de los motores diésel	Existen procesos definidos para la realización de los mantenimientos.	Poco probable
Máquina		
1.- Se presentan fallas en los motores diésel de la Flota 930E.	Se realizan cambios de motor diésel por falla en la marca Commins.	Probable

Nota: Elaboración propia.

En la Figura 33, con el diagrama causa-efecto se resume el trabajo realizado de las causas más probables y se indica dónde está ubicada la causa fundamental probable, que es el factor máquina que ocasiona la baja disponibilidad en la Flota de Volquetes 930E.

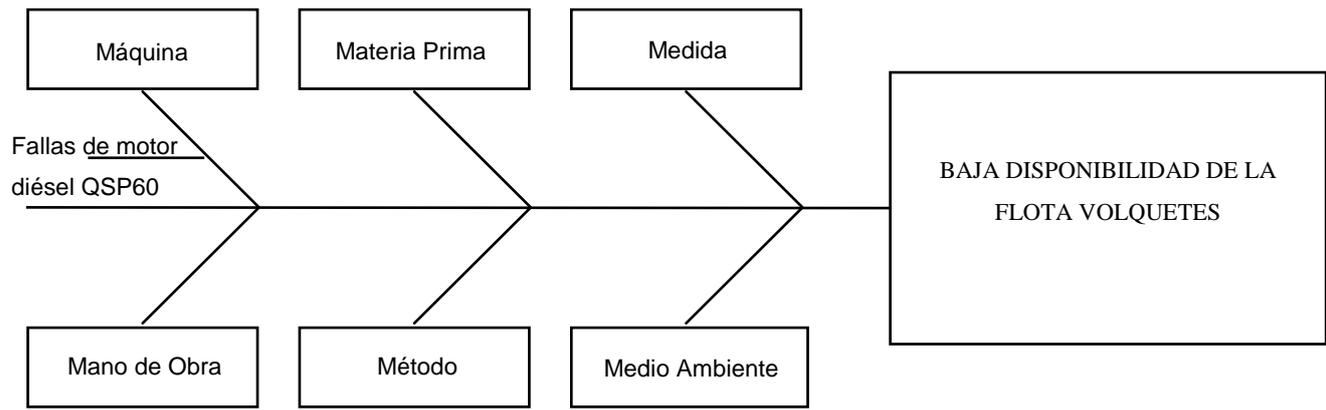


Figura 33. Diagrama Causa – Efecto de Flota Volquetes 930E

Fuente: Elaboración propia.

Con los datos de cambio de 16 motores diésel Commins por falla en los años 2015 y 2016, y que el factor máquina es la causa más probable, se concluye que la causa principal que afecta la disponibilidad de la Flota de Volquetes 930E de la unidad minera 2 son las fallas del motor diésel Commins QSP60.

A continuación, en la Figura 34 se realiza un diagrama de Pareto de los motivos de falla del motor diésel Commins QSP60 de los años 2015 y 2016 para diagnosticar el problema existente en este motor y determinar las principales fallas.

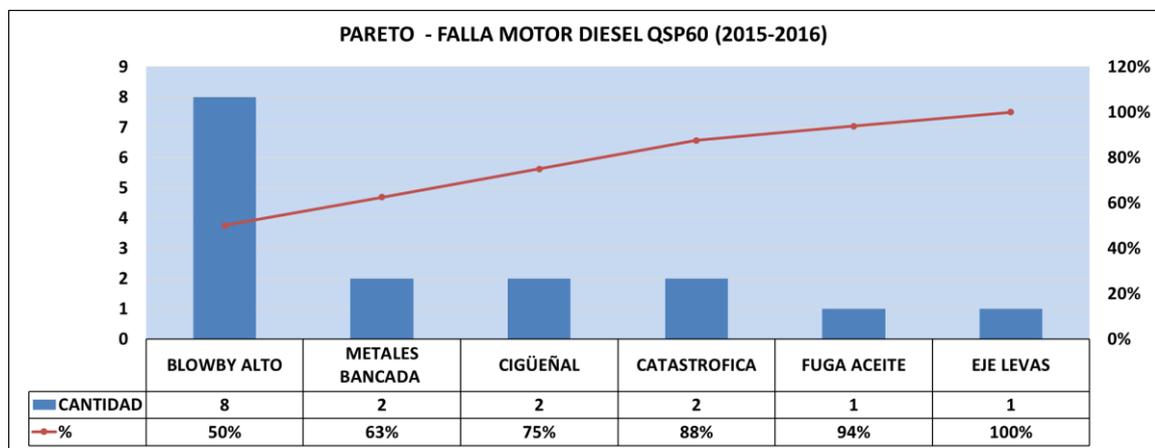


Figura 34. Diagrama de Pareto de Motores diésel año 2015 y 2016

Fuente: Elaboración propia.

La principal falla identificada con el diagrama de Pareto en los motores diésel Commins QSP60 es la falla por Blowby Alto, la cual significa una elevada presión de los gases en el cárter del motor diésel. Esto se debe a una elevada presión existente en la cámara de combustión que hace que una parte de los gases producidos por la combustión se filtren

debido a la falta de hermeticidad en las partes de los cilindros del motor diésel. Esto trae un consumo excesivo de aceite y desgaste de los componentes internos por la presencia de hollín, pudiendo ocasionar fallas catastróficas en el motor diésel.

Como información, se tiene que el costo de adquisición de un motor diésel Commins QSP60 es de \$ 560,000 y su costo de reparación es \$ 404,705. Por los altos costos de las reparaciones de los motores diésel, los motores con falla son enviados a los talleres del proveedor para su análisis con su respectivo documento de reclamo de garantía. En los informes de falla, el proveedor reconoce una falla de producto que hacen que estos cambios de motor diésel no programado ocurran. En la Figura 35, de los reportes del proveedor se identificaron fallas en los empaques de culata de motor diésel.



Figura 35. Informe de falla de motor diésel Commins QSP60

Fuente: Elaboración propia.

3.1.4 Planificar soluciones

Dentro de las soluciones se plantea el Repower del motor diésel que significa el reemplazo de los motores diésel Commins QSP60 a Motor diésel MTA 16T4000 de la Flota de Volquetes 930E.

Estos reemplazos se desarrollaron de manera progresiva según se vayan presentando las fallas de motor diésel QSP60 en la flota 930E, con la finalidad de evitar disminuir la disponibilidad de los equipos a Operaciones mina de manera inmediata.

A continuación, se detalla el punto del Hacer de los ocho pasos de la mejora continua que incluye solo a la implementación de la solución.

3.1.5 Implementación de solución

Durante los años 2016 y 2017, se realizaron cinco reemplazos de motor diésel; lo que significó que de cuatro Volquetes 930E con motor diésel MTA en el año 2015, se incremente a nueve Volquetes 930E con motor diésel MTA en el año 2017.

En la Tabla 9, se indican las fechas de cambios de los motores diésel en flota de volquetes 930E y en los cuales se instaló el motor diésel MTA como parte de la implementación de la solución. Para el término del año 2017 se tienen 9 motores diésel MTA instalados a comparación de los 4 motores que se tenían al término del año 2015, es decir, un 125% de variación para obtener una mejora en disponibilidad.

Tabla 9
Instalación de motor diésel MTA

FLOTA 930E	MOTOR DIESEL	FECHA DE REPOWER (CAMBIO DE MOTOR DIESEL COMMINS A MTA)
VQC100	MTA 16T4000	10/05/2010
VQC101	MTA 16T4000	11/04/2011
VQC102	COMMINS QSP60	-
VQC103	COMMINS QSP60	-
VQC104	MTA 16T4000	22/10/2017
VQC105	MTA 16T4000	12/04/2016
VQC106	MTA 16T4000	01/07/2016
VQC107	COMMINS QSP60	-
VQC108	MTA 16T4000	12/04/2017
VQC109	COMMINS QSP60	-
VQC110	MTA 16T4000	07/04/2015
VQC111	COMMINS QSP60	-
VQC112	MTA 16T4000	24/01/2016
VQC113	MTA 16T4000	09/09/2015
VQC114	COMMINS QSP60	-
TOTAL	MTA/QSP60	CANTIDAD REPOWER 2015-2017
15	9/6	7

Nota: Elaboración propia.

De la Tabla 9, cabe mencionar que los volquetes de código VQC100 y VQC101 tienen instalado el motor diésel MTA desde el año 2010 y 2011 respectivamente. Con la implementación del presente proyecto se realizaron los cambios a motor diésel MTA entre los años 2015 y 2017. Iniciando en el año 2015, al volquete de código VQC110 se instaló el motor diésel MTA en abril y al volquete código VQC113 se instaló el motor diésel en setiembre. En el año 2016, se realizó en enero la instalación de motor diésel al volquete VQC112, en abril se instaló al volquete VQC105 y en julio se instaló al volquete VQC106. Finalmente, en el año 2017 se instaló en abril el motor diésel al volquete VQC108 y en

octubre al volquete VQC104. Con la implementación del proyecto se realizaron siete cambios de motor diésel Commins a MTA, con la finalidad de incrementar la disponibilidad de la Flota Volquetes 930E.

Seguido viene el punto de Verificación de los ocho pasos de la mejora continua.

3.1.6 Medición de los resultados

Para la medición de los resultados se utiliza el método gráfico de control de disponibilidad de los equipos que hayan tenido el repower durante los años 2015, 2016 y 2017.

Para el año 2015, se realizaron dos reemplazos de motor diésel en los Volquetes 930E: VQC110 y VQC113. Como se visualiza en la Figura 36, la disponibilidad después del cambio se estabiliza, lo cual hace que el plan de Operaciones Mina no se vea afectado por paradas no programadas. El repower del volquete VQC110 se realizó el 07 de abril, para el mismo mes se obtuvo una disponibilidad de 62.8% y para diciembre su disponibilidad incrementó a 84.7%. Y el repower del volquete VQC113 se realizó el 09 de setiembre, para el mismo mes se obtuvo una disponibilidad de 77.5% y para diciembre su disponibilidad incrementó a 79.3%.

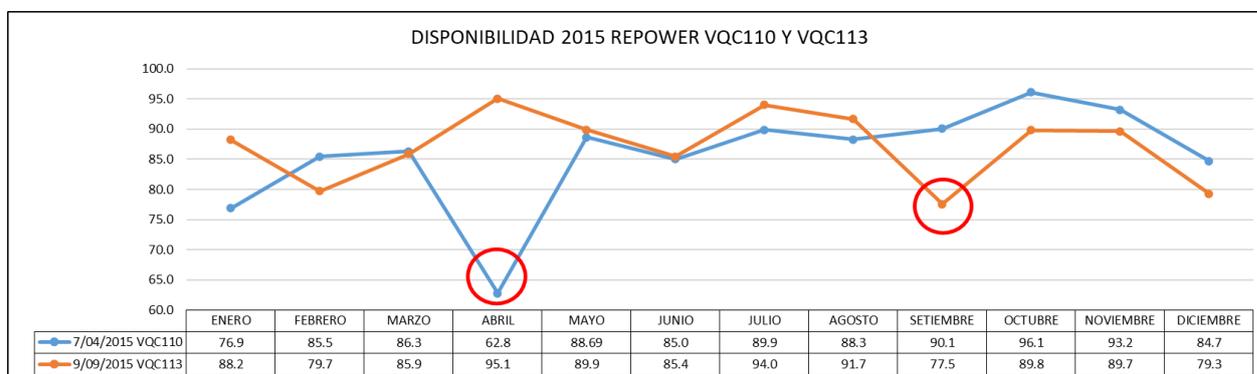


Figura 36. Gráfico de control de reemplazos de Motor diésel 2015

Fuente: Elaboración propia.

Para el año 2016, se realizaron tres reemplazos de motor diésel en los Volquetes 930E: VQC105, VQC106 y VQC112. Como se visualiza en la Figura 37, la disponibilidad después del cambio se estabiliza, lo cual hace que el plan de Operaciones Mina no se vea afectado por paradas no programadas. El repower del volquete VQC112 se realizó el 24 de enero, para el mismo mes obtuvo una disponibilidad de 69.5% y para diciembre su disponibilidad incrementó a 93.9%. El repower del volquete VQC105 se realizó el 12 de abril, para el mismo mes se obtuvo una disponibilidad de 73.1% y para diciembre su disponibilidad

incrementó a 92.7%. Finalmente, el repower del volquete VQC106 se realizó el 01 de julio, para el mismo mes se obtuvo una disponibilidad de 78.9% y para diciembre su disponibilidad incrementó a 89.8%.

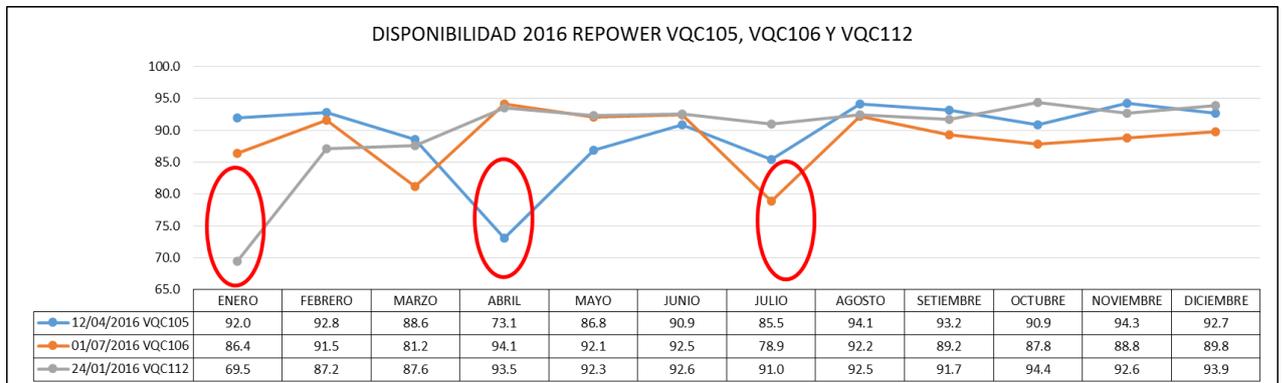


Figura 37. Gráfico de control de reemplazos de Motor diésel 2016

Fuente: Elaboración propia.

Para el año 2017, se realizaron dos reemplazos de motor diésel en los Volquetes 930E: VQC104 y VQC105. Como se visualiza en la Figura 38, la disponibilidad después del cambio se estabiliza, lo cual hace que el plan de Operaciones Mina no se vea afectado por paradas no programadas. El repower del volquete VQC108 se realizó el 12 de abril, para el mismo mes se obtuvo una disponibilidad de 71.9% y para diciembre su disponibilidad incrementó a 92.3%. Finalmente, el repower del volquete VQC104 se realizó el 22 de octubre, para el mismo mes se obtuvo una disponibilidad de 84.8% y para diciembre su disponibilidad incrementó a 93%.

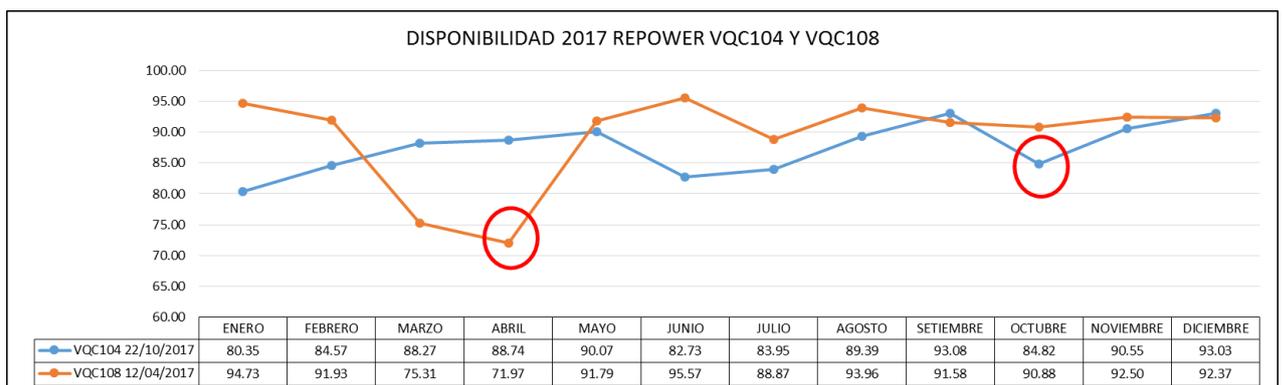


Figura 38. Gráfico de control de reemplazos de Motor diésel 2017

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, se mide la disponibilidad anual obtenida por la flota 930E de la unidad minera. Es satisfactorio, mantener o incrementar la disponibilidad en la Flota de Volquetes mineros, dado que la tendencia es que con la utilización del equipo se obtenga menos disponibilidad por fallas que van ocurriendo con el paso de los años en el equipo.

En la Figura 39, se muestra que en el año 2015 la disponibilidad fue de 88.39% en la Flota Volquetes 930E y el año 2017 la disponibilidad se incrementó a 89.95%. Este incremento de 1.56% en la disponibilidad, representa 2,050 horas más de uso para operaciones mina Cuajone, lo que conlleva a mayores números de producción.

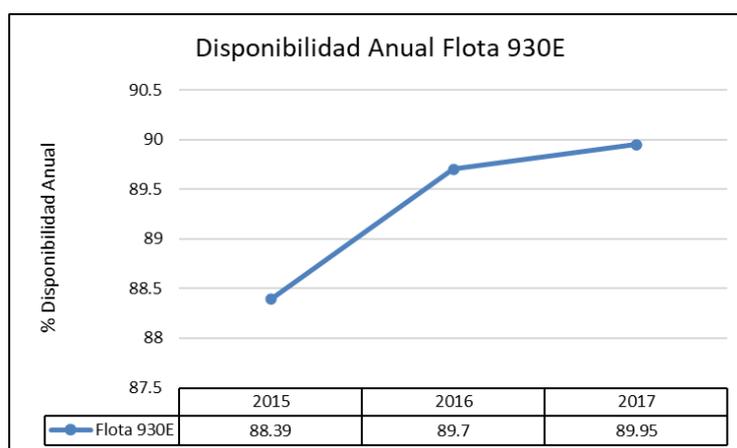


Figura 39. Incremento de disponibilidad Flota Volquetes 930E entre los años 2015 – 2017

Fuente: Elaboración propia.

3.1.7 Estandarizar la mejora

Como parte de la estandarización de la mejora se realizó lo siguiente:

- En el área de planeamiento de mantenimiento: actualización de los planes (Ver Anexo 2) y estándares de mantenimiento de la Flota Volquetes 930E en el sistema SAP que utiliza la empresa para la programación y seguimiento de los mantenimientos.
- En el área del Taller de Volquetes: capacitación al personal sobre las actividades y mantenimiento del Repower (reemplazo) de motor diésel en Flota Volquetes 930E para un correcto mantenimiento del motor diésel MTA.

Finalmente, se realiza el punto de Acción de los ocho pasos de la mejora continua.

3.1.8 Documentar la acción o mejora

Como parte de la documentación, se presentó informe de Repower de motor diésel en Flota 930E a la dirección y Gerencia de mantenimiento de la empresa, para su registro.

Algo que es importante resaltar del presente trabajo de investigación, es que no se tomó la decisión de reemplazar todos los motores diésel a MTA 16T4000 para no monopolizar al proveedor de motores diésel MTA y generar un sentido de mejoramiento continuo en ambos proveedores MTA y Commins, asimismo, durante el año 2017 el proveedor Commins ha desarrollado una mejora en los productos (partes de motor diésel) por lo que las fallas de motor diésel QSP60 disminuyeron a partir del año 2017.

3.2 Validación Económica

A continuación, se realiza la evaluación económica para la viabilidad del reemplazo de motores diésel marca Commins QSK 60 por la instalación de motores diésel marca MTA 16T4000 en la Flota de Volquetes 930E, con la finalidad de obtener mayor disponibilidad y menores costos de mantenimiento.

Se realizará la evaluación por motor diésel en relación a los costos de: mantenimiento preventivo, mantenimiento correctivo, combustible y disponibilidad.

3.2.1 Mantenimiento Preventivo

En la Tabla 10, se muestran los costos de mantenimiento preventivo del motor diésel MTA, asimismo, el motor diésel tiene una vida total de 60,000 horas de operación y su costo anual de mantenimiento es de \$290,358.

Tabla 10

Costos de mantenimiento preventivo de motor diésel MTA

MTA (60,000 HRS)					
TIPO	FRECUENCIA (HRS)	CANTIDAD	COSTO UNIT	COSTO TOTAL	
W2	300	199	\$ 832	\$ 165,568	
W3	2500	16	\$ 800	\$ 12,800	
2W4	7500	4	\$ 84,674	\$ 338,696	
W6	15000	3	\$ 393,171	\$ 1,179,513	
				\$ 1,696,577	
LUCRO CESANTE (COSTO IMPRODUCTIVO) POR MANTENIMIENTO					
TIPO	TIEMPO (HRS)	CANTIDAD	TIEMPO TOTAL	COSTO X HORA	COSTO TOTAL
W2	4	199	796	\$ 646	\$ 514,216
W3	4	16	64	\$ 646	\$ 41,344
2W4	16	4	64	\$ 646	\$ 41,344
W6	48	3	144	\$ 646	\$ 93,024
					\$ 689,928
COSTO TOTAL DE MANTENIMIENTO			\$ 2,386,505		
COSTO ANUAL DE MANTENIMIENTO \$			\$ 290,358		

Nota: Elaboración propia.

En la Tabla 11, se muestran los costos de mantenimiento preventivo del motor diésel Commins, asimismo, el motor diésel tiene una vida total de 72,000 horas de operación y su costo anual de mantenimiento es de \$212,804.

Tabla 11

Costos de mantenimiento preventivo de motor diésel Commins

COMMINS (72,000 HRS)					
TIPO	FRECUENCIA (HRS)	CANTIDAD	COSTO UNIT	COSTO TOTAL	
P1	500	144	\$ 736	\$ 105,984	
P2	4500	8	\$ 5,150	\$ 41,196	
P3	9000	4	\$ 42,279	\$ 169,115	
P4	18000	3	\$ 404,705	\$ 1,214,115	
				\$ 1,530,410	
LUCRO CESANTE (COSTO IMPRODUCTIVO) POR MANTENIMIENTO					
TIPO	TIEMPO (HRS)	CANTIDAD	TIEMPO TOTAL	COSTO X HORA	COSTO TOTAL
P1	4	144	576	\$ 646	\$ 372,096
P2	12	8	96	\$ 646	\$ 62,016
P3	16	4	64	\$ 646	\$ 41,344
P4	48	3	144	\$ 646	\$ 93,024
					\$ 568,480
COSTO TOTAL DE MANTENIMIENTO			\$ 2,098,890		
COSTO ANUAL DE MANTENIMIENTO \$			\$ 212,804		

Nota: Elaboración propia.

En cuanto a los costos de mantenimientos preventivos de ambos motores diésel de las tablas 10 y 11, se tiene que el motor diésel Commins tiene un costo anual estimado en \$ 212,804 y

el motor diésel MTA tiene un costo anual estimado de \$ 290,358. Esto se debe principalmente a la menor frecuencia de mantenimiento del motor diésel MTA que es cada 300 horas a comparación del motor diésel Commins que se realiza el mantenimiento cada 500 horas.

3.2.2 Mantenimiento Correctivo

En la Tabla 12, se tienen los costos por mantenimiento correctivo de los 15 volquetes de Flota 930E por motor diésel extraídos del sistema SAP que utiliza la empresa del año 2017.

Cabe mencionar que para la evaluación del costo por mantenimiento correctivo para los volquetes VQC104 y VQC108 se le ha considerado con motor diésel Commins. Dado que, en la revisión de costos, fue representativo el gasto por correctivo con motor diésel Commins que con motor diésel MTA para estos equipos, que fueron los últimos repower de la flota.

Tabla 12

Costos de mantenimiento correctivo por motor diésel

\$/HR CORRECTIVO 2017 - DATA SAP		
VQC100	MTA	\$ 5.46
VQC101	MTA	\$ 0.82
VQC102	COMMINS	\$ 0.00
VQC103	COMMINS	\$ 8.62
VQC104	COMMINS	\$ 5.41
VQC105	MTA	\$ 5.99
VQC106	MTA	\$ 3.18
VQC107	COMMINS	\$ 1.01
VQC108	COMMINS	\$ 19.74
VQC109	COMMINS	\$ 1.81
VQC110	MTA	\$ 0.67
VQC111	COMMINS	\$ 2.43
VQC112	MTA	\$ 2.99
VQC113	MTA	\$ 1.98
VQC114	COMMINS	\$ 0.75

Nota: Elaboración propia.

En la Tabla 13, se muestra el resumen del costo promedio por hora de mantenimiento correctivo por motor diésel de la flota de Volquetes 930E, el costo promedio de MTA es \$3.01 y para Commins es \$4.97. Para la evaluación de costos anuales, se realiza la conversión anual del promedio por hora de cada motor diésel. Se tiene que el motor MTA tiene un costo anual de \$ 26,276 por mantenimiento correctivo y el motor Commins tiene un costo anual de \$ 43,188 por mantenimiento correctivo. Esta diferencia en costo de

mantenimiento correctivo por año, es la representación por las mayores fallas en motor diésel Commins.

Tabla 13

Resumen de costos de mantenimiento correctivo por año

CORRECTIVO		
	MTA	COMMINS
\$/HR	\$ 3.01	\$ 4.97
\$/HR ANUAL	\$ 26,276.57	\$ 43,188.33

Nota: Elaboración propia.

3.2.3 Combustible

En la Tabla 14, se muestra el costo de combustible anual por tipo de motor diésel Commins y MTA, según el consumo promedio en galones por hora de los 15 volquetes de la flota 930E durante el año 2017. El costo anual por abastecimiento de combustible del motor diésel MTA es \$ 909,171 y el costo de combustible anual por el abastecimiento en el motor diésel Commins es \$ 988,151.

Tabla 14
Costos de combustible por motor diésel

COMBUSTIBLE		
	MTA	COMMINS
VIDA MODI (HRS)	60000	72000
VIDA MODI (AÑOS)	8	10
GAL / HR	55.60	60.43
GAL	3,336,000.00	4,350,960.00
\$/ GAL	2.24	2.24
\$	\$ 7,472,640.00	\$ 9,746,150.40
COSTO ANUAL EN COMBUSTIBLE	\$ 909,171.20	\$ 988,151.36

Nota: Elaboración propia.

3.2.4 Disponibilidad

Se realiza el costo de oportunidad por mayor disponibilidad, es decir, mayores horas operativas de equipo. En Flota de Volquetes 930E, la disponibilidad del motor diésel MTA es mayor con 99.51% frente al 99.15% del motor diésel Commins, por lo que hay un beneficio estimado anual de \$ 20,304 a favor del motor diésel MTA por tener el equipo más tiempo operativo.

En la Tabla 15, se tiene que el motor diésel MTA tiene una disponibilidad de 99.51% y el motor diésel Commins una disponibilidad de 99.15%, esta diferencia en disponibilidad son 32 horas de operación adicionales por volquete con el motor diésel MTA, lo que trae mayores horas de operación y se obtiene \$ 20,304 en beneficio anual por mayor acarreo de mineral.

Tabla 15
Costo por disponibilidad de motor diésel

DISPONIBILIDAD		
	MTA	COMMINS
(A) (X EQUIP) anual modi	99.51%	99.15%
HR DISP ANUAL	8717	8685
\$ INCREMENTO ANUAL	\$ 5,631,119	\$ 5,610,815
DIFERENCIA POR EQUIPO (X MAYOR DISPONIBILIDAD)	\$	20,304
* Costo 930e 2017 - Op. Mina: \$ 646 / hr		

Nota: Elaboración propia.

3.2.5 Flujo de caja económico

En la Tabla 16, se desarrolla el flujo de caja y evaluación económica de todos los costos asociados al motor diésel mencionados anteriormente. Se tiene que el motor diésel MTA por su tiempo vida útil de 60,000 horas y una inversión de \$585,000 tiene un flujo de evaluación de 8 años y, el motor diésel Commins por su tiempo de vida útil de 72,000 horas y una inversión \$560,000 tiene un flujo de evaluación de 10 años.

Tabla 16
Evaluación económica

MTA	AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6	AÑO 7	AÑO 8
INVERSION	\$ -585,000								
GASTOS (MANTTO + COMB)		\$ 1,199,529	\$ 1,199,529	\$ 1,199,529	\$ 1,199,529	\$ 1,199,529	\$ 1,199,529	\$ 1,199,529	\$ 1,199,529
PRODUCTIVITY									
CORRECTIVO		\$ 26,277	\$ 26,277	\$ 26,277	\$ 26,277	\$ 26,277	\$ 26,277	\$ 26,277	\$ 26,277
REAL OP		\$ -1,225,806	\$ -1,225,806	\$ -1,225,806	\$ -1,225,806	\$ -1,225,806	\$ -1,225,806	\$ -1,225,806	\$ -1,225,806
TMAR	10%								
VAN	\$ -7,124,584								
CAE COSTO ANUAL EQUIVALENTE	\$ -1,311,748								

COMMINS	AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6	AÑO 7	AÑO 8	AÑO 9	AÑO 10
INVERSION	\$ -560,000										
GASTOS (MANTTO + COMB)		\$ 1,200,955	\$ 1,200,955	\$ 1,200,955	\$ 1,200,955	\$ 1,200,955	\$ 1,200,955	\$ 1,200,955	\$ 1,200,955	\$ 1,200,955	\$ 1,200,955
PRODUCTIVITY											
CORRECTIVO		\$ 43,188	\$ 43,188	\$ 43,188	\$ 43,188	\$ 43,188	\$ 43,188	\$ 43,188	\$ 43,188	\$ 43,188	\$ 43,188
REAL OP		\$ -1,244,144	\$ -1,244,144	\$ -1,244,144	\$ -1,244,144	\$ -1,244,144	\$ -1,244,144	\$ -1,244,144	\$ -1,244,144	\$ -1,244,144	\$ -1,244,144
TMAR	10%										
VAN	\$ -8,204,725										
CAE COSTO ANUAL EQUIVALENTE	\$ -1,346,383										

RESUMEN	
CAE COSTO ANUAL EQUIVALENTE COMMINS	\$ -1,346,383
CAE COSTO ANUAL EQUIVALENTE MTA	\$ -1,311,748
AHORRO ANUAL MTA (INV + COSTO MANTTO Y COMB)	\$ 34,636
INCREMENTO DISP ANUAL	\$ 20,304
AHORRO ANUAL 1 EQUIPO	\$ 54,940
AHORRO ANUAL 9 EQUIPOS	\$ 494,457

Nota: Elaboración propia.

Para la evaluación económica, se utiliza como tasa mínima aceptable de rendimiento (TMAR) el porcentaje de 10%. Este porcentaje es el que utiliza la empresa minera para la evaluación de los proyectos de inversión.

Finalmente, de la evaluación económica de inversión, mantenimiento y combustible de ambos motores diésel en la Tabla 15; el costo de inversión, mantenimiento y combustible en la vida de un motor diésel, es menor en MTA obteniendo un valor actual neto VAN de los costos es de \$ 7'124,584. A comparación del valor actual neto VAN de los costos del motor diésel Commins de \$ 8'204,725.

Es importante mencionar que, para la evaluación de proyectos con periodos distintos como el presente trabajo de investigación, la determinación del valor actual neto VAN de los costos no es el valor determinante, dado que es un valor global por cada motor diésel y como se vio tienen distintos periodos de vida útil. Para este caso, el valor que determinará la factibilidad del proyecto es el Costo Anual Equivalente (CAE), que no es más que un valor que trae al presente todos los flujos de costos del motor diésel y lo vuelve unitario, con estos valores unitarios de cada motor si es posible realizar una comparación económica. Para el presente trabajo de suficiencia profesional, la diferencia de CAE (costo anual equivalente) es \$ 34,636, más el incremento por disponibilidad de motor de \$ 20,304; lo cual brinda un ahorro anual de \$ 54,940 por uso de 01 motor diésel MTA; y un ahorro anual de \$ 494,457 por uso en los 09 motores diésel.

Por lo que es factible la remoción e instalación de motor diésel MTA modelo 16T4000 en la Flota de Volquetes 930E de la mina 2 con la finalidad de incremento de disponibilidad, y consecuentemente una reducción en los costos de mantenimiento.

CAPÍTULO 4: CONCLUSIONES

En el primer capítulo, se ha descrito el objetivo general y los objetivos específicos, así como el marco teórico para realizar la propuesta de mejora de incremento de disponibilidad de la Flota Volquetes de una empresa minera. En el marco teórico se realizó la búsqueda de información de Calidad, Mantenimiento y las herramientas de Calidad. De ello se destaca la utilización del método de solución de problemas de ocho pasos del ciclo Shewhart o círculo de calidad PDCA que tiene como principal impulsor a Edward Deming para realizar el presente trabajo de suficiencia profesional.

En el segundo capítulo, se analizó la situación actual de la empresa y específicamente la Flota de Volquetes 930E que está a cargo del taller de volquetes del área de mantenimiento mina. Se identificaron las consecuencias del problema y la causa que la genera. Las consecuencias son: baja disponibilidad y estos surgen por el problema de fallas en los motores diésel de marca Commins, modelo QSP60 y donde el proveedor reconoce una falla de producto en los empaques de culata de los motores. Y se tiene un costo pérdida en los años 2015 y 2016 de \$ 872,746 por cambios de motor diésel por falla, asimismo, los cambios de motor diésel no programados de marca Commins conllevaron a una disminución de la disponibilidad en la Flota de Volquetes 930E en 0.6% y 0.5% en los años 2015 y 2016 respectivamente.

En el tercer capítulo, se realizó la validación técnica y económica de la propuesta de solución aplicando los 8 pasos del método de solución de problemas con el ciclo de mejora continua PDCA. En la validación técnica, se desarrollaron los ocho pasos del método de solución de problemas. Se tiene que en el año 2015 la disponibilidad fue de 88.39% en la Flota Volquetes 930E y el año 2017 la disponibilidad se incrementó a 89.95%. Este incremento de 1.56% en la disponibilidad, representa 2,050 horas más de uso para operaciones mina, lo que conlleva a mayores números de producción.

En la validación económica, se realizó la evaluación por motor diésel MTA y Commins de los costos de: mantenimiento preventivo, mantenimiento correctivo, combustible, disponibilidad y costo de adquisición. Finalmente, se tiene que el costo de inversión, mantenimiento y combustible en la vida de un motor diésel, es menor con el uso del motor diésel MTA obteniendo un valor actual neto VAN de los costos de \$ 7'124,584. A

comparación del valor actual neto VAN de los costos del motor diésel Commins de \$ 8'204,725. Y dado que el proyecto contempla periodos de vida útil distintos de motor diésel, se realiza la evaluación por CAE (costo anual equivalente) que es una evaluación de costo anual unitario, donde se tiene que el motor diésel MTA instalado en la flota de volquetes 930E brinda un ahorro anual de \$ 54,940 por uso en un volquete; y un ahorro anual de \$ 494,457 por uso en los 09 volquetes. Por lo que la propuesta de reemplazo del motor diésel Commins por el motor diésel MTA del presente trabajo de suficiencia profesional para la mejora de la disponibilidad de la Flota de Volquetes de una empresa minera es válido técnica y económicamente.

CAPÍTULO 5: RECOMENDACIONES

El desarrollo de nuevos componentes para ser reemplazados a los actuales que utilizan los equipos de las operaciones mineras, son un cambio para las organizaciones, las cuales deben aceptarlas para lograr mayores números de producción a bajo costo de utilización, para así generar mayor valor para los accionistas con la respectiva evaluación técnica y económica.

Actualmente, en las organizaciones mineras se tiene un conflicto constante entre las áreas de mantenimiento y operaciones, las cuales ofrecen mayores beneficios cada una para su lado. El presente trabajo de suficiencia profesional relaciona las dos áreas para desarrollar un proyecto que mejore sus procesos, tanto en disponibilidad, como en costos de mantenimiento.

Para el desarrollo de evaluaciones económicas de proyectos de distinto periodo de vida útil o flujos de efectivo, el método de evaluación es a través del CAE (costo anual equivalente) que realiza una comparación de costo unitario por año de ambos proyectos; con el cual se toma una correcta decisión. El VAN (valor actual neto) es válido siempre y cuando ambos proyectos tengan el mismo periodo de vida útil.

REFERENCIAS

- Acevedo Núñez, O., & Parodi Herrera, V. P. (2004). Mejoramiento del sistema administrativo y operativo de la empresa "Lubricantes y Llantas" de la ciudad de Cartagena a través de la aplicación del método de análisis y solución de problemas (MASP).
- Andriani, Walter (2006). El valor del mantenimiento. *Economista*. (Consulta: 15 de noviembre de 2019) (<http://search.proquest.com/docview/336461373?accountid=43860>)
- Arizaca Avalos, A. (2016). Inversiones mineras, conflictos sociales y desarrollo humano sostenible en el Perú 2001 - 2015.
- Ávila, M. A. Innovación de proceso y de gestión en un sistema de gestión de la calidad para una industria de servicios Autor (es).
- Baca, E. (2013). Estudio sobre marco normativo minero en Perú. *Revista electrónica Grupo Propuestas Ciudadana*.
- Baranidharan, K. (2012) Total Productive Maintenance. Sri Sairam Institute of Technology. (Consulta: 22 de marzo de 2019) (<http://www.sairamit.edu.in/>)
- Blázquez, Alberto (2013) Un modelo de pensamiento estratégico para favorecer la gestión del cambio en las organizaciones. *Ad-Minister* no. 23: 9-24. (Consulta: 15 de noviembre de 2019) (Business Source Complete, EBSCO).
- Batalla Medina, M. A. (2011). Optimización de procesos aplicando la mejora continua en una operación de minería no metálica.
- Barrio, J. F. V., Fraile, F. G., & Monzón, M. T. (1997). Las siete nuevas herramientas para la mejora de la calidad. FC Editorial
- Cadenas Polanco, B. G., & Loayza Melgar, A. C. (2019). Efecto de las exportaciones mineras en el producto bruto interno del Perú 1995-2018.
- Carcel, Carrasco; Francisco, Javier y Roldan, Carlos (2013). Principios básicos de la Gestión del Conocimiento y su aplicación a la empresa industrial en sus actividades tácticas de mantenimiento y explotación operativa: Un estudio cualitativo. *Intangible Capital* 9, no. 1: 91-125. (Consulta: 15 de noviembre de 2019)

Carro, R., & González Gómez, D. A. (2012). Administración de la calidad total.

Coetzee, Jasper (1997) Maintenance. South Africa: Maintenance Publishers Ltd.

Correa, A., Medina, P., & Cruz, E. (2011). Identificación y eliminación de generadores de baja confiabilidad en la captura de datos de un sistema MES en una empresa de alimentos en el Valle del Cauca. Revista Avances en Sistemas e Informática, 8(3), 91-102.

Cuatrecasas, L., & Torrell, F. (2010). TPM en un entorno Lean Management. Barcelona: Profit Editorial.

Curi, P., & Jacinto, J. (1997). Reducción de costos de energía eléctrica en la planta oleaginosa consorcio de Alimentos Fabril Pacífico Planta Fal.

De Echave, J. (2012). La minería peruana y los escenarios de transición. Transiciones, 61.

Dounce, Enrique (1998) La productividad en el mantenimiento industrial. Distrito Federal de México: Compañía Editorial Continental S.A.

Duffuaa, Salih; Raouf, A. y Dixon, John (2000). Sistemas de Mantenimiento, Planeación y control. Distrito Federal – México: Editorial Limusa S.A.

García, Santiago (2003) Organización y gestión integral de mantenimiento. Madrid: Ediciones Díaz de Santos S.A.

Glave, M. (2007). La minería peruana: lo que sabemos y lo que aún nos falta por saber.

Gonzalez, Francisco (2010) Auditoría del mantenimiento e indicadores de gestión. 2da Edición. Madrid: Artegraf S.A.

González Torres, L. A. (2017). Aplicación del modelo kaizen a una industria de explotación minera. Estudio de caso: Greengage SAS.

Gutierrez, Humberto y De la Vara, Román (2009) Control estadístico de la calidad y seis sigma. Distrito Federal de México: McGraw-Hill / Interamericana Editores S.A.

Hartmann, Edward (1992) Successfully Installing TPM in a non-Japanese Plant. 4ta Edición. Pennsylvania: TPM Press Inc.

ICONTEC (2015). Norma técnica colombiana NTC ISO 9001 sistemas de gestión de la calidad – requisitos. Bogotá, Colombia: Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, ICONTEC.

INTERNATIONAL TPM INSTITUTE (<http://www.tpm-institute.com/es/>) Empresa consultora de mantenimiento dedicada a la instalación de Mantenimiento Productivo Total (TPM) (consulta: 20 de setiembre de 2019)

Incer Jassir, N., & Yague Farah, G. (2004). Análisis de los procesos de producción, control de calidad y mercadeo de la empresa congelados Farah con el fin de diseñar estrategias de mejoramiento.

Instituto Peruano de Economía (2015). “El costo económico de la no ejecución de los proyectos mineros por conflictos sociales y/o trabas burocráticas”.

Johnson, C. N. (2002). The benefits fo PDCA. *Quality Progress*, 35(5), 120.

Lehan, Bill (2012) Reliability Centered Maintenance (RCM). *Journal Of Property Management* 77, no. 4: 33. (Consulta: 20 de noviembre de 2018) (Entrepreneurial Studies Source, EBSCO)

Lerín Cruz, M. S. (2003). Modificación al método de ensamble de Check Link, bajo metodología QC-Story (Doctoral dissertation, Universidad Autónoma de Nuevo León).

Lindley, R. Higgins; Mobley, Keith y Wikoff, Darrin (2008) *Maintenance Engineering Handbook*. Eighth edition. McGraw-Hill Professional (consulta: 08 de marzo de 2019) (ACCESS ENGINEERING)

Lira, A. D., & Aristondo, F. M. (2007). *Panorama de la Minería en el Perú*. Osinergmin.

Kjell, Zandin (2001) *Industrial Engineering Handbook*. Fifth edition. McGraw-Hill Professional (consulta: 08 de marzo de 2019) (ACCESS ENGINEERING)

Marmolejo, N., Milena Mejía, A., Pérez-Vergara, I. G., Rojas, J. A., & Caro, M. (2016). Mejoramiento mediante herramientas de la manufactura esbelta, en una Empresa de Confecciones. *Ingeniería industrial*, 37(1), 24-35

Mora, Luis (2009) *Mantenimiento. Planeación, ejecución y control*. Distrito Federal de Mexico: Alfaomega Grupo Editor S.A.

Nakajima, Seiichi (1991) *Programa de Desarrollo del TPM*. Madrid: Tecnologia de Gerencia y Producción S.A.

Noori, H., & Radford, R. (2000). *Administración de operaciones y producción: Calidad total y respuesta sensible rápida*. Editorial Mc Graw Hill.

Newitt, D. J., (1996), "Beyond BPR & TQM - Managing through processes: Is kaizen enough?" Institution of Electric Engineers (eds.), *Industrial Engineering*, London.

Plasencia Armas, H. F., & Miñano Guillermo, J. J. (2015). *Incidencia del sector minero en el crecimiento económico del Perú 1990–2014*.

Sanchis, Raquel; Poler, Raúl y Mula, Josefa (2011) *Gestión de la calidad total y mantenimiento productivo total en la fabricación de alto rendimiento*. En: *Ingeniería E Industria* 86, no. 6: 648-655. (Consulta: 17 de noviembre de 2018) (Fuente Académica Premier, EBSCO)

Sacristán, F. R. (2003). *Técnicas de resolución de problemas*. FC Editorial.

Segredo, Alina (2013). *Clima organizacional en la gestión del cambio para el desarrollo de la organización*. En: *Revista Cubana De Salud Pública* 39, no. 2: 385-393. (Consulta: 17 de noviembre de 2019) (MedicLatina, EBSCO)

Sociedad Nacional de Minería Petróleo y Energía. (2012). *Impacto Económico de la Minería en el Perú*. Sociedad Nacional de Minería Petróleo y Energía. Lima, Perú.

Suárez-Barraza, M. F., Miguel-Dávila, J. A., & Castillo-Arias, I. (2011). *La aplicación del Kaizen en las organizaciones mexicanas. Un estudio empírico*. *Globalización, Competitividad y Gobernabilidad de Georgetown/Universia*, 5(1).

Vega Aragón, A. C. (2019). *Clase mundial: análisis del estándar japonés bajo QC story para la mejora continua de la Industria de Remanufactura* (Doctoral dissertation, Universidad del Desarrollo. Facultad de Ingeniería).

Viveros, Pablo; Stegmaier, Raúl y Kristjanpoller, Fredy (2013). *Propuesta de un modelo de gestión de mantenimiento y sus principales herramientas de apoyo*. En: *Revista Chilena De Ingeniería* 21, no. 1: 125-138 (Consulta: 15 de noviembre de 2019) (Academic Search Complete, EBSCO)

Wheeler, Paul (2007) *Reliability-Centered Maintenance*. (cover story). *Buildings* 101, no. 11: 38. MasterFILE Complete. (Consulta: 21 de noviembre de 2018) (Academic Search Complete, EBSCO)

Wilmeth, R. G. y Usrey, M.W. (2000). Reliability-centered maintenance: A case study. *Engineering Management Journal*, 12(4), 25-31. (Consulta: 21 de noviembre de 2018) (<http://search.proquest.com/docview/208984072?accountid=43860>)

Yanqui Tito, M. G. (2015). Toma de decisiones en la selección y reemplazo de volquete volvo FM 12-420 en el acarreo de material en plataformas y accesos-Unidad Minera Jessica-CIA MINERA ARASI SAC.

ANEXO 1 COSTO POR HORA DE EQUIPO PARADO

KOM 980	TONELAJE
Produccion perdida (t)	800
Relación Desbroce (D/M) - Plan Turno	4.34
Acarreo Mineral (t)	150
Ley Cu (%) - Plan Turno	0.61
Recuperación Conc. (%)	87.4%
Recuperación Fund. (%)	97.4%
Recuperación Refin. (%)	99.9%
Toneladas de Cobre Fino (t)	0.78
Libras de Cobre Fino (Lb)	1,713
Margen de Ganancia Final - US\$ / Lb de Cu	0.540
Perdida (US\$) / Hora	925

KOM 930	TONELAJE
Produccion perdida (t)	500
Relación Desbroce (D/M) - Plan Turno	3.79
Acarreo Mineral (t)	104
Ley Cu (%) - Plan Turno	0.61
Recuperación Conc. (%)	87.4%
Recuperación Fund. (%)	97.4%
Recuperación Refin. (%)	99.9%
Toneladas de Cobre Fino (t)	0.54
Libras de Cobre Fino (Lb)	1,196
Margen de Ganancia Final - US\$ / Lb de Cu	0.540
Perdida (US\$) / Hora	646

CAT 793D	TONELAJE
Produccion perdida (t)	400
Relación Desbroce (D/M) - Plan Turno	4.34
Acarreo Mineral (t)	75
Ley Cu (%) - Plan Turno	0.61
Recuperación Conc. (%)	87.4%
Recuperación Fund. (%)	97.4%
Recuperación Refin. (%)	99.9%
Toneladas de Cobre Fino (t)	0.39
Libras de Cobre Fino (Lb)	857
Margen de Ganancia Final - US\$ / Lb de Cu	0.540
Perdida (US\$) / Hora	463

KOM830	TONELAJE
Produccion perdida (t)	350
Relacion Desbroce (D/M) - Plan Turno	4.34
Acarreo Mineral (t)	66
Ley Cu (%) - Plan Turno	0.61
Recuperación Conc. (%)	87.4%
Recuperación Fund. (%)	97.4%
Recuperación Refin. (%)	99.9%
Toneladas de Cobre Fino (t)	0.34
Libras de Cobre Fino (Lb)	750
Margen de Ganancia Final - US\$ / Lb de Cu	0.540
Perdida (US\$) / Hora	405

KOM930E-4SE	TONELAJE
Produccion perdida (t)	500
Relacion Desbroce (D/M) - Plan Turno	4.34
Acarreo Mineral (t)	94
Ley Cu (%) - Plan Turno	0.61
Recuperación Conc. (%)	87.4%
Recuperación Fund. (%)	97.4%
Recuperación Refin. (%)	99.9%
Toneladas de Cobre Fino (t)	0.49
Libras de Cobre Fino (Lb)	1,071
Margen de Ganancia Final - US\$ / Lb de Cu	0.540
Perdida (US\$) / Hora	578

Nota: Fuente operaciones mina 2 2017.

ANEXO 2 ACTUALIZACIÓN DE PLAN DE MANTENIMIENTO EN SAP

Resumen general operación					
Op.	SOp	PstoTbjo	Ce.	Ctrl	Descripción operación
0010		CMMV	CU01	PM01	PM MEC 300 HR VOLQ KOM 930E-MTU
0020		CMMV	CU01	PM01	PM MEC 600 HR VOLQ KOM 930E-MTU
0030		CMMV	CU01	PM01	PM MEC 1200 HR VOLQ KOM 930E-MTU
0040		CMMV	CU01	PM01	PM MEC 2400 HR VOLQ KOM 930E-MTU
0050		CMMV	CU01	PM01	PM MEC 4800 HR VOLQ KOM 930E-MTU

Nota: Plan de mantenimiento para motor diésel MTA en SAP.

Resumen general operación					
Op.	SOp	PstoTbjo	Ce.	Ctrl	Descripción operación
0010		CMMV	CU01	PM01	PM MEC 500 HR VOLQ KOM 930E4-MTS
0020		CMMV	CU01	PM01	PM MEC 1000 HR VOLQ KOM 930E4-MTS
0030		CMMV	CU01	PM01	PM MEC 2000 HR VOLQ KOM 930E4-MTS
0040		CMMV	CU01	PM01	PM MEC 4000 HR VOLQ KOM 930E4-MTS

Nota: Plan de mantenimiento para motor diésel Commins en SAP.