

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Industrial

“PROPUESTA DE MEJORA EN EL MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE LOS EQUIPOS DE PERFORACIÓN PARA INCREMENTAR LA RENTABILIDAD DE LA EMPRESA OPEN WORLD MINING S. A. C. EN EL PROYECTO DE PERFORACIÓN SECUNDARIA DE LA MINERA CHINALCO PERÚ S.A.”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Industrial

Autor:

Jhon Dante Campos Aguirre

Asesor:

Ing. Rafael Luis Alberto Castillo Cabrera
Trujillo - Perú

2020



DEDICATORIA

Al gran arquitecto del universo por todas las bendiciones recibidas y ser mi guía en cada paso que doy.

A la memoria de Margarita y Aurelio, por su inmenso amor, sacrificio y su apoyo incondicional a lo largo de toda su vida.

A todas las personas que de alguna manera confiaron en mí e hicieron posible el desarrollo del presente trabajo.

AGRADECIMIENTO

Faltan páginas para agradecer a las personas que se han involucrado en mi crecimiento personal y profesional, sin embargo, merecen reconocimiento especial mis abuelos María y Víctor por acompañarme en mi niñez, mi tía Jauri Chuquimango por criarme y acogerme como un hijo más, Joselin Paredes por brindarme una gran lección de vida y a Katherin Gutierrez por ser la mujer que Dios me presentó en la vida para ser feliz.

También agradezco a nuestra institución y maestros, en especial a Jorge García (QEPD), por sus esfuerzos para que finalmente pueda cumplir mis anhelos y lograr desarrollar esta tesis de manera que represente el pilar de mi formación profesional.

Tabla de contenido

DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTO	3
ÍNDICE DE TABLAS	6
ÍNDICE DE FIGURAS	9
RESUMEN	10
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	11
1.1. Realidad problemática	11
1.1.1. Antecedentes	15
1.1.2. Base Teórica	18
1.1.3. Definiciones Conceptuales	32
1.2. Formulación del problema	34
1.3. Objetivos	34
1.3.1. Objetivo general	34
1.3.2. Objetivos específicos	34
1.4. Hipótesis	35
1.5. Variables	35
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA	37
2.1. Tipo de Investigación	37
2.2. Materiales, Instrumentos y Métodos	37
2.3. Procedimiento	39
CAPÍTULO III. RESULTADOS	84

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	87
REFERENCIAS	89
ANEXOS	92

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Posición del Perú en producción minera	12
Tabla 2: Operacionalización de variables	36
Tabla 3: Técnicas e instrumentos de recolección de datos	37
Tabla 4: Instrumentos y métodos de procesamiento de datos	38
Tabla 5: Identificación de indicadores.....	43
Tabla 6: Propuesta de mejora seleccionadas.....	44
Tabla 7: Pérdida por inadecuado mantenimiento preventivo	45
Tabla 8: Inventario de los equipos de producción	47
Tabla 9: Códigos de los equipos de producción	47
Tabla 10: Análisis de criticidad	50
Tabla 11: Resultados del análisis de criticidad de los equipos de producción	51
Tabla 12: Equipos predictivos para el mantenimiento de los equipos.....	53
Tabla 13: Indicadores de mantenimiento con el plan de mantenimiento propuesto	54
Tabla 14: % Pérdida por falta de gestión de repuestos	55
Tabla 15: Criterios de la clasificación ABC	57

Tabla 16: Clasificación ABC en función de las familias.....	57
Tabla 17: Método de máximos y mínimos de los ítems del almacén	60
Tabla 18: Reducción de la pérdida por la falta de gestión de repuestos.....	61
Tabla 19: Porcentaje de procedimientos de mantenimiento actual.....	62
Tabla 20: Pérdida por la falta de procedimiento de mantenimiento	63
Tabla 21: Reducción de la pérdida por falta de un procedimiento de mantenimiento	66
Tabla 22: Incremento del porcentaje de procedimientos de mantenimiento	67
Tabla 23: % de personal de mantenimiento.....	67
Tabla 24: Pérdida por falta de personal de mantenimiento	68
Tabla 25: Reducción de la pérdida por falta de personal de mantenimiento.....	70
Tabla 26: % de colaboradores de mantenimiento con la mejora	71
Tabla 27: % de capacitación al personal de mantenimiento.....	71
Tabla 28: Pérdida por mantenimiento externo.....	72
Tabla 29: Cronograma de capacitaciones en temas de mantenimiento	73
Tabla 30: Reducción de la pérdida por mantenimiento externo	74

Tabla 31: Incremento del porcentaje de capacitación al personal de mantenimiento	75
Tabla 32: Incremento de la rentabilidad	75
Tabla 33: Inversión para el plan de mantenimiento preventivo	76
Tabla 34: Inversión para la propuesta de la gestión de repuestos.....	76
Tabla 35: Inversión de la propuesta del procedimiento de mantenimiento	77
Tabla 36: Inversión de la propuesta de contratación de personal	77
Tabla 37: Inversión para el desarrollo de las capacitaciones.....	78
Tabla 38: Ingresos generados por la propuesta de mejora en un año	80
Tabla 39: Estado de resultados anual.....	81
Tabla 39: Indicadores económicos	82

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Inversión de exploración minera en el mundo	11
Figura 2: Diagrama de Ishikawa de la baja rentabilidad en la empresa Open World Mining S.A.C.....	41
Figura 3: Plan de mantenimiento propuesto para las perforadoras.....	52
Figura 4: Procedimiento de mantenimiento preventivo	64
Figura 5: Procedimiento de inspecciones con los equipos predictivos	65
Figura 6: Valores de pérdida actual y mejorada de la Cr1.....	84
Figura 7: Valores de pérdida actual y mejorada de la Cr2	84
Figura 8: Valores de pérdida actual y mejorada de la Cr3	85
Figura 9: Valores de pérdida actual y mejorada de la Cr4	85
Figura 10: Valores de pérdida actual y mejorada de la Cr5	86

RESUMEN

En el presente trabajo tiene como objetivo Determinar el impacto de la propuesta de mejora en el mantenimiento preventivo de los equipos de perforación sobre la rentabilidad de la empresa Open World Mining S.A.C. en el proyecto de perforación secundaria de la Minera Chinalco Perú S.A.

Los principales problemas que afectaban la rentabilidad de la empresa son: El Inadecuado mantenimiento preventivo generó una pérdida anual de S/1,810,782.00, la falta de gestión de repuestos generó una pérdida anual de S/100,175.00, el inadecuado procedimiento de mantenimiento generó una pérdida anual de S/60,519.40, la falta de personal de mantenimiento generó una pérdida anual de S/132,390.30 y por último la falta de capacitación en temas de mantenimiento generó una pérdida anual de S/379,462.00.

Se utilizó las siguientes herramientas en las mejoras: Plan de mantenimiento preventivo, ABC, Máximos y mínimos, procedimiento de mantenimiento, contratación de personal y un cronograma de capacitación; generando un ahorro anual de S/ 1,018,498.30.

Se realizó la evaluación económica / financiera de la propuesta de mejora en un periodo 12 meses, dando como resultado que el proyecto es RENTABLE ya que se obtuvo un: VAN de S/ 250,872., TIR de 20.8%, B/C de 1.64 y un PRI de 3.49 meses.

PALABRAS CLAVES: mantenimiento, rentabilidad.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

En los últimos 25 años, la minería ha estado en una fase expansiva sin precedentes a nivel global: aunque con algunos intervalos, desde la década del 90 se ha registrado un crecimiento significativo (CooperAcción, 2016).

A inicios de la década del 90 apenas se invertía algo más de mil millones de dólares en exploraciones a nivel global, el año 2012, momento pico de la expansión de las inversiones se superaron los 20 mil millones de dólares solo en actividades de exploración (CooperAcción, 2016).

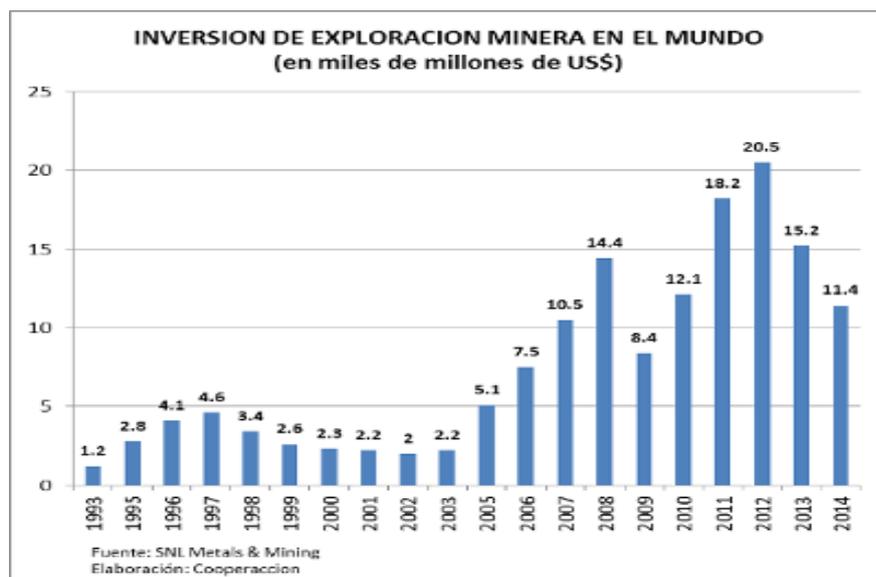


Figura 1. Inversión de exploración minera en el mundo

Fuente: CooperAcción (2016)

Como se muestra en la figura 1, se pueden identificar hasta cuatro momentos en la evolución de los presupuestos de inversiones en exploración minera a nivel global: uno primero de clara expansión, que va desde inicios de la década del 90 y que termina en 1997; uno segundo, que cubre el período 1998-2002 que es una etapa de descenso

y que coincide con los efectos de la mencionada crisis internacional, la consecuente caída de las cotizaciones internacionales de los minerales y la retracción de los presupuestos de inversión; una tercera etapa de recuperación y el inicio del denominado súper ciclo de los minerales y que tuvo dos picos, el año 2008 y el 2012. Y finalmente, todo indica que a partir del año 2013 se ha iniciado una nueva etapa de menor dinamismo y retroceso que muestra menores presupuestos de exploración a nivel global, mercados financieros restrictivos y caídas en las cotizaciones, tanto de los metales de base como de los preciosos (CooperAcción, 2016).

La minería es una de las actividades económicas más importantes en el Perú ya que representa el 9% del PBI y su comportamiento es una pieza clave para el ritmo de la economía (Osinermining, 2019).

A nivel mundial el Perú está posicionado en el top del ranking de los principales productores de metales básicos y preciosos en el mundo, así como se muestra en la tabla 1 (Osinermining, 2019).

Tabla 1

Posición del Perú en producción minera

Producto	Latinoamérica	Mundo
Cobre	2	2
Plata	2	2
Zinc	1	2
Plomo	1	3
Estaño	1	4
Molibdeno	2	4
Oro	1	6

Fuente: Osinermining (2019)

La actividad minera representa el 13% de la inversión privada local y más del 60% del valor de las exportaciones totales del Perú. Según el BCRP, el primer semestre del 2019, la minería representó el 9.0% del PBI peruano (Osinermining, 2019).

En el Perú, la minería es fundamentalmente polimetálica, es decir, en una misma unidad minera se pueden hallar y explotar diferentes tipos de minerales. Se contabiliza que la presencia de mineral es 374 en las 141 unidades mineras analizadas, esto corresponde a una extracción de al menos dos o tres tipos de mineral por unidad. (Osinermining, 2019).

El incremento de la producción minera peruana, desde octubre del 2019, continuó en enero del 2020 al crecer un 2.82%, debido a los buenos desempeños de la producción de todos los minerales, excepto del cobre y el oro. Estos registraron caídas de -5.01% y -5,72% respectivamente, según el Instituto Nacional de Estadística e Informática (IIMP, 2020).

Actualmente las empresas mineras apuestan por el mantenimiento de talla mundial que se resume en una mejor productividad y, por ende, el logro de objetivos. La confiabilidad es una pieza clave en este proceso (Tiempo minero, 2019).

Durante los últimos años el mantenimiento minero ha visto significativos cambios. Las empresas buscan, como objetivo primordial, la optimización al 100% para que de esa manera se puedan desarrollar funciones primordiales en las operaciones (Tiempo minero, 2019).

Hoy en día, debido a las transformaciones que ha venido y sigue experimentando el entorno empresarial minero ha condicionado la necesidad de realizar trabajos

secundarios para reducir ciertos riesgos asociados a la explotación minera. Estos son desarrollados por empresas contratistas, las cuales necesitan de gran cantidad de equipos, insumos y recursos para cumplir con lo requerido por la minera. Estos equipos son usados de manera consecutiva los 365 días del año a doble turno (Turno día y Turno noche); contando únicamente con periodos cortos de descanso. Es por esto que, dentro de las cláusulas de los contratos del servicio, las empresas mineras exigen una Disponibilidad mecánica mínima del 85% y la Utilización mínima del 85%. En caso contrario existen penalidades por incumplimiento.

Desde enero del 2018 a la actualidad la empresa Open World Mining S.A.C. viene realizando trabajos de perforación secundaria (Precorte y doble línea buffer) para la empresa Minera Chinalco del Perú S.A. Con la finalidad de controlar y minimizar el daño a las paredes finales del talud; y mejorar la distribución de carga explosiva en los taladros; para obtener bancos con paredes estables y seguras para el personal y equipos que transitan y operan dentro del área de operaciones mina.

La empresa Open World Mining S.A.C. en los trabajos que viene realizando dentro de la minera Chinalco del Perú S.A. cuenta con una flota de 7 perforadoras en la actualidad y realiza operaciones de perforación en sus cuatro fases habilitadas y otros frentes de trabajo que el cliente requiera, lo cual hace que la litología y las alteraciones del terreno sean variables (según área) y por tal motivo el rendimiento de los equipos que se usan para realizar la perforación también lo sea; por lo cual la disponibilidad de los equipos tienden a reducirse significativamente, afectando directamente a la rentabilidad de la empresa.

La empresa actualmente ha tenido pérdidas monetarias en el mantenimiento de las perforadoras las cuales son:

Se reportaron 371 fallas lo que generó un tiempo total de reparaciones de 1837.9 horas lo que a su vez representa una pérdida anual de S/.1, 810,782.

De los 752 requerimientos realizados por parte del área de mantenimiento al almacén, 4.4% (33 requerimientos) no fueron atendidos lo que generó que se hiciera compras de emergencia con un sobrecosto de S/.100,589.00.

No se registran las ocurrencias de las posibles causas de las fallas que se dan en los equipos de producción, generando un tiempo total perdido para la atención de la falla de 61.83 horas, lo cual representa una pérdida anual de S/.60,519.38.

De las 371 fallas que fueron atendidas de manera interna, 36 fallas fueron atendidas con demoras por falta de personal, generando un tiempo de espera de 134.5 horas lo que representó una pérdida anual de S/.132,390.32.

El 35.3% (131 fallas) de las fallas fueron atendidas de manera externa, generando un costo de S/.379,462.00.

1.1.1. Antecedentes

Como antecedentes de la presente investigación tenemos las siguientes tesis:

Bolaños. (2018). Universidad Privada del Norte, en su tesis titulada “Propuesta de mejora en la gestión de mantenimiento para incrementar la rentabilidad de la empresa de transportes e Inversiones JOB S.A.C. – Trujillo”, tuvo como objetivo general determinar el impacto en la rentabilidad de la empresa de Transportes e Inversiones JOB S.A.C. a través la propuesta de mejora en la gestión de

mantenimiento, utilizando las siguientes herramientas y técnicas: plan de mantenimiento preventivo y la adquisición de un software, procedimientos, Clasificación ABC. Esta tesis concluye: Con la propuesta de mejora en la gestión de mantenimiento se logró incrementar la disponibilidad de 91.9% a 95.1%, incrementando las ventas en un 3.2% (S/.103, 928) y la rentabilidad sobre las ventas de 15% a 16.4%.

Alvites y Chavesta. (2018). Universidad Señor de Sipán, en su tesis titulada “Plan de mejora en la gestión del área de mantenimiento para incrementar la rentabilidad de la Empresa de Transportes Serpiente de Oro S.R.L Trujillo – 2018”, tuvo como objetivo el desarrollo de un plan de mejora en la gestión del área de mantenimiento para incrementar la rentabilidad de la empresa de Transportes Serpiente de Oro S.R.L. Se realizó el análisis de la situación actual del área de mantenimiento, hallando que los principales problemas que afectan a la rentabilidad actual son: la falta de un plan de mantenimiento preventivo adecuado para unidades, la falta de un proceso de mantenimiento, la falta de gestión de la documentación de mantenimiento que ocasiona una pérdida de S/.5, 209.00; la falta de orden, limpieza y mala manipulación en el taller que originan pérdidas de repuestos generando pérdidas de S/. 55,934.00. Se elaboró el plan de mejora en la gestión del área de mantenimiento el cual consiste en un plan de mantenimiento preventivo, cuáles son los procedimientos, clasificación ABC, codificación de repuestos gestión de la documentación y un programa de capacitación. Esta tesis concluye: Con las mejoras realizadas se logró incrementar la rentabilidad de 92.4% a 95%, incrementando las ventas en un 2.59% (S/59,082.72).

Paredes. (2017). Universidad Privada del Norte, en su tesis titulada “Propuesta de mejora en la gestión de mantenimiento de los equipos del área de producción para incrementar la rentabilidad de la empresa de confecciones Danpar E.I.R.L.”, tuvo como objetivo general el desarrollo de propuesta de mejora en la gestión de mantenimiento de los equipos del área de producción para incrementar la rentabilidad de la empresa de confecciones Danpar E.I.R.L, para ello utilizó las siguientes herramientas: plan de mantenimiento preventivo, procedimiento de mantenimiento, formatos para mejorar la gestión de la documentación, adquisición de equipos de monitoreo, compra de herramienta y un plan de capacitaciones. Esta tesis concluye: Estas mejoras lograron incrementar la disponibilidad de los equipos de 91.4% a 95.7%., generando ingresos por un monto total S/. 2, 006,983 durante los 8 años en los cuales se proyectó el flujo de caja, además se obtuvo un VAN de S/. 442,747 TIR de 62,9%, B/C de 1.6 y un PRI de 2.65 años por lo cual se determinó que el proyecto es RENTABLE.

Jave y Chávez. (2018). Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC), en su tesis titulada “Propuesta de mejora en las áreas de abastecimiento y mantenimiento para incrementar la rentabilidad de la empresa CMC Arenado y Pintura E.I.R.L”, tuvo como objetivo principal general realizar una propuesta de mejora en las áreas de abastecimiento y mantenimiento con la finalidad de aumentar la rentabilidad de la empresa CMC arenado y pintura industrial E.I.R.L, para ello utilizó las siguientes herramientas: programa de mantenimiento preventivo para la reducción del número de fallas de los equipos y sus costos de mantenimiento correctivo, y para el área de abastecimiento la aplicación de la metodología 5S y un sistema de ABC de almacenes

para reducir tiempos ociosos, costos; así como el aprovechamiento de la redistribución de planta. Esta tesis concluye: se realizó una evaluación económica financiera obteniéndose un VAN de \$ 9 079 604.26 pesos chilenos y un TIR de 141% el cual es mayor a la tasa de costo de oportunidad, así también un PRI de 1.54 meses y el beneficio costo es mayor a uno.

Campos. (2018). Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, en su tesis titulada “Propuesta de un plan de mantenimiento preventivo centrado en la confiabilidad para incrementar la rentabilidad en la empresa de transporte Sayvan E.I.R.L.” propone un nuevo plan de mantenimiento preventivo centrado en la confiabilidad para incrementar la rentabilidad en La Empresa de Transportes Sayvan E.I.R.L, para ello utilizó como herramienta de mejora: el análisis de criticidad de factor crítico para determinar los sistemas del volquete más críticos y analizando los modos y efectos de falla de cada sistema y actividades de Mantenimiento establecidas que mitigan los defectos que surgieron como el más concurrente. Esta tesis concluye: el costo de implementación del plan de mantenimiento preventivo es S/144 397, 4 y el beneficio para la compañía es S / 52 623, 48, permitiendo incrementar la rentabilidad de la empresa a 36.4%.

1.1.2. Base Teórica

1.1.2.1. Mantenimiento

La palabra “mantenimiento” proviene del vocabulario militar, en el que se desarrolló para prestar servicio en la maquinaria de guerra. Pero no fue hasta el siglo XX cuando empezó a hablarse de mantenimiento en las instalaciones

industriales. Puede decirse que mantenimiento ha evolucionado de forma paralela a la complejidad y sofisticación de los procesos industriales (Bueno, 2013).

Mantenimiento es el conjunto de acciones encaminadas a la conservación de un equipo o instalación en un estado concreto o, al menos, en condiciones que garanticen su operatividad con un nivel mínimo de rendimiento y sin detrimento de la calidad del producto o de la seguridad de las personas (Bueno, 2013).

1.1.2.2.Mantenimiento Industrial

El mantenimiento industrial está definido como el conjunto de actividades encaminadas a garantizar el correcto funcionamiento de las máquinas e instalaciones que conforman un proceso de producción permitiendo que éste alcance su máximo rendimiento. (Olarte, Botero y Cañon, 2010)

El objetivo general del mantenimiento industrial es el de planear, programar y controlar todas las actividades encaminadas a garantizar el correcto funcionamiento de los equipos utilizados en los procesos de producción.

Los objetivos específicos del mantenimiento industrial son los siguientes:

- Realizar listados de los equipos que conforman el proceso de producción.
- Asignar códigos de identificación a cada uno de los equipos listados.
- Realizar fichas técnicas que contengan la información de las características generales, técnicas y operacionales de cada uno de los equipos codificados.

- Generar listados codificados con cada una de las actividades de mantenimiento eléctrico, mecánico, de lubricación, de instrumentación, de metrología y civil en todas las áreas de la empresa.
- Asignar las tareas de mantenimiento requeridas con su correspondiente fecha de inicio y frecuencia de ejecución para cada uno de los equipos codificados.
- Listar los repuestos, herramientas y tipo de personal requerido para la ejecución del mantenimiento.
- Realizar órdenes de trabajo del mantenimiento programado sistematizado.
- Digitalizar la información de las órdenes de trabajo en el correspondiente software de mantenimiento.
- Generar informes que permitan controlar el manejo del presupuesto para la mano de obra propia y contratada, los repuestos y los materiales empleados en el mantenimiento. (Olarte, Botero y Cañon, 2010)

Ventajas del mantenimiento industrial

Una buena programación del mantenimiento hace que las empresas cuenten con las siguientes ventajas:

- Elaboración de productos de alta calidad y a bajo costo.
- Satisfacción de los clientes con respecto a la entrega del producto en el tiempo acordado.
- Reducción de los riesgos en accidentes de trabajo ocasionados por el mal estado de las máquinas o sus componentes.

- Disminución de costos provocados por paradas del proceso de producción cuando se presentan reparaciones imprevistas.
- Detección de fallas producidas por el desgaste de piezas permitiendo una adecuada programación en el cambio o reparación de las mismas.
- Evita los daños irreparables en las máquinas.
- Facilita la elaboración del presupuesto acorde con a las necesidades de la empresa. (Olarte, Botero y Cañon, 2010)

Pérdidas por la falta de mantenimiento programado

Cuando en las empresas no se cuenta con un mantenimiento bien planeado, las pérdidas se pueden presentar por los siguientes inconvenientes:

- Paradas del proceso de producción.
- Averías inesperadas de los equipos.
- Daños en la materia prima.
- Elaboración de productos defectuosos. (Olarte, Botero y Cañon, 2010)
- Incumplimiento en los tiempos de entrega de los productos.
- Accidentes laborales. (Olarte, Botero y Cañon, 2010)

1.1.2.3. Mantenimiento Preventivo

El mantenimiento preventivo es un concepto que abarca todo tipo de operaciones destinadas a la conservación de equipos e instalaciones a través de la revisión periódica y reparación profesional, para garantizar así su buen funcionamiento, su fiabilidad y su durabilidad. (Contreras, 2016)

Precisamente, el objetivo fundamental del mantenimiento preventivo es prolongar la vida útil de los equipos, previniendo a tiempo las fallas e incidencias que se puedan presentar por falta de mantenimiento. Generalmente consiste en el cambio de piezas que presentan desgaste, el cambio de lubricantes, calibración, pintura y demás materiales anticorrosivos. (Contreras, 2016)

Este tipo de mantenimiento se hace por recomendaciones de los fabricantes después de un determinado tiempo de uso, por normas de uso de carácter legal o por inspección de técnicos expertos. La prevención en el mantenimiento de cualquier tipo de herramienta resulta fundamental para garantizar su buen funcionamiento y alargar su vida útil. (Contreras, 2016)

Características principales

Como se ha dicho, el mantenimiento preventivo permite detectar fallas a tiempo y corregirlas mediante inspecciones periódicas realizadas por expertos.

De esta forma, las empresas impiden que se presenten paros de planta afectando la producción, y evitan la depreciación y hasta pérdida total de equipos.

Las características principales del mantenimiento preventivo son las siguientes:

- Se realiza de forma periódica y rutinaria.
- Es un tipo de mantenimiento cuyas tareas y presupuestos son planificadas. Tiene un tiempo de inicio y de culminación.
- Se realiza en condiciones de control total para evitar accidentes, mientras el equipo está parado.

- Ofrece la posibilidad de actualizar la configuración técnica de los equipos.

(Contreras, 2016)

Tipos principales de mantenimiento preventivo

El mantenimiento preventivo se subdivide en tres tipos: programado, predictivo y de oportunidad.

1. Mantenimiento programado

Este tipo de mantenimiento es planificado y presupuestado, dado que las revisiones o inspecciones a los equipos se realizan según parámetros de tiempo, horas de funcionamiento, kilometraje, consumo, entre otros factores.

(Contreras, 2016)

2. Mantenimiento predictivo

El mantenimiento predictivo determina en qué momento debe realizarse la reparación de acuerdo a consejos de mantenimiento y al tiempo máximo de utilización recomendado antes de someterse a reparación.

Este mantenimiento puede contarse dentro del tipo preventivo, pero tiene algunas diferencias sustanciales: el mantenimiento predictivo se realiza en función del estado del equipo, del seguimiento y la programación del mantenimiento de esas lecturas resultantes.

En cambio, el mantenimiento preventivo como tal determina el momento en que el equipo será inspeccionado de acuerdo con las recomendaciones del fabricante o también del ciclo de vida útil que promedio tiene un equipo. (Contreras, 2016)

3. Mantenimiento de oportunidad

Por lo general, se realiza cuando se saca de funcionamiento un equipo con este propósito, como por ejemplo la turbina de una central hidroeléctrica.

Pero también puede ser un barco, un horno industrial o un carro que no está en uso. De esta forma se aprovecha su tiempo de descanso. (Contreras, 2016)

Ventajas del MP

Entre las ventajas que presenta el mantenimiento preventivo se encuentran las siguientes:

- Costo reducido con relación al mantenimiento correctivo.
- Se reducen significativamente los riesgos por fallas o fugas en los equipos.
- Prolonga la vida útil de los equipos.
- Hay menor tiempo de inactividad no planificado causado por falla de los equipos.
- Se generan menos errores en las operaciones cotidianas.
- Mejora sustancialmente la fiabilidad de los equipos.
- Se producen menos costos en reparaciones causadas por fallas inesperadas de los equipos, las cuales deben corregirse rápidamente.
- Permite mejorar el control sobre el funcionamiento del equipo y su productividad, así como la programación del mantenimiento que será aplicado en este. (Contreras, 2016)

Desventajas del MP

En realidad, el mantenimiento preventivo tiene muy pocas desventajas. Algunas de estas son las siguientes:

- El mantenimiento de los equipos debe ser realizado por personal especializado que generalmente está fuera de la empresa, por lo cual tiene que ser contratado.
 - La empresa debe ceñirse a las recomendaciones del fabricante para programar las labores de mantenimiento. Por esto puede ocurrir que se deba cambiar una pieza cuando quizás puede tener una mayor vida útil.
- (Contreras, 2016)

1.1.2.4.Mantenimiento Productivo Total

Attri et al. (2014); nos dicen que el mantenimiento productivo total (TPM) es un enfoque innovador para el mantenimiento, que tiene el potencial para mejorar la eficacia de las instalaciones de producción.

TPM es un programa para la mejora fundamental de las funciones de mantenimiento en una organización, que implica a sus recursos humanos enteros. Cuando se implementa con éxito, TPM mejora drásticamente la productividad y la calidad y reduce los costos; esto es lo que nos indican Prabhuswamy et al. (2013).

Alexandrescu et al. (2011); manifiestan que el Mantenimiento Productivo Total es ahora una manera de aumentar la producción mientras se mantiene una alta calidad de la misma, de conformidad con las condiciones ambientales y de salud y seguridad, y el cumplimiento muy importante en la optimización económica

actual. Sin embargo, la implementación es un proceso complejo que se inicia a partir de los cambios muy radicales en el pensamiento de todo el personal de la empresa, el personal de administración y el personal ejecutivo y alcanzar cambios radicales en todos los departamentos de la empresa.

Para Bueno (2013), el mantenimiento productivo total o TPM (del inglés, Total Productive Maintenance) es una metodología de mantenimiento industrial desarrollada en Japón en los años cincuenta. Este sistema surge a partir de los conceptos básicos del mantenimiento preventivo, junto con otros conceptos de los sistemas productivos modernos como diferentes variantes de métodos para el control de calidad.

El TPM pretende alcanzar niveles de cero fallos, cero incidencias y cero defectos de forma que la producción sea optimizada y el rendimiento de las intervenciones de mantenimiento sea máximo. Para ello, el TPM busca mantener las instalaciones en su estado original (estado de referencia), a menos que en la aplicación del TPM se detecten posibles mejoras (mejora continua). (Bueno, 2013).

Para poder aplicar la TPM será necesario un cambio de mentalidad respecto a los equipos e instalaciones, asumiendo una búsqueda constante de modificaciones para evitar que estos fallen. Para esto habrá que detectar los posibles problemas, anticipándose a ellos mediante un análisis continuo de los descensos de rendimiento en cualquiera de las etapas del proceso productivo; y observar atentamente el proceso y aplicar el sentido común para conseguir que

los equipos operen dentro del rango que se haya definido como de referencia (Bueno, 2013).

Objetivos del TPM

- Aumentar la competitividad del proceso.
- Asegurar la operatividad de los equipos: se pretende alcanzar un nivel de cero averías, cero fallos.
- Aumentar la motivación de los trabajadores y que se involucren en el proyecto empresarial, que todos podrán aportar en la creación de un entorno más creativo, seguro, productivo y gratificante.
- Recopilar datos para poder realizar estudios estadísticos para valorar la adquisición de nuevos equipos y el rediseño de los equipos e instalaciones.
- Formar a las personas que trabajan diariamente con los equipos (Bueno, 2013).

1.1.2.5.Capacitación

La capacitación de los empleados es aquella información, aprendizaje básico que se le da al personal de una empresa para complementar los conocimientos y formación que ha llevado y así poder desempeñar su labor dentro de ella. Está orientada a la ya existente capacidad de los empleados para realizar sus labores dentro de una empresa, la cual está encaminada hacia un cambio positivo en los conocimientos, habilidades y actitudes del empleado. (Restrepo, 2017)

La importancia de la formación o capacitación de personal radica principalmente en su objetivo: mejorar los conocimientos y competencias de quienes integran una empresa, porque es a través de esas personas, de sus ideas, de sus proyectos, de sus capacidades y del desarrollo de sus labores como se desarrollan las organizaciones.

La capacitación es importante para una compañía porque es necesario aportar un personal mejor preparado, adiestrado, el cual hará que se desarrolle correctamente en sus actividades relacionadas a su puesto de trabajo. Con esto se espera que cada personal se encuentre en un puesto acorde a su perfil profesional. (Restrepo, 2017).

La formación o capacitación se debe realizar sin importar el nivel jerárquico y se desarrolla de acuerdo al cargo de cada trabajador. Para que se lleve a cabo de manera adecuada es necesario realizar una detección de necesidades de formación para el puesto específico con el fin de encontrar los problemas actuales. (Restrepo, 2017)

Existen herramientas empleadas para determinar los problemas y las necesidades de formación o capacitación, estas son:

- Evaluación de desempeño: con esta herramienta es posible descubrir a los empleados que vienen ejecutando sus tareas por debajo de un nivel satisfactorio y también averiguar qué sectores de la empresa reclaman una atención inmediata de capacitación.

- Observación: sirve para verificar dónde hay evidencia de trabajo ineficiente, daños de equipo, atrasos en el cronograma, pérdida de materia prima, número elevado de problemas disciplinarios, alto índice de ausentismo, rotación elevada, entre otros.
- Cuestionarios: consiste en investigaciones mediante cuestionarios y listas de verificación que evidencian las necesidades de capacitación.
- Solicitudes de supervisores y gerentes: muchas veces cuando la necesidad es muy alta, los propios gerentes y supervisores solicitan los programas de formación.
- Entrevistas con supervisores y gerentes: son contactos directos con supervisores y gerentes respecto de los problemas solucionables.
- Examen de empleados: estos exámenes determinarán el proceso de las tareas a realizar por cada empleado y su desempeño.
- Entrevistas de salida: aunque suene poco importante, cuando un empleado sale de una empresa, es el momento apropiado para conocer su opinión acerca de la empresa y su funcionamiento, también para conocer el desempeño y forma de trabajo de sus compañeros. (Restrepo, 2017)

1.1.2.6. Rentabilidad

a. Definición de VAN

También llamado VAN económico. Es el valor creado por el proyecto en un periodo determinado.

a) Cómo se calcula:

Descontando los flujos de caja libre al WACC.

b) Cómo se interpreta:

Un VAN del proyecto, descontado a un WACC del 10%, igual a 10 millones de euros, significa que el proyecto genera una rentabilidad del 10% anual que es la media ponderada de lo que los accionistas y suministradores de deuda exigen por su apoyo y financiación, más 10 millones de euros valorados en euros del momento cero, ya que son cantidades que han sido actualizadas a ese momento temporal. Una vez retribuidos accionistas y prestamistas según las tasas exigidas, los 10 millones de euros de VAN es la cuantificación de la creación. (Ortega, 2013)

c) Valores de VAN

1. VAN del proyecto > 0

El proyecto crea valor. Desde el punto de vista del modelo, el proyecto debe aceptarse, ya que genera una rentabilidad igual a la tasa de descuento utilizada, el WACC, más un plus valorado en unidades monetarias del momento actual que se corresponderá con el valor que tome el VAN y que servirán para la devolución y retribución de la deuda y para el pago al accionista. (Ortega, 2013)

2. VAN del proyecto < 0

El proyecto destruye valor. En este caso el proyecto debería rechazarse ya que no genera la rentabilidad que se le exige para retribuir a accionistas y devolver y retribuir igualmente la deuda que los suministradores de la misma han aportado.

3. VAN del proyecto $= 0$

El proyecto no crea ni destruye valor. El proyecto genera una rentabilidad exactamente igual a la tasa de descuento utilizada, en este caso el WACC. Su aceptación o no dependerá de lo seguros que estemos tanto en estimación de los flujos de caja previsto, como de la tasa de descuento. Incluso cualquier variación a la baja de los primeros o al alza del segundo, podría dar al traste con el cumplimiento de las tasas exigidas. (Ortega, 2013)

b. Definición de TIR

También llamado TIR financiero. Indica la rentabilidad en términos porcentuales que genera el proyecto para el accionista en un periodo determinado, después de haberse devuelto y retribuido convenientemente la deuda.

Cómo se calcula:

Partiendo de los flujos de caja para el accionista que genere el proyecto.

Cómo se interpreta:

Una TIR del accionista igual al 10%, significa que el proyecto genera un 10% anual de rentabilidad para el accionista. (Ortega, 2013)

Valores de la TIR:

1. TIR del accionista $>$ K_e

Deberíamos aceptar la inversión, ya que la rentabilidad del accionista está por encima del coste del equity, es decir de la rentabilidad mínima exigida por el accionista.

2. TIR del accionista < K_e

Deberíamos rechazar la inversión, ya que la rentabilidad del accionista está por debajo del coste del equity

3. TIR del accionista = K_e

La inversión genera exactamente la rentabilidad que el accionista le exige a la inversión. (Ortega, 2013)

1.1.3. Definiciones Conceptuales

- a) Disponibilidad: La disponibilidad es una función que permite calcular el porcentaje de tiempo total en que se puede esperar que un equipo esté disponible para cumplir la función para la cual fue destinado. La disponibilidad de un Ítem no implica necesariamente que esté funcionando, sino que se encuentra en condiciones de funcionar.
- b) Mantenimiento industrial: El mantenimiento industrial está definido como el conjunto de actividades encaminadas a garantizar el correcto funcionamiento de las máquinas e instalaciones que conforman un proceso de producción permitiendo que éste alcance su máximo rendimiento.
- c) Mantenimiento preventivo: Tareas de inspección, control y conservación de un equipo/componente con la finalidad de prevenir, detectar o corregir defectos, tratando de evitar averías en el mismo.
- d) Mantenimiento: Conjunto de técnicas y sistemas que permiten prever las averías, efectuar revisiones, engrases y tareas eficaces para evitar paros imprevistos, dando a la vez normas de buen funcionamiento a los usuarios

de las máquinas. Se busca alargar su vida de forma rentable manteniéndolas en su condición de diseño.

- e) Maquinaria: conjunto de máquinas que realizan trabajos para una misión o fin.
- f) Modo de falla: Un evento singular que causa una falla funcional.
- g) MTBF: Es el tiempo medio entre fallas.
- h) MTTF: Es el tiempo medio que transcurre para que se produzca una falla funcional.
- i) Plan de Mantenimiento: Relación detallada de las actuaciones de Mantenimiento que necesita un ítem o elemento y de los intervalos temporales con que deben efectuarse.
- j) Rentabilidad: Relación existente entre los beneficios que proporciona una determinada operación o cosa y la inversión o el esfuerzo que se ha hecho; cuando se trata del rendimiento financiero; se suele expresar en porcentajes.
- k) Requerimiento: Es la cantidad necesaria solicitada por un área sección de una empresa, teniendo en cuenta el Nivel de Stock Inicial y el Stock de Seguridad.
- l) Stock de Seguridad: Es un término utilizado en logística para describir el nivel extra de stock que se mantiene en almacén para hacer frente a eventuales roturas de stock. El stock de seguridad se genera para reducir las incertidumbres que se producen en la oferta y la demanda.

m) TTF: Es el tiempo que transcurre para que ocurra una falla funcional.

n) TTR: Es el tiempo que transcurre para que se haga una reparación.

1.2. Formulación del problema

¿Cuál es el impacto de la propuesta de mejora en el mantenimiento preventivo de los equipos de perforación sobre la rentabilidad de la empresa Open World Mining S.A.C. en el proyecto de perforación secundaria de la Minera Chinalco Perú S.A.?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Determinar el impacto de la propuesta de mejora en el mantenimiento preventivo de los equipos de perforación sobre la rentabilidad de la empresa Open World Mining S.A.C. en el proyecto de perforación secundaria de la Minera Chinalco Perú S.A.

1.3.2. Objetivos específicos

- Realizar el diagnóstico de la situación actual del mantenimiento de los equipos de perforación.
- Desarrollar la propuesta de mejora en el mantenimiento preventivo de los equipos de perforación.
- Realizar una evaluación económica financiera de la propuesta de mejora el mantenimiento preventivo de los equipos de perforación.

1.4. Hipótesis

La propuesta de mejora en el mantenimiento preventivo de los equipos de perforación incrementa la rentabilidad de la empresa Open World Mining S.A.C. en el proyecto de perforación secundaria de la Minera Chinalco Perú S.A.

1.5. Variables

Variable independiente

Propuesta de mejora en el mantenimiento preventivo de los equipos de perforación

Variable dependiente

Rentabilidad de la empresa Open World Mining S.A.C. en el proyecto de perforación secundaria de la Minera Chinalco Perú S.A.

1.5.1. Operacionalización de Variables

A continuación, en la tabla 2 se presenta la operacionalización de variables

Tabla 2

Operacionalización de variables

Operacionalización de Variables			
Variables	Definición Conceptual	Indicador	Fórmula
<p>INDEPENDIENTE: - Propuesta de mejora en el mantenimiento preventivo de los equipos de perforación</p>	<p>El plan de mantenimiento es el elemento en un modelo de gestión de activos que define los programas de mantenimiento a los activos (actividades periódicas preventivas, predictivas y detectivas), con los objetivos de mejorar la efectividad de estos, con tareas necesarias y oportunas, y de definir las frecuencias, las variables de control, el presupuesto de recursos y los procedimientos para cada actividad.</p>	Disponibilidad	Tiempo total de funcionamiento x 100% / (Tiempo total)
		% compras de emergencia por falta de stock de repuestos	Nº de requerimientos de repuestos no atendidos por falta de stock x 100% / Nº de requerimientos totales
		% de procedimientos de mantenimiento	Nº de procedimientos de mantenimiento x 100% / Nº de procedimientos totales
		% de trabajadores de mantenimiento de los equipos	Nº de trabajadores dedicados al mantenimiento de los equipos x 100% / Nº de trabajadores totales
		% de capacitaciones en temas de mantenimiento	Nº de capacitaciones en temas de mantenimiento x 100% / Nº capacitaciones totales
<p>DEPENDIENTE: - Rentabilidad de la empresa Open World Mining S. A. en el proyecto de perforación secundaria de la Minera Chinalco Perú S.A.</p>	<p>Relación existente entre los beneficios que proporciona una determinada operación o cosa y la inversión o el esfuerzo que se ha hecho; cuando se trata del rendimiento financiero; se suele expresar en porcentajes.</p>	Rentabilidad sobre las ventas	(Utilidad neta / Ventas netas) x 100%
		VAN	$VAN = \sum_{i=1}^n \frac{FC_i}{(1+r)^i} - I_0$
		TIR	$TIR = \sum_{T=0}^n \frac{Fn}{(1+i)^n} = 0$

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1. Tipo de Investigación

2.1.1. Por la orientación

El tipo de investigación que se presenta es de tipo aplicada, ya que este tipo de estudio busca dar solución a situaciones o problemas concretos e identificables. Según Baena (2014), la investigación aplicada tiene como objeto el estudio de un problema, es por ello que concentra su atención en las posibilidades concretas de llevar a la práctica las teorías generales, para resolver las necesidades que se plantean la sociedad y los hombres.

2.1.2. Por el diseño

Investigación diagnóstica y propositiva

2.2. Materiales, Instrumentos y Métodos

2.2.1. Materiales, Instrumentos y Métodos de Recolección de datos

En la tabla 3 se detallan las técnicas e instrumentos a utilizar en el estudio:

Tabla 3

Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Técnicas	Instrumentos	Fuentes	Objetivo	Procedimiento
Análisis documental	Hojas de mantenimiento, registros, cuaderno de apuntes	Base de datos de la empresa	Obtener información para tener una idea de la situación actual del mantenimiento.	Revisar data de mantenimiento de la empresa

Observación	Hojas de registro Cámara Cronómetro Lapicero	Operarios y equipos de perforación.	Identificar los problemas y fallas.	Observar el proceso productivo y del mantenimiento y anotar problemas que se identifiquen en ese momento.
-------------	---	---	---	---

Fuente: Elaboración propia

2.2.2. Instrumentos y métodos para procesar datos

Técnicas de estadística descriptiva

Los datos obtenidos se muestran mediante las siguientes herramientas:

Tabla 4

Instrumentos y métodos de procesamiento de datos

Herramienta	Descripción
Diagrama de Ishikawa	Se realizó para plasmar las causas raíces de los problemas de la baja rentabilidad de la empresa Open World Mining S.A.C.
Diagrama de flujo	Permite tener estructurado el proceso de mantenimiento actual.
Matriz de Indicadores	Se formula indicadores para la medición de las causas raíces principales

Fuente: Elaboración propia

Procesamiento de información

Para el procesamiento de la información se hizo uso de:

- Hoja de cálculo Excel, este programa fue de mucha utilidad para el desarrollo de las tablas y gráficos estadísticos los cuales son parte de la presente tesis.
- Bizagi: Para el desarrollo de los flujogramas.

2.3. Procedimiento

El procedimiento para el desarrollo del trabajo en la empresa es:

1. Levantamiento de información de mantenimiento de los equipos de perforación.
2. Observación de la gestión del mantenimiento actual de los equipos.
3. Entrevista no estructurada con los trabajadores del área de mantenimiento
4. Identificación de problemas de la baja rentabilidad de la empresa.
5. Análisis y costeo de las causas principales
6. Desarrollo de la propuesta de mejora en el mantenimiento preventivo de los equipos de perforación.
7. Evaluación del impacto económico de las propuestas de mejora.
8. Comparación de los resultados del diagnóstico y de las mejoras
9. Discusión de resultados y conclusiones.

2.3.1. Diagnóstico de la Realidad Actual de la Empresa

2.3.1.1. Datos de la empresa

- **RUC:** 20434819165
- **Razón Social:** OPEN WORLD MINING S.A.C.
- **Tipo Empresa:** Sociedad Anónima Cerrada
- **Condición:** Activo

- **Fecha Inicio Actividades:** 01 / Octubre / 2014
- **Actividades Comerciales:** Alquiler Otros Tipos Maq. y Equi. Ncp.
- **CIIU:** 71290
- **Dirección Legal:** Av. el Derby Nro. 254 Int. 804
- **Urbanización:** El Derby de Monterrico
- **Distrito / Ciudad:** Santiago de Surco
- **Departamento:** Lima, Perú

2.3.1.2. Rubro de la empresa

Empresa dedicada a dar soluciones integrales para los sectores de minería, industria, construcción, energía y portuario. Ofrece servicios de perforación secundaria, buffer, movimiento de tierras, construcción y mantenimiento de plantas concentradoras; de la mano de profesionales y técnicos altamente especializados en diferentes disciplinas con amplia experiencia aplicada en todo el proceso, cubriendo el área operativa como la de soporte.

2.3.2. Diagnóstico de la realidad actual de la empresa

a) Priorización de Causas Raíz

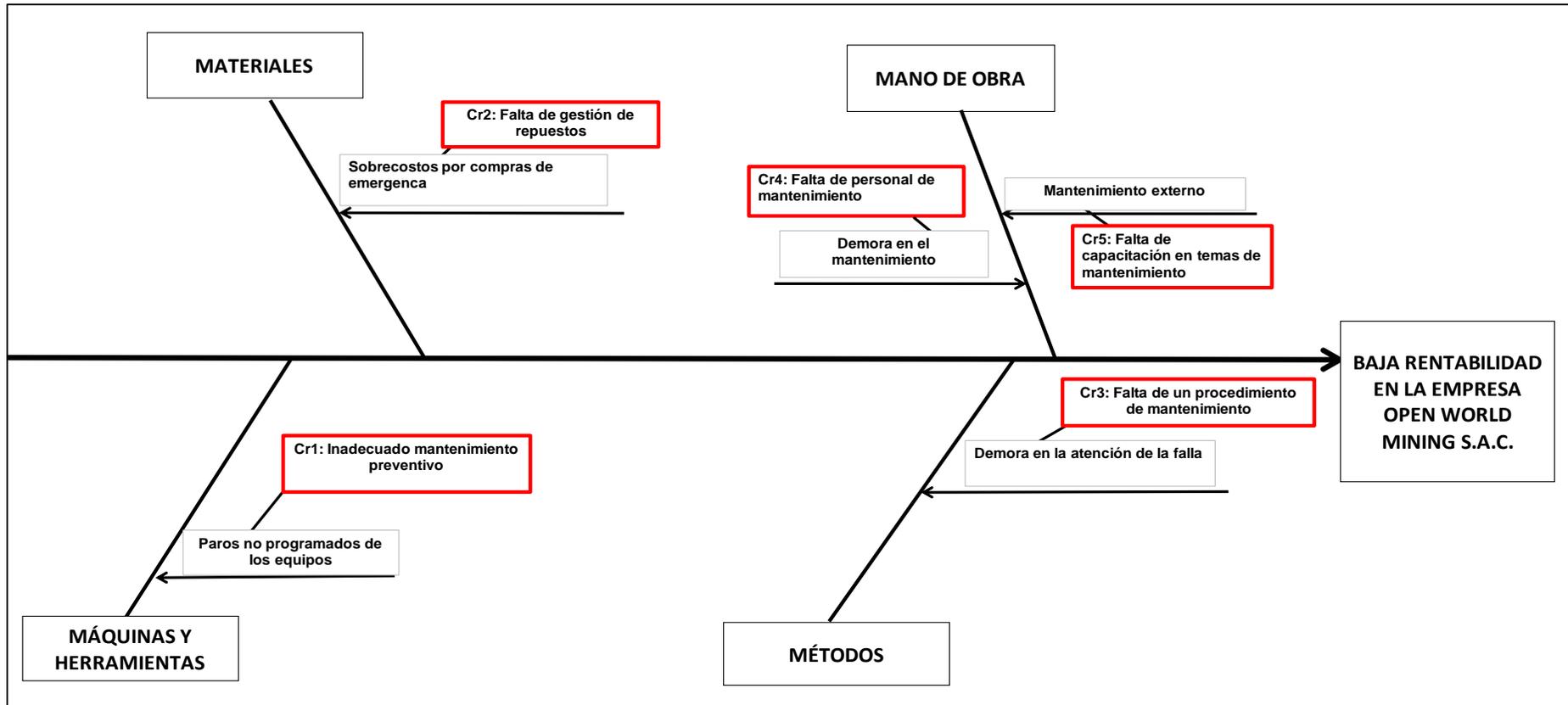


Figura 2. Diagrama de Ishikawa de la baja rentabilidad en la empresa Open World Mining S.A.C.

Fuente: Elaboración propia

Como se puede ver en la figura 2, se determinó a través del diagrama de Ishikawa que las causas raíces de la baja rentabilidad de la empresa Open World Mining S.A.C. a las cuales se les va a dar una solución son:

- Cr1- Falta de mantenimiento preventivo
- Cr2 - Falta de un procedimiento de mantenimiento
- Cr3 - Falta de equipos y herramientas para los mantenimientos
- Cr4 - Falta de personal de mantenimiento
- Cr5 - Falta de capacitación en temas de mantenimiento.

b) Identificación de Indicadores

A través de los indicadores se medirán y se seleccionarán las herramientas que mejorarán la gestión de mantenimiento, así como también se mostrará la inversión que representan estas herramientas de mejora.

Tabla 5

Identificación de indicadores

Causa	Descripción	Indicador	Fórmula	VALOR ACTUAL	Pérdidas actuales (S./anual)	VALOR META	Pérdidas esperadas (S./anual)	Beneficio	Propuesta de mejora	Inversión
CR1	Inadecuado mantenimiento preventivo	Disponibilidad	Tiempo total de funcionamiento x 100% / (Tiempo total)	64.8%	S/ 1,810,782.0	71.6%	S/ 1,094,588.51	S/ 716,193.5	Plan de mantenimiento preventivo	S/. 18,580.00
CR2	Falta de gestión de repuestos	% compras de emergencia por falta de stock de repuestos	N° de requerimientos de repuestos no atendidos por falta de stock x 100%/ N° de requerimientos totales	4.4%	S/ 100,175.0	2.3%	S/ 53,047.00	S/ 47,128.0	ABC, Máximos y mínimos en función de la criticidad de repuestos	S/. 2,500.00
CR3	Inadecuado procedimiento de mantenimiento	% de procedimientos de mantenimiento	N° de procedimientos de mantenimiento x 100% / N° de procedimientos totales	2.6%	S/ 60,519.4	7.5%	S/ 18,270.00	S/ 42,249.4	Procedimiento de mantenimiento	S/. 180.00
CR4	Falta de personal de mantenimiento	% de trabajadores de mantenimiento de los equipos	N° de trabajadores dedicados al mantenimiento de los equipos x 100%/ N° de trabajadores totales	11.1%	S/ 132,390.3	15.8%	S/ 58,847.04	S/ 73,543.3	Contratación de personal	S/. 49,000.00
CR5	Falta de capacitación en temas de mantenimiento	% de capacitaciones en temas de mantenimiento	N° de capacitaciones en temas de mantenimiento x 100% /N° capacitaciones totales	11.1%	S/ 379,462.0	33.3%	S/ 240,078.14	S/ 139,383.9	Cronograma de capacitación	S/. 32,820.00
TOTAL					S/ 2,483,328.7		S/ 1,464,830.7	S/ 1,018,498.0		S/. 103,080.00

Fuente: Elaboración propia

2.3.3. Descripción de la propuesta de mejora

En la siguiente tabla se muestra las propuestas de mejora a desarrollar para dar solución a las causas raíces identificadas.

Tabla 6

Propuesta de mejora seleccionadas

Causa	Descripción	Propuesta de mejora
CR1	Inadecuado mantenimiento preventivo	Plan de mantenimiento preventivo
CR2	Falta de gestión de repuestos	ABC, Máximos y mínimos en función de la criticidad de repuestos
CR3	Inadecuado procedimiento de mantenimiento	Procedimiento de mantenimiento
CR4	Falta de personal de mantenimiento	Contratación de personal
CR5	Falta de capacitación en temas de mantenimiento	Cronograma de capacitación

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se llevará a cabo el desarrollo de las propuestas de mejora seleccionadas para cada causa raíz.

2.3.3.1. Causa Raíz 1: Inadecuado mantenimiento preventivo

2.3.3.1.1. Diagnóstico de Costos Perdidos

A continuación, en la tabla 7, se presentan los indicadores actuales de mantenimiento de los equipos con los que cuenta la empresa.

Tabla 7

Pérdida por inadecuado mantenimiento preventivo

EQUIPO	N° PARADAS	Tiempo de reparación (1)	Tiempo de demora en entrega de repuestos (2)	TTR (1+2)	Demora operativa	Tiempo total	Tiempo total de funcionamiento	MTTR	MTB F	DISPONIBILIDAD AD	Metros por hora de avance	Metros dejados de perforar	PÉRDIDA ANUAL	
ROC L6	45	237	58.5	295.5	200	1320	824.5	6.57	18	62.5%	40.00	11820.00	S/.	319,140
ROC L8	48	190	62.4	252.4	280	1320	787.6	5.26	16	59.7%	40.00	10096.00	S/.	272,592
JD1400E	60	21	78	99	259	1488	1130	1.65	19	75.9%	35.00	3465.00	S/.	93,555
HCR 1500	55	230	71.5	301.5	298	1320	720.5	5.48	13	54.6%	35.00	10552.50	S/.	284,918
660	48	220	62.4	282.4	350	1560	927.6	5.88	19	59.5%	35.00	9884.00	S/.	266,868
F9	48	210	90	300	240	1512	972	6.25	20	64.3%	35.00	10500.00	S/.	283,500
F9C	67	220	87.1	307.1	300	2640	2032.9	4.58	30	77.0%	35.00	10748.50	S/.	290,210
Total	371	1328	509.9	1837.9	1927	11160	7395.1	5.10	20	64.8%	35.00	67066.00	S/.	1,810,782

Fuente: Elaboración propia

Como se puede apreciar en la tabla 7, la empresa actualmente tiene 7 máquinas perforadoras las cuales son utilizadas para las excavaciones mineras.

Estos equipos en el año 2019 tuvieron un total de 371 fallas debido al inadecuado mantenimiento preventivo y esto a su vez generó que se tenga un Tiempo total de reparaciones de 1837.9 horas.

Esto generó que la disponibilidad total de los equipos para el 2019 fuera de 64.8%.

Para valorizar la pérdida por el inadecuado mantenimiento preventivo se procedió a multiplicar las horas de reparación por los metros/ hora de avance de perforación de cada equipo, llegando a determinar que se dejó de perforar 67066 metros, luego se multiplicó por el costo por metro de avance el cual es de S/.27 soles, dando como resultado una pérdida anual de S/.1, 810,782.

2.3.3.1.2. Solución propuesta

Para dar solución a esta causa raíz se procedió a elaborar un plan de mantenimiento preventivo para las 7 perforadoras el cual se muestra a continuación.

Para llevar a cabo el desarrollo de la propuesta de mejora del plan de mantenimiento preventivo se tendrá que seguir los siguientes pasos:

1) Inventario de los equipos

Como primer paso para el desarrollo de un plan de mantenimiento se tiene que tener identificado los equipos con los que cuenta la empresa actualmente, es por ello que se procedió a realizar un inventario de equipos.

Tabla 8

Inventario de los equipos de producción

N°	TIPO	CANTIDAD	NOMBRE	MARCA
1	PERFORADORA MARTILLO EN EL FONDO	1	ROC L6	ATLAS COPCO
2	PERFORADORA MARTILLO EN EL FONDO	1	ROC L8	ATLAS COPCO
3	PERFORADORA MARTILLO EN CABEZA	1	JD1400E	JUNJIN
4	PERFORADORA MARTILLO EN CABEZA	1	HCR 1500	FURUKAWA
5	PERFORADORA MARTILLO EN CABEZA	1	660	ATLAS COPCO
6	PERFORADORA MARTILLO EN CABEZA	1	F9	ATLAS COPCO
7	PERFORADORA MARTILLO EN CABEZA	1	F9C	ATLAS COPCO
TOTAL				

Fuente: Elaboración propia

2) Codificación de los equipos

Se procedió a codificar los equipos de producción con la finalidad de usar estos códigos para los diferentes formatos de mantenimiento.

Tabla 9

Códigos de los equipos de producción

N°	TIPO	CANTIDAD	NOMBRE	MARCA	CODIGO
1	PERFORADORA MARTILLO EN EL FONDO	1	ROC L6	ATLAS COPCO	PMF-1
2	PERFORADORA MARTILLO EN EL FONDO	1	ROC L8	ATLAS COPCO	PMF-2
3	PERFORADORA MARTILLO EN CABEZA	1	JD1400E	JUNJIN	PMC-1
4	PERFORADORA MARTILLO EN CABEZA	1	HCR 1500	FURUKAWA	PMC-2

5	PERFORADORA MARTILLO EN CABEZA	1	660	ATLAS COPCO	PMC-3
6	PERFORADORA MARTILLO EN CABEZA	1	F9	ATLAS COPCO	PMC-4
7	PERFORADORA MARTILLO EN CABEZA	1	F9C	ATLAS COPCO	PMC-5
TOTAL		7			

Fuente: Elaboración propia

3) Análisis de criticidad de los equipos

Para determinar a qué equipo se les va a realizar el plan de mantenimiento preventivo se tuvo que realizar un análisis de criticidad de los equipos.

Al realizar este análisis de criticidad se tuvo en cuenta los siguientes factores:

A. Factor de velocidad de manifestación de la falla

Período P-F (Potential failure – Functional failure): es el tiempo que puede transcurrir entre el momento en que se detecta una falla potencial y el momento en que esta se transforma en falla funcional.

B. Factor de seguridad del personal y del ambiente

El foco es evaluar las consecuencias que la falla podría ocasionar sobre las personas y su impacto sobre el ambiente.

C. Factor de costos de parada de producción

Permite establecer criterios para la categorización de los equipamientos conforme a las consecuencias sobre el proceso de producción y satisfacción de la demanda.

D. Factor de costos de reparación

Permite determinar criterios de clasificación de las fallas de acuerdo con los costos directos de reparación.

Cabe mencionar que estos factores tienen un determinado peso, el cual se muestra a continuación:

- Velocidad de manifestación de falla: 30%
- Seguridad del Personal y Ambiente: 10%
- Costos de la parada de producción: 30%
- Costos de Reparación: 30%

Luego de sumar todos los factores por equipo se procede a determinar la criticidad en base a los siguientes criterios:

- Crítico: Si obtiene un puntaje mayor a 80.
- Semi crítico: Si obtiene un puntaje entre 50 y 80.
- No crítico: Si obtiene un puntaje menor a 50.

En la tabla 10, se muestra el análisis de criticidad desarrollado en los equipos de producción:

Asimismo, en la tabla 11, se muestra que luego del análisis de criticidad se obtuvo que de los 7 tipos son críticos en el aspecto de mantenimiento e importantes para la rentabilidad de la empresa.

Tabla 10

Análisis de criticidad

NOMBRE DEL EQUIPO	VELOCIDAD				SEGURIDAD				COSTO DE PARADA			COSTO DE REPARACIÓN		
	Muy corto, no da tiempo para detener la máquina.	Corto, es posible detener la máquina.	Suficiente, es posible programar la intervención.	Sin consecuencias	Efecto temporal sobre personas, no afecta el ambiente	Efecto temporal sobre las personas y ambiente.	Efecto irreversible sobre las personas	Efecto irreversible sobre las personas y ambiente	No implica demora en la entrega	Implica demora de corto tiempo en la entrega	Implica demora y pérdida de clientes	Clasificación A: RELATIVAMENTE BAJO	Clasificación B: MEDIANO	Clasificación C: ELEVADO
ROC L6	1				1						1			1
ROC L8	1				1						1			1
JD1400E	1				1						1			1
HCR 1500	1				1						1			1
660	1				1						1			1
F9	1				1						1			1
F9C	1				1						1			1
Factores	1	0.5	0.2	0.2	0.4	0.6	0.9	1	0.1	0.3	1	0	1	1

Fuente: Elaboración propia

Tabla 11

Resultados del análisis de criticidad de los equipos de producción

Resultado de Criticidad		
ROC L6	94	Crítico
ROC L8	94	Crítico
JD1400E	94	Crítico
HCR 1500	94	Crítico
660	94	Crítico
F9	94	Crítico
F9C	94	Crítico

Fuente: Elaboración propia

4) Elaboración de un programa de Mantenimiento Preventivo

A continuación, se procedió a realizar un plan de mantenimiento preventivo para los equipos Críticos.

Este plan de mantenimiento preventivo fue realizado teniendo en cuenta las recomendaciones de los proveedores y jefe de mantenimiento de la empresa.

Cabe mencionar que algunos mantenimientos preventivos ya se estaban desarrollando sin embargo se agregó otras actividades necesarias para alargar la vida útil de los mismos y de esta forma lograr reducir el número de paros no programados por mantenimientos correctivos.

PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE LOS EQUIPOS DEL ÁREA DE PRODUCCIÓN DE OPERN WORLD MINING S.A.C.																					
MAQUINA / EQUIPO	DESCRIPCION	SISTEMA	FRECUENCIA	HORAS																	
				1500	1750	2000	2250	2500	2750	3000	3250	3500	3750	4000	4250	4500	4750	5000	5250	5500	5750
PERFORADORAS	Cambio de aceite	MOTOR	250 horas																		
	Cambio de filtro de aceite	MOTOR	250 horas																		
	Cambio de filtro de petróleo	MOTOR	250 horas																		
	Cambio de filtro de aire	MOTOR	250 horas																		
	Llenado de refrigerante y eléctrica	MOTOR	1000 horas																		
	Cambio de aceite	COMPRESOR	1500 horas																		
	Cambio de filtro de aceite	COMPRESOR	1000 horas																		
	Cambio de filtro de aire	COMPRESOR	1000 horas																		
	Cambio de filtro separador	COMPRESOR	4000 horas																		
	Revisión general	COMPRESOR	2000 horas																		
	hidráulico	HIDRAULICO	1500 horas																		
	Cambio de filtro de succión	HIDRAULICO	3000 horas																		
	Cambio de filtro de retorno	HIDRAULICO	1500 horas																		
	Cambio de aceite	HIDRAULICO	800 horas																		
	Cambio de aceite	M. AVANCE	801 horas																		
	Cambio de aceite	FINALES	802 horas																		
	Cambio de aceite	CARRUCEL	803 horas																		
	polvo	M.POLVO	2000 horas																		
	Cambio de filtro de cabina	CABINA	1000 horas																		
	Cambio de aceite	MARTILLO	1000 horas																		
reemplazo	MARTILLO	avance																			
Engrase de articulaciones	ENGRASE	semanal																			
Engrase de acoples	ENGRASE	semanal																			
Lavado del equipo	UNIDAD	semanal																			
REVISABLE CADA 2 MESES																					

Figura 3. Plan de mantenimiento propuesto para las perforadoras

Fuente: Elaboración propia

También se determinó que para el desarrollo de todas las actividades de mantenimiento preventivo será necesario la adquisición de equipos que permitan hacer una detección de fallas de los componentes de la máquina antes de que el componente necesite un recambio.

Los equipos predictivos necesarios para hacer un seguimiento de las condiciones y parámetros de los equipos son lo que se muestran en la tabla 12.

Tabla 12

Equipos predictivos para el mantenimiento de los equipos

LISTA DE EQUIPOS	COSTO UNITARIO	VIDA UTIL (AÑOS)	CANTIDAD	TOTAL
Vibró metro	S/. 4,500.00	5	2	S/. 9,000.00
Termógrafo	S/. 2,500.00	5	2	S/. 5,000.00
Multímetro	S/. 1,200.00	5	2	S/. 2,400.00
Viscosímetro	S/. 1,000.00	5	2	S/. 2,000.00
	TOTAL			S/. 18,400.00

Fuente: Elaboración propia

Como se puede apreciar el costo de los equipos predictivos es de S/.18,400.00

Con el plan de mantenimiento preventivo propuesto se espera reducir el número de fallas de 371 a 224, con lo cual se logró incrementar la disponibilidad de los equipos de producción de 64.8% a 71.6%, con lo cual se redujo la pérdida anual de S/.1,810,782.00 a S/.1,094,589.00, así como se muestra en la tabla 13.

Tabla 13

Indicadores de mantenimiento con el plan de mantenimiento propuesto

EQUIPO	N° PARADAS	Tiempo de reparación (1)	Tiempo de demora en entrega de repuestos (2)	TTR (1+2)	Demora operativa	Tiempo total	Tiempo total de funcionamiento	MTTR	MTBF	DISPONIBILIDAD	Metros por hora de avance	Metros dejados de perforar	PÉRDIDA ANUAL
ROC L6	27	142.20	36.00	178.20	200.00	1320.00	941.80	6.60	34.88	71.3%	40.00	7128.00	S/. 192,456
ROC L8	29	114.79	38.00	152.79	280.00	1320.00	887.21	5.27	30.59	67.2%	40.00	6111.67	S/. 165,015
JD1400E	36	12.60	47.00	59.60	259.00	1488.00	1169.40	1.66	32.48	78.6%	35.00	2086.00	S/. 56,322
HCR 1500	33	138.00	43.00	181.00	298.00	1320.00	841.00	5.48	25.48	63.7%	35.00	6335.00	S/. 171,045
660	29	132.92	38.00	170.92	350.00	1560.00	1039.08	5.89	35.83	66.6%	35.00	5982.08	S/. 161,516
F9	29	126.88	54.00	180.88	240.00	1512.00	1091.13	6.24	37.63	72.2%	35.00	6330.63	S/. 170,927
F9C	41	134.63	53.00	187.63	300.00	2640.00	2152.37	4.58	52.50	81.5%	35.00	6566.94	S/. 177,307
Total	224	802.01	309.00	1111.01	1927.00	11160.00	8121.99	5.10	35.63	71.6%	35.00	40540.32	S/. 1,094,589

Fuente: Elaboración propia

2.3.3.2.Causa Raíz 2: Falta de gestión de repuestos

2.3.3.2.1. Diagnóstico de Costos Perdidos

Actualmente la empresa ha estado teniendo tiempos de demora en la entrega de los repuestos necesarios para el desarrollo de los mantenimientos y esto debido a que no se tiene una adecuada gestión del stock de los repuestos críticos.

En el año 2019 del total de tiempo de reparación el cual fue de 1837.9 horas de las cuales 509.9 horas son de tiempo de demora, así como se mostró en la tabla de indicadores actuales de mantenimiento (véase la tabla 7).

Tabla 14

% Pérdida por falta de gestión de repuestos

Meses	Nº de requerimientos realizados por parte de mantenimiento al almacén	Nº de requerimientos no atendidos por falta de stock	Porcentaje de requerimientos no atendidos por falta de stock	Costo por compras de emergencia
Enero	55	2	3.6%	S/6,556.00
Febrero	60	3	5.0%	S/8,403.00
Marzo	71	3	4.2%	S/7,743.00
Abril	69	3	4.3%	S/11,127.00
Mayo	85	4	4.7%	S/12,976.00
Junio	61	3	4.9%	S/7,437.00
Julio	56	3	5.4%	S/6,642.00
Agosto	66	3	4.5%	S/7,329.00
Setiembre	58	2	3.4%	S/4,688.00
Octubre	51	3	5.9%	S/12,720.00
Noviembre	65	2	3.1%	S/8,934.00
Diciembre	55	2	3.6%	S/5,620.00
Total	752	33	4.4%	S/100,175.00

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 14, se aprecia que en año 2019 se tuvo un total de 752 requerimientos por parte del área de mantenimiento al almacén de los cuales el 4.4% (33 requerimientos), no fueron atendidos lo que generó que se hiciera compras de emergencia que generaron un sobre costo de S/.100,589.00

2.3.3.2.2. Solución propuesta

Para dar solución a este problema se propuso aplicar la clasificación ABC en función de la utilización para determinar cuáles son los repuestos más críticos y adicional a ello realizar un adecuado seguimiento del stock a través del método de máximos y mínimos.

Aplicación de la clasificación ABC por utilización

Para la aplicación de este método se llevó a cabo los siguientes pasos:

1. Se identificó los repuestos y sus respectivas salidas del almacén durante el año 2019.
2. Se ordenó de mayor a menor en función de las salidas de los repuestos.
3. Se determinó el valor de consumo y valor de consumo acumulado.
4. Por último, se determinó la clasificación a la que pertenecen siguiendo los siguientes criterios:

Tabla 15

Criterios de la clasificación ABC

Valor de consumo acum. (%)	Clasificación
0- 80%	A
80%-95%	B
95%-100%	C

Fuente: Elaboración propia

La clasificación ABC se puede ver en el anexo 1.

A continuación, se muestra los resultados de la clasificación ABC.

Tabla 16

Clasificación ABC en función de las familias

PARTICIPACION ACUMULADA	PRODUCTOS	%	CLASIFICACIÓN
0- 80%	33	31%	A
80%-95%	45	43%	B
95%-100%	27	26%	C
	105	100%	

Fuente: Elaboración propia

Como se puede ver en la tabla 16, el 31% de los productos corresponden a la clasificación A, esto es equivalente a 33 productos de los 105 productos totales que se almacenaron, para los productos de tipo B se clasificaron el 43% de los productos, los cuales son 45 productos, y por último los artículos de tipo C son el 26% del total de productos que equivale a 27 productos. A los productos que obtuvieron la clasificación A, se les denominara repuestos críticos los cuales tienen que tener una adecuada gestión del stock para asegurar el mantenimiento adecuado y a tiempo.

a. Método de los máximos y mínimos

Para mejorar la gestión del stock de los repuestos, se procedió a aplicar el método de máximos y mínimos como alternativa para mejorar el control del inventario y reducir los quiebres de stock en el almacén.

Desarrollo del método de Máximos y Mínimos

Para el desarrollo de este método se debe tener en cuenta las siguientes formulas:

Pp: Punto de pedido

Tr: Tiempo de reposición de inventario (en días)

Cp: Consumo medio diario

Cmx: Consumo máximo diario

Cmn: Consumo mínimo diario

Emx: Existencia máxima

Emn: Existencia mínima (Inventario de seguridad)

CP: Cantidad de pedido

E: Existencia actual

Las fórmulas matemáticas utilizadas en la técnica son:

Emn: $Cmn * Tr$;

Pp: $(Cp * Tr) + Emn$

Emx: $(Cmx * Tr) + Emn$;

CP: $Emx - E$

Aplicación del método

Como ejemplo se trabajará con el material: ACEITE HIDRAULICO - RANDO HD 68 (véase la tabla 17)

Tr: Tiempo de reposición de inventario (en días) = 3 días

Cp: Consumo medio diario = 80 gl

Cmx: Consumo máximo diario = 97 gl

Cmn: Consumo mínimo diario = 72 gl

E: Existencia actual = 100 gl

Existencia mínima (Inventario de seguridad) = Emn = (72 gl/día * 3 días) = 216 gl.

Existencia máxima = Emx = (97 gl./día * 3 días) + 216 gl. = 507 gl.

Punto de pedido = Pp = (80 gl./día * 3 días) + 216 gl. = 456 gl.

Cantidad de pedido = CP = (507 - 100) = 407 gl.

Lo cual indica que el punto en el cual se debe emitir una solicitud interna de compra corresponda al punto en el cual el inventario de ACEITE HIDRAULICO alcance un mínimo de 216 gl. (lo cual corresponde a asegurar la satisfacción de la demanda durante los 3 días que tarda en arribar el pedido+ la cantidad de seguridad). Además, permite determinar que se requiere pedir 407 gl.

A continuación, se detalla los cálculos realizados para el resto de repuestos.

Tabla 17

Método de máximos y mínimos de los ítems del almacén

Descripción	UNIDAD	Tiempo de Reposición (Tr-Días)	Consumo Promedio (Cp-Diario)	Consumo Máximo (CM-Diario)	Consumo Mínimo (Cm-Diario)	Existencia Máxima (EM)	Existencia Mínima (Em)	Existencia Acutal E	Punto de Pedido (Pp)	Cantidad de Pedido	Indicador Comprar	PROCESO ACTUAL
ACEITE HIDRAULICO - RANDO HD 68	GL	3	80.00	97	72.00	507.00	216.00	100	456	407	COMPRAR	En proceso de Compras
GRASA MULTIPROPOSITO MARFAK EP2	GL	3	76.00	89	64.00	459	192	150	420	309	COMPRAR	En proceso de Compras
ACEITE DE PERFORACION - ARIES 150	GL	3	77.00	90	65.00	465	195	150	426	315	COMPRAR	En proceso de Compras
ACEITE DE TRANSMISION 85W-140	GL	3	86.00	99	74.00	519	222	150	480	369	COMPRAR	En proceso de Compras
REFRIGERANTE - DELO PREMIXSER 50/50	GL	3	71.00	84	59.00	429	177	150	390	279	COMPRAR	En proceso de Compras
REFRIGERANTE - DELO PREMIXSER 50/50	GL	3	80.00	93	68.00	483	204	150	444	333	COMPRAR	En proceso de Compras
ACEITE DE COMPRESOR - PAROIL S	GL	3	83.00	97	72.00	507	216	150	465	357		Tenemos stock
ACEITE DE MOTOR 15W-40 - LUMINARIA	GL	3	77.00	90	65.00	465	195	150	426	315		Tenemos stock
ACEITE DE MOTOR 15W-40	GL	3	67.00	80	55.00	405	165	150	366	255	COMPRAR	En proceso de Compras
FUEL FILTER 3222343171 / 326-1644	Und	3	8.00	10	6.00	48	18	150	42	-102		Tenemos stock
AIR FILTER KIT - COMPRESOR X7700693	Und	3	10.00	12	8.00	60	24	5	54	55	COMPRAR	En proceso de Compras
FILTRO SECUNDARIO DE MOTOR 3222188164	Und	3	8.00	10	6.00	48	18	6	42	42	COMPRAR	En proceso de Compras
FILTRO DE TANQUE DE AGUA 3222342999	Und	3	10.00	12	8.00	60	24	2	54	58	COMPRAR	En proceso de Compras
PRE FILTRO AIRE CABINA 3222324642	Und	3	8.00	10	6.00	48	18	6.5	42	42	COMPRAR	En proceso de Compras
FILTRO PRINCIPAL DE A/C 3222325378 / 201525L086	Und	3	10.00	12	8.00	60	24	0	54	60	COMPRAR	En proceso de Compras
AIR FILTER 3222986146	Und	3	8.00	10	6.00	48	18	0	42	48	COMPRAR	En proceso de Compras
FILTRO AIRE PRIMARIO 3222188161 / P786197	Und	3	10.00	12	8.00	60	24	7	54	53	COMPRAR	En proceso de Compras
FILTRO SEPARADOR AGUA/COMBUSTIBLE 2914866400 (326-1643)	Und	3	10.00	12	8.00	60	24	5	54	55	COMPRAR	En proceso de Compras
FILTRO DE AIRE DEL SISTEMA DE COMBUSTIBLE 3222118000	Und	3	8.00	10	6.00	48	18	500	42	-452		Tenemos stock
SEALING 3222349137 / 201525L092	Und	3	8.00	10	6.00	48	18	100	42	-52		Tenemos stock

Fuente: Elaboración propia

Con las mejoras realizadas en la gestión de repuestos se espera reducir el % de requerimientos no atendidos por falta de stock de 4.4% (33 requerimientos) a 2.3% (17 requerimientos), con lo cual se espera reducir la pérdida por sobrecostos de compras de emergencia de S/. 100, 175.00 a S/. 53, 047.00, así como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 18

Reducción de la pérdida por la falta de gestión de repuestos

Meses	N° de requerimientos realizados por parte de mantenimiento al almacén	N° de requerimientos no atendidos por falta de stock	Porcentaje de requerimientos no atendidos por falta de stock	Costo por compras de emergencia
Enero	55	1	1.8%	S/3,278.00
Febrero	60	2	3.3%	S/5,602.00
Marzo	71	1	1.4%	S/2,581.00
Abril	69	2	2.9%	S/7,418.00
Mayo	85	2	2.4%	S/6,488.00
Junio	61	1	1.6%	S/2,479.00
Julio	56	1	1.8%	S/2,214.00
Agosto	66	2	3.0%	S/4,886.00
Setiembre	58	1	1.7%	S/2,344.00
Octubre	51	2	3.9%	S/8,480.00
Noviembre	65	1	1.5%	S/4,467.00
Diciembre	55	1	1.8%	S/2,810.00
Total	752	17	2.3%	S/53,047.00

Fuente: Elaboración propia

2.3.3.3. Causa raíz 3: Inadecuado procedimiento de mantenimiento

La empresa actualmente tiene en total 38 procedimientos de los cuales solo 1 (3%) pertenece al área de mantenimiento. Sin embargo, este procedimiento no

está relacionado directamente al desarrollo del mantenimiento preventivo, sino que está enfocado netamente al enfoque de atención de fallas correctivas.

Tabla 19

Porcentaje de procedimientos de mantenimiento actual

Áreas	N° de procedimientos actuales
Recursos Humanos	12
Logística	5
Producción	5
Mantenimiento	1
SSOMA	15
Total de procedimientos	38
% de procedimientos de mantenimiento	3%

Fuente: Elaboración propia

2.3.3.3.1. Diagnóstico de Costos Perdidos

Debido a que no cuenta con un procedimiento definido para el área de mantenimiento, no se registran las ocurrencias de las posibles causas de las fallas que se dan en los equipos de producción, esto genera tiempos de demora a la hora de realizar los mantenimientos, ya que el mecánico tiene que preguntar a los operarios acerca de las posibles causas de las fallas para determinar el problema que hay que solucionar.

En el año 2019, se determinó que en promedio se demora 10 minutos por fallas debido a la falta de un procedimiento de mantenimiento y esto generó un tiempo

total perdido de 61.83 horas, lo cual representa una pérdida anual de S/.60,519.38; así como se muestra en la tabla 20.

Tabla 20

Pérdida por la falta de procedimiento de mantenimiento

	Actual
Número de fallas	371
Tiempo promedio desde que falla el equipo hasta que se atiende la falla (min)	10
Tiempo total por falta de personal de un procedimiento de mantenimiento (horas)	61.83
Pérdida anual	S/. 60,519.38

Fuente: Elaboración propia

2.3.3.3.2. Solución propuesta

Para dar solución a esta causa raíz se procedió a elaborar un procedimiento de mantenimiento que contemple al mantenimiento preventivo y predictivo.

Adicional a ello para complementar el procedimiento de mantenimiento se elaboró formatos (véase anexo 2, 3 y 4) los cuales son necesarios para que las inspecciones, fallas y mantenimientos realizados sean registrados y de esta forma tener un historial del mantenimiento realizado a los equipos de producción para que posteriormente sea de utilidad cuando se necesite investigar una posible falla.

A continuación, en la figura 5, se presenta el diagrama del procedimiento de mantenimiento para la empresa Open World Mining S.A.C.

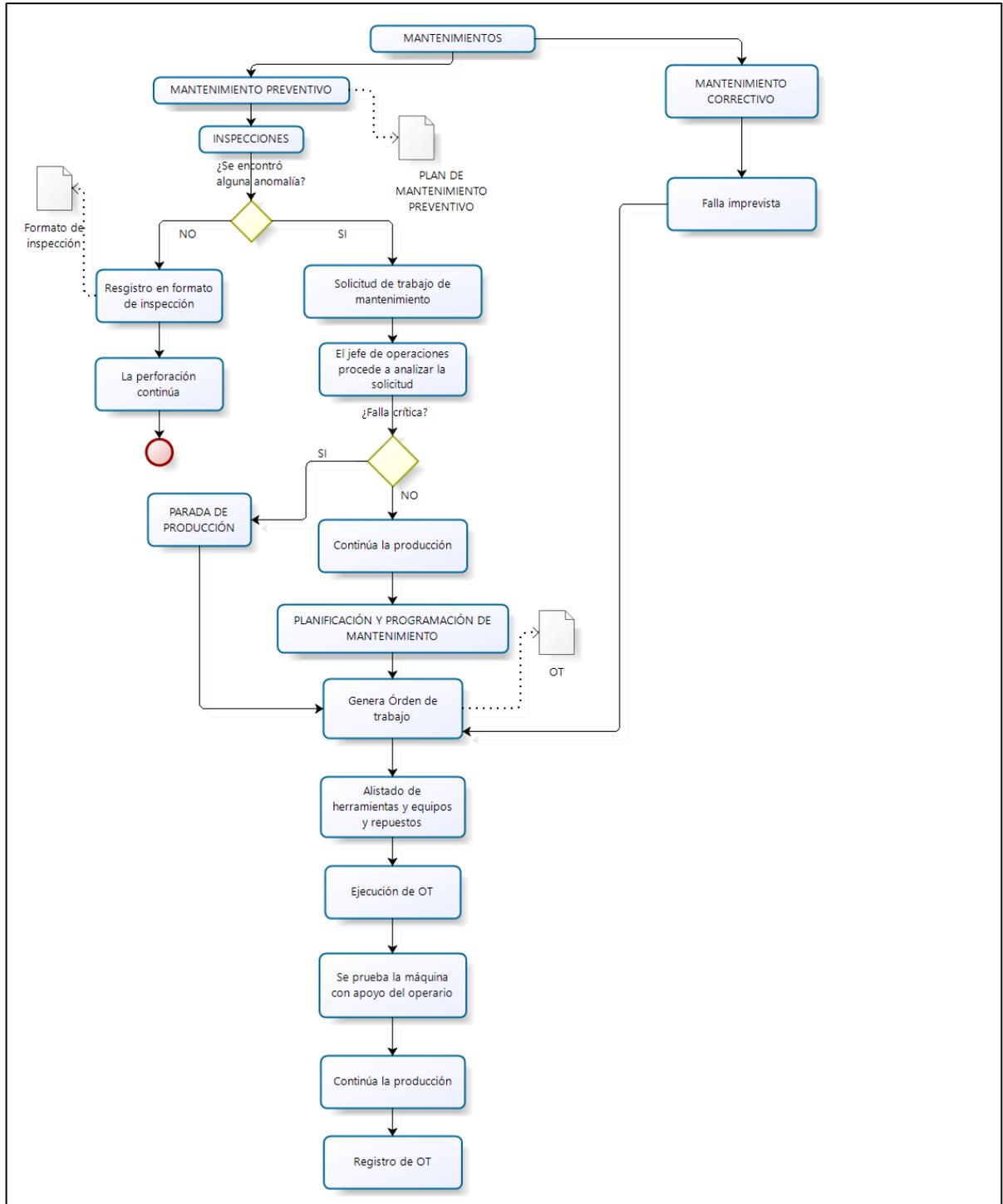


Figura 4. Procedimiento de mantenimiento preventivo

Fuente: Elaboración propia

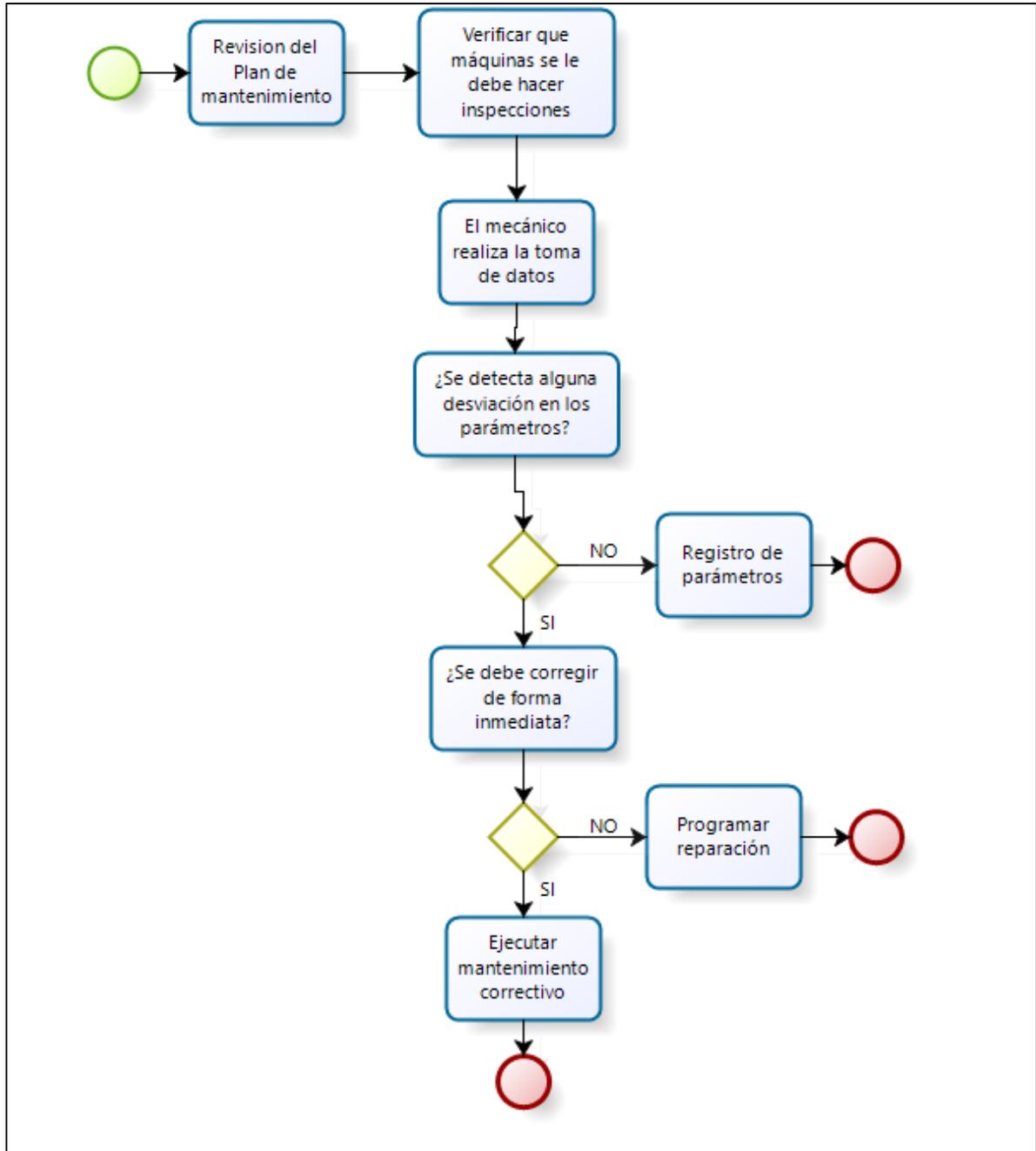


Figura 5. Procedimiento de inspecciones con los equipos predictivos

Fuente: Elaboración propia

Con los procedimientos de mantenimientos propuestos para la empresa se espera reducir el tiempo para determinar la falla de 10 a 5 minutos, esto a su vez redujo el tiempo perdido de 61.83 a 18.67 horas, reduciendo la pérdida anual de S/.60,519.38 a S/.18,270.00, así como se muestra en la tabla 21.

Tabla 21

Reducción de la pérdida por falta de un procedimiento de mantenimiento

	Actual	Con la mejora
Número de fallas	371	224
Tiempo promedio desde que falla el equipo hasta que se atiende la falla (min)	10	5
Tiempo total por falta de personal de un procedimiento de mantenimiento (horas)	61.83	18.67
Pérdida anual	S/. 60,519.38	S/. 18,270.00

Fuente: Elaboración propia

Adicional a ello el procedimiento de mantenimiento propuesto incrementó el % de procedimientos de mantenimiento de 3% a 8%, así como se muestra en la tabla 22.

Tabla 22

Incremento del porcentaje de procedimientos de mantenimiento

Áreas	N° de procedimientos actuales	N° de procedimientos con la mejora
Recursos Humanos	12	12
Logística	5	5
Producción	5	5
Mantenimiento	1	3
SSOMA	15	15
Total de procedimientos	38	40
% de procedimientos de mantenimiento	3%	8%

Fuente: Elaboración propia

2.3.3.4. Causa Raíz 4: Falta de personal de mantenimiento

La empresa actualmente cuenta con solo 2 personas a cargo del mantenimiento de las máquinas, sin embargo, no se dan abasto ya que los maquinas son grandes y en ocasiones hay 2 máquinas que fallan a la vez, esto ocasiona que no se pueda atender otra máquina en el tiempo que sucede la falla.

Tabla 23

% de personal de mantenimiento

Áreas	N° de colaboradores antes de la mejora
Logística	2
Producción	12
Mantenimiento	2
SSOMA	2
N° total de colaboradores	18
% de personal de mantenimiento	11%

Fuente: Elaboración propia

2.3.3.4.1. Diagnóstico de Costos Perdidos

La falta de personal de mantenimiento generó un tiempo de demora por la espera del mecánico.

En el año 2019, se tuvo un total de 371 fallas que fueron atendidas de manera interna de las cuales 36 fallas fueron atendidas con demoras por falta de personal, esto generó un tiempo de espera de 134.5 horas lo que represento una pérdida anual de S/.132,390.32, así como se muestra en la tabla 24.

Tabla 24

Pérdida por falta de personal de mantenimiento

Meses	Fallas atendidas por personal interno de mantenimiento	N° de veces que una máquina quedó a la espera de ser atendida por falta de personal de mantenimiento	Tiempo de espera (horas)	Pérdida por tiempo de espera
Enero	26	3	12	S/11,745.00
Febrero	33	2	9	S/8,678.57
Marzo	30	2	12	S/11,340.00
Abril	32	4	11	S/10,395.00
Mayo	28	3	9	S/8,505.00
Junio	30	3	12	S/11,340.00
Julio	25	3	15	S/14,175.00
Agosto	38	2	14	S/14,175.00
Setiembre	35	4	13	S/14,040.00
Octubre	34	3	11	S/11,385.00
Noviembre	35	3	9.5	S/9,618.75
Diciembre	25	4	7	S/6,993.00
Total	371	36	134.5	S/132,390.32

Fuente: Elaboración propia

2.3.3.4.2. Solución propuesta

Para dar solución a esta causa raíz se consideró necesario contratar un mecánico que se encargue del mantenimiento de los equipos de producción, pero que tenga

conocimientos en técnicas predictivas, para de esta manera el ayude a las inspecciones con los equipos predictivos.

A continuación, se presenta le perfil de puesto del nuevo colaborador para el área de mantenimiento.

PERFIL DE TÉCNICO MECÁNICO

FUNCIONES:

- Identificar y plantear mejoras en las actividades operativas de mantenimiento.
- Definir cronogramas y secuencias para la ejecución de trabajos de mantenimiento.
- Llevas a cabo inspecciones predictivas de las máquinas.
- Coordinar la disponibilidad de repuestos y materiales necesarios para la ejecución de los planes de mantenimiento.
- Coordinar la disponibilidad de información técnica requerida para ejecución de actividades (especificaciones, manuales, planos)
- Otras funciones indicadas por su superior inmediato.

FORMACION:

- Técnico
- Experiencia en mantenimiento mecánico y eléctrico de Maquinaria pesada.
- Conocimientos en Gestión de inventarios, Conocimientos de Office Nivel Usuario.
- Conocimiento de RCM y técnicas predictivas.
- Capacidad Orden y Organización, de Adaptación, Desarrollo de Otros, Identidad y Sentido de Pertenencia, Liderazgo, Orientación al logro y los resultados, Trabajo en Equipo, Vocación de Servicio al Cliente Interno y Externo, Aprendizaje continuo y adaptación al Cambio.

EXPERIENCIA:

- Experiencia acreditada en el mantenimiento de maquinaria pesada de 2 años como mínimo.
- Sueldo mensual: S/.3,500.00

Cabe mencionar que el costo anual del técnico mecánico es de S/.49,000.00.

Con la contratación del nuevo técnico mecánico, se espera reducir el número de veces que una maquina fue atendida con demora de 36 a 16, reduciendo la pérdida anua por las horas de demora de S/.132,390. 32 a S/.58,847.04 y esto a su vez incrementó el % de trabajadores de mantenimiento a 16%; así como se muestra en las tablas 25 y 26.

Tabla 25

Reducción de la pérdida por falta de personal de mantenimiento

Meses	Número de fallas	Nº de veces que una máquina quedó a la espera de ser atendida por falta de personal de mantenimiento	Tiempo de espera (horas)	Pérdida por tiempo de espera
Enero	26	1	4.00	S/3,915.00
Febrero	33	1	4.50	S/4,339.29
Marzo	30	1	6.00	S/5,670.00
Abril	32	2	5.50	S/5,197.50
Mayo	28	1	3.00	S/2,835.00
Junio	30	2	8.00	S/7,560.00
Julio	25	1	5.00	S/4,725.00
Agosto	38	1	7.00	S/7,087.50
Setiembre	35	2	6.50	S/7,020.00
Octubre	34	1	3.67	S/3,795.00
Noviembre	35	1	3.17	S/3,206.25
Diciembre	25	2	3.50	S/3,496.50
Total	371	16	59.83	S/58,847.04

Fuente: Elaboración propia

Tabla 26

% de colaboradores de mantenimiento con la mejora

Áreas	Nº de colaboradores antes de la mejora	Nº de colaboradores después de la mejora
Logística	2	2
Producción	12	12
Mantenimiento	2	3
SSOMA	2	2
Nº total de colaboradores	18	19
% de personal de mantenimiento	11%	16%

Fuente: Elaboración propia

2.3.3.5. Causa Raíz 5: Falta de capacitación en temas de mantenimiento

La empresa Open World Mining en el 2019, brindó un total de 18 capacitaciones de las cuales solo 2 fueron destinadas para el personal de mantenimiento, sin embargo, estas capacitaciones estaban relacionados con el uso de los equipos y los indicadores de mantenimiento, pero ninguno estaba enfocado en las actividades de mantenimiento preventivo, ya que la empresa les da prioridad a otras áreas en el tema de capacitación.

Tabla 27

% de capacitación al personal de mantenimiento.

Nº de capacitaciones al personal	2019
Recursos Humanos	2
Logística	4
Producción	4
Mantenimiento	2
SSOMA	6
Nº total de capacitaciones	18
% de capacitación al personal de mantenimiento	11%

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 27, se aprecia que el % actual de capacitación al personal de mantenimiento es de 11%.

2.3.3.5.1. Diagnóstico de Costos Perdidos

La falta de capacitación originó que muchas de las fallas fueran atendidas por personal externo, es por ello que el 35.3% (131 fallas) de las fallas fueron atendidas de manera externa, generando un costo de S/379,462.00, así como se muestra en la tabla 28.

Tabla 28

Pérdida por mantenimiento externo

Meses	Número de fallas	Fallas atendidas por personal interno de mantenimiento	Fallas atendidas de manera externa	% de fallas atendidas de manera externa	Pérdida por mantenimiento externo
Enero	26	16	10.0	38.5%	S/. 30,000.00
Febrero	33	19	14.0	42.4%	S/. 37,654.00
Marzo	30	18	12.0	40.0%	S/. 33,540.00
Abril	32	19	13.0	40.6%	S/. 39,000.00
Mayo	28	17	11.0	39.3%	S/. 33,000.00
Junio	30	18	12.0	40.0%	S/. 28,956.00
Julio	25	17	8.0	32.0%	S/. 24,000.00
Agosto	38	25	13.0	34.2%	S/. 39,000.00
Septiembre	35	20	15.0	42.9%	S/. 45,000.00
Octubre	34	25	9.0	26.5%	S/. 25,436.00
Noviembre	35	27	8.0	22.9%	S/. 24,000.00
Diciembre	25	19	6.0	24.0%	S/. 19,876.00
Total	371	240	131.0	35.3%	S/. 379,462.00

Fuente: Elaboración propia

2.3.3.5.2. Solución propuesta

Para dar solución a esta causa raíz se consideró necesario realizar un cronograma de capacitaciones en temas de mantenimiento dirigido al personal de mantenimiento y a los operarios de los equipos.

A continuación, se presenta el cronograma de capacitaciones propuesto.

Tabla 29

Cronograma de capacitaciones en temas de mantenimiento

N°	TEMA DE CAPACITACIÓN	CRONOGRAMA												HORAS	COSTO	
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic			
1	Mantenimiento preventivo de perforadoras	X													4	S/. 5,000
2	Gestión del Mantenimiento Predictivo			X											4	S/. 5,000
3	Indicadores de Mantenimiento					X									4	S/. 5,000
4	Técnicas predictivas								X						4	S/. 5,000
5	Operatividad y manejo de las perforadoras									X					4	S/. 5,000
6	Costos de Mantenimiento Industrial												X		4	S/. 5,000
TOTAL														24	S/. 30,000.00	

Fuente: Elaboración propia

Como se puede apreciar en la tabla 29, el cronograma de capacitaciones está conformado por 6 temas, los cuales se desarrollarán en 24 horas y tendrá un costo de S/30,000.00.

El cronograma de capacitación permitió reducir el porcentaje de fallas atendidas de manera externa de 35.3% a 22.4%, reduciendo la pérdida por el mantenimiento externo de S/379,462.00 a S/240,078.14, así como se muestra en la tabla 30.

Tabla 30

Reducción de la pérdida por mantenimiento externo

Meses	Número de fallas	Fallas atendidas por los operarios	Fallas atendidas de manera externa	% de fallas atendidas de manera externa	Pérdida por mantenimiento externo
Enero	26	20	6	23.1%	S/. 18,000.00
Febrero	33	24	9	27.3%	S/. 24,206.14
Marzo	30	22	8	26.7%	S/. 22,360.00
Abril	32	24	8	25.0%	S/. 24,000.00
Mayo	28	21	7	25.0%	S/. 21,000.00
Junio	30	22	8	26.7%	S/. 19,304.00
Julio	25	20	5	20.0%	S/. 15,000.00
Agosto	38	30	8	21.1%	S/. 24,000.00
Septiembre	35	26	9	25.7%	S/. 27,000.00
Octubre	34	28	6	17.6%	S/. 16,957.33
Noviembre	35	30	5	14.3%	S/. 15,000.00
Diciembre	25	21	4	16.0%	S/. 13,250.67
Total	371	288	83	22.4%	S/. 240,078.14

Fuente: Elaboración propia

Con el cronograma de capacitación propuesto, se espera incrementar el indicador del % de capacitación al personal de mantenimiento de 11 a 33%, así como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 31

Incremento del porcentaje de capacitación al personal de mantenimiento

N° de capacitaciones al personal	2019	Con la mejora
Recursos Humanos	2	2
Logística	4	4
Producción	4	4
Mantenimiento	2	8
SSOMA	6	6
N° total de capacitaciones	18	24
% de capacitación al personal de mantenimiento	11%	33%

Fuente: Elaboración propia

Impacto en la rentabilidad

Con las propuestas de mejora se generó un ahorro anual de S/.1,018,498,00, y esto a su vez permitió incrementar la rentabilidad sobre las ventas de la empresa de 37.5% a 37.67%, así como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 32

Incremento de la rentabilidad

	2019	Con las propuestas de mejora	Impacto
Ventas (soles)	S/. 7,206,003	S/. 8,224,501	14%
Utilidad neta	S/. 2,702,251	S/. 3,098,204	S/. 395,953
Rentabilidad	37.50%	37.67%	0.17%

Fuente: Elaboración propia

3.1 Evaluación Económica

a) Inversión para la propuesta de mejora

Para el desarrollo de las propuestas de mejora en el mantenimiento preventivo de los equipos de perforación de la empresa Open World Mining S.A.C., es necesario realizar la inversión que se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 33

Inversión para el plan de mantenimiento preventivo

Inversión - Plan de mantenimiento preventivo	Unidad de medida	Cantidad	Costo Unitario	Costo total	Vida útil	Depreciación mensual
Impresiones	Unidad	40	S/. 3.00	S/. 120.00		
Alquiler de Proyector	Horas	2	S/. 30.00	S/. 60.00		
Vibrómetro	Unidad	2	S/. 4,500.00	S/. 9,000.00	5	S/. 150.00
Termógrafo	Unidad	2	S/. 2,500.00	S/. 5,000.00	5	S/. 59.33
Multímetro	Unidad	2	S/. 1,200.00	S/. 2,400.00	5	S/. 47.70
Viscosímetro	Unidad	2	S/. 1,000.00	S/. 2,000.00	5	S/. 29.90
Total				S/. 18,580.00		S/. 286.93

Fuente: Elaboración propia

Como se puede ver en la tabla 33, la inversión total para el desarrollo del plan de mantenimiento preventivo es de S/18,580.00 y se tiene una depreciación mensual de S/286.93.

Tabla 34

Inversión para la propuesta de la gestión de repuestos

Inversión - Gestión de repuestos	Unidad de medida	Cantidad	Costo Unitario	Costo total	Vida útil	Depreciación mensual
Laptop	Unidad	1	S/. 2,500.00	S/. 2,500.00	10	S/. 20.83
Total				S/. 2,500.00		S/. 20.83

Fuente: Elaboración propia

Como se puede ver en la tabla 34, la inversión total para el desarrollo de la gestión de repuestos es de S/2,500.00 con una depreciación mensual de S/20.83.

Tabla 35

Inversión de la propuesta del procedimiento de mantenimiento

Inversión -						
Procedimiento de mantenimiento	Unidad de medida	Cantidad	Costo Unitario	Costo total	Vida útil	Depreciación mensual
Impresiones	Unidad	40	S/ 3.00	S/ 120.00		
Alquiler de Proyector	Horas	2	S/ 30.00	S/ 60.00		
	Total			S/ 180.00		

Fuente: Elaboración propia

Como se puede ver en la tabla 35, la inversión total para el desarrollo del procedimiento de mantenimiento es de S/180.00.

Tabla 36

Inversión de la propuesta de contratación de personal

Inversión - Contratación de personal	Unidad de medida	Cantidad	Costo Unitario	Costo total
Mecánico para los mantenimientos	Unidad	1	S/ 49,000.00	S/ 49,000.00
	Total			S/ 49,000.00

Fuente: Elaboración propia

Como se puede ver en la tabla 36, la inversión total para la contratación del mecánico se hará una inversión de S/49,000.00.

Tabla 37

Inversión para el desarrollo de las capacitaciones

Inversión -	Unidad de	Cantidad	Costo Unitario	Costo total
Cronograma de	medida			
capacitación				
Capacitación	Horas	24	S/. 1,250.00	S/. 30,000.00
Alquiler de				
Proyector	Horas	24	S/. 30.00	S/. 720.00
Break	Und	6	S/. 350.00	S/. 2,100.00
	Total			S/. 32,820.00

Fuente: Elaboración propia

Como se puede ver en la tabla 37, la inversión total para el desarrollo de las capacitaciones se hará una inversión de S/.32, 820.00.

b) Ahorro implementando la propuesta

1. El plan de mantenimiento preventivo propuesto redujo el número de fallas de 371 a 224, con lo cual se incrementa la disponibilidad de los equipos de producción de 64.8% a 71.6%, reduciendo la pérdida anual de S/.1,810,782.00 a S/.1,094,589.00.
2. La gestión de repuestos redujo el % de requerimientos no atendidos por falta de stock de 4.4% (33 requerimientos) a 2.3% (17 requerimientos), con lo cual se reduce la pérdida por sobrecostos de compras de emergencia de S/. 100, 175.00 a S/. 53, 047.00.
3. Con los procedimientos de mantenimientos propuestos se espera reducir el tiempo para determinar la falla de 10 a 5 minutos, esto a su vez reduce el tiempo perdido

de 61.83 a 18.67 horas, reduciendo la pérdida anual de S/.60,519.38 a S/.18,270.00.

4. Con la contratación del nuevo técnico mecánico redujo el número de veces que una máquina fue atendida con demora de 36 a 16, reduciendo la pérdida anual por las horas de demora de S/.132,390.32 a S/.58,847.04.
5. El cronograma de capacitación permitió reducir el porcentaje de fallas atendidas de manera externa de 35.3% a 22.4%, reduciendo la pérdida por el mantenimiento externo de S/.379,462.00 a S/.240,078.14.

Con las propuestas de mejora se generó un ahorro anual de S/.1,018,498,00, y esto a su vez permitió incrementar la rentabilidad sobre las ventas de la empresa de 37.5% a 37.67% A continuación en la tabla 38 se detalla los ingresos obtenidos con las propuestas de mejora para cada causa raíz.

Tabla 38

Ingresos generados por la propuesta de mejora en un año

CR	DESCRIPCIÓN	AHORRO ANUAL	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
CR1	Inadecuado mantenimiento preventivo	S/. 716,193	S/. 10,792	S/. 37,697	S/. 33,544	S/. 37,708	S/. 53,337	S/. 46,961	S/. 61,720	S/. 63,522	S/. 52,199	S/. 78,168	S/. 90,175	S/. 150,371	S/. 716,193
CR2	Falta de gestión de repuestos	S/. 47,128	S/. 710	S/. 2,481	S/. 2,207	S/. 2,481	S/. 3,510	S/. 3,090	S/. 4,061	S/. 4,180	S/. 3,435	S/. 5,144	S/. 5,934	S/. 9,895	S/. 47,128
CR3	Inadecuado procedimiento de mantenimiento	S/. 42,249	S/. 637	S/. 2,224	S/. 1,979	S/. 2,224	S/. 3,146	S/. 2,770	S/. 3,641	S/. 3,747	S/. 3,079	S/. 4,611	S/. 5,320	S/. 8,871	S/. 42,249
CR4	Falta de personal de mantenimiento	S/. 73,543	S/. 1,108	S/. 3,871	S/. 3,445	S/. 3,872	S/. 5,477	S/. 4,822	S/. 6,338	S/. 6,523	S/. 5,360	S/. 8,027	S/. 9,260	S/. 15,441	S/. 73,543
CR5	Falta de capacitación en temas de mantenimiento	S/. 139,384	S/. 2,100	S/. 7,337	S/. 6,528	S/. 7,339	S/. 10,380	S/. 9,139	S/. 12,012	S/. 12,363	S/. 10,159	S/. 15,213	S/. 17,550	S/. 29,265	S/. 139,384
INGRESO TOTAL		S/. 1,018,498	S/. 15,347	S/. 53,609	S/. 47,703	S/. 53,624	S/. 75,851	S/. 66,783	S/. 87,772	S/. 90,335	S/. 74,232	S/. 111,163	S/. 128,237	S/. 213,842	S/. 1,018,498

Fuente: Elaboración propia

c) Estado de resultados

Costo de oportunidad anual: 18% anual Tasa mensual: 1.39%

Tabla 39

Estado de resultados anual

Anual	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Ingresos	S/. 15,347	S/. 53,609	S/. 47,703	S/. 53,624	S/. 75,851	S/. 66,783	S/. 87,772	S/. 90,335	S/. 74,232	S/. 111,163	S/. 128,237	S/. 213,842	
Costos Operativos	S/. 6,139	S/. 21,444	S/. 19,081	S/. 21,450	S/. 30,340	S/. 26,713	S/. 35,109	S/. 36,134	S/. 29,693	S/. 44,465	S/. 51,295	S/. 85,537	
Depreciación	S/. 307	S/. 307	S/. 307										
Utilidad bruta	S/. 8,901	S/. 31,859	S/. 28,315	S/. 31,868	S/. 45,204	S/. 39,763	S/. 52,357	S/. 53,894	S/. 44,233	S/. 66,391	S/. 76,636	S/. 127,998	
Gav	S/. 767	S/. 2,680	S/. 2,385	S/. 2,681	S/. 3,793	S/. 3,339	S/. 4,389	S/. 4,517	S/. 3,712	S/. 5,558	S/. 6,412	S/. 10,692	
Utilidad antes de impuestos	S/. 8,134	S/. 29,178	S/. 25,930	S/. 29,186	S/. 41,411	S/. 36,424	S/. 47,968	S/. 49,377	S/. 40,521	S/. 60,833	S/. 70,224	S/. 117,306	
Impuesto a la renta	S/. 2,400	S/. 8,608	S/. 7,649	S/. 8,610	S/. 12,216	S/. 10,745	S/. 14,151	S/. 14,566	S/. 11,954	S/. 17,946	S/. 20,716	S/. 34,605	
Utilidad después de impuestos	S/. 5,735	S/. 20,571	S/. 18,281	S/. 20,576	S/. 29,195	S/. 25,679	S/. 33,817	S/. 34,811	S/. 28,567	S/. 42,887	S/. 49,508	S/. 82,701	

Fuente: Elaboración propia

d) Cálculo del TIR/VAN

Tabla 40

Indicadores económicos

Anual	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Flujo neto Efectivo	-S/. 103,080	S/. 6,041	S/. 20,877	S/. 18,586	S/. 20,881	S/. 29,499	S/. 25,982	S/. 34,119	S/. 35,112	S/. 28,867	S/. 43,186	S/. 49,805	S/. 82,998
Ingresos totales		S/. 15,347	S/. 53,609	S/. 47,703	S/. 53,624	S/. 75,851	S/. 66,783	S/. 87,772	S/. 90,335	S/. 74,232	S/. 111,163	S/. 128,237	S/. 213,842
Egresos totales		S/. 9,306	S/. 32,732	S/. 29,116	S/. 32,741	S/. 46,349	S/. 40,798	S/. 53,648	S/. 55,217	S/. 45,358	S/. 67,969	S/. 78,423	S/. 130,834
VAN ingresos	S/. 910,399												
VAN egresos	S/. 186,769												
PAYBACK	3.49	meses											
VAN	S/. 250,872												
TIR	20.8%	> COK	18% ANUAL										
B/C	1.64												

Fuente: Elaboración propia

Como se puede ver en la tabla 40, se hizo una evaluación económica de 12 meses de horizonte de tiempo. Los resultados de la evaluación económica son:

- Un VAN positivo de S/. 250,872.
- Un TIR de 20.8% mayor al costo de oportunidad anual de la empresa de 18% anual.
- Un B/C de 1.64, lo que significa que por cada sol invertido se obtiene una ganancia de S/. 0.64.
- Un Periodo de recuperación de la inversión (PRI) de 3.49 meses

Por lo antes mencionado se concluye que la presente investigación es RENTABLE.

CAPÍTULO III. RESULTADOS

1. Con el plan de mantenimiento preventivo propuesto se espera reducir el número de fallas de 371 a 224, con lo cual se redujo la pérdida anual de S/.1,810,782.00 a S/.1,094,589.00, así como se muestra en la figura 6.

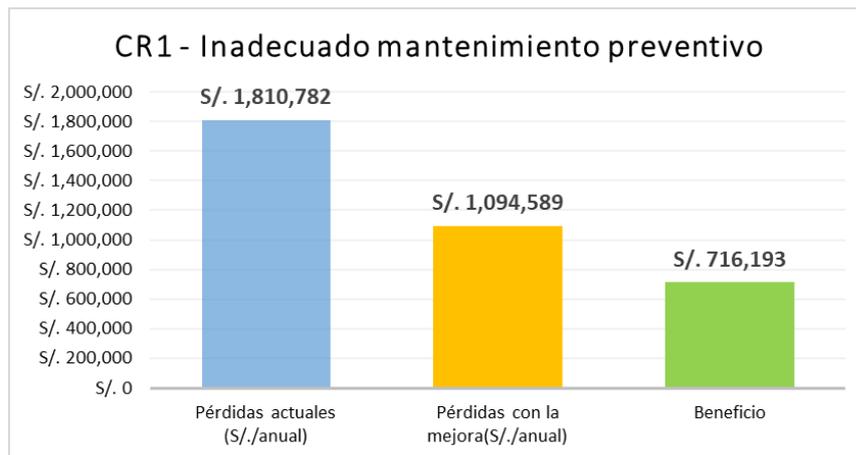


Figura 6. Valores de pérdida actual y mejorada de la Cr1

Fuente: Elaboración propia

2. Con las mejoras realizadas en la gestión de repuestos se redujo la pérdida por sobrecostos de compras de emergencia de S/. 100, 175.00 a S/. 53, 047.00, así como se muestra en la figura 7.

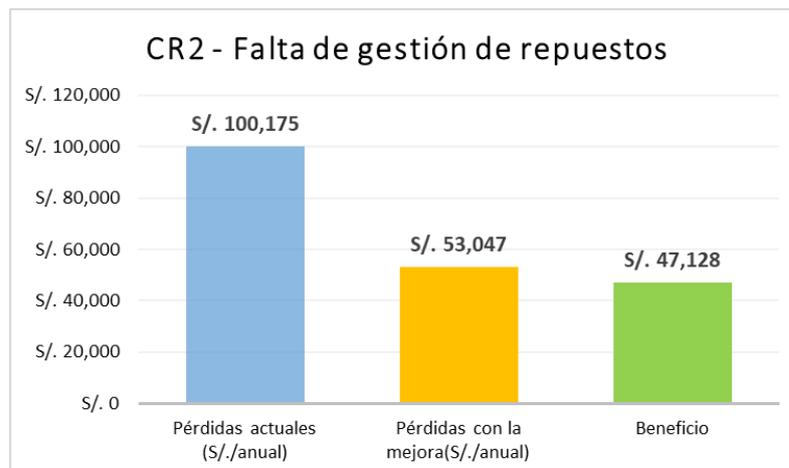


Figura 7. Valores de pérdida actual y mejorada de la Cr2

Fuente: Elaboración propia

3. Con los procedimientos de mantenimientos propuestos para la empresa se espera reducir el tiempo para determinar la falla de 10 a 5 minutos, esto a su vez redujo la pérdida anual de S/ .60,519.38 a S/ .18,270.00, así como se muestra en la figura 8.

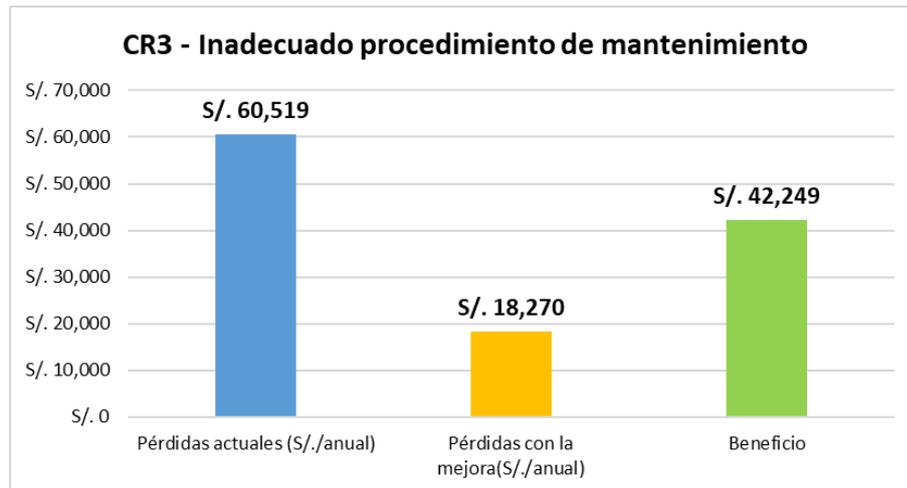


Figura 8. Valores de pérdida actual y mejorada de la Cr3

Fuente: Elaboración propia

4. La contratación del nuevo técnico mecánico, redujo el número de veces que una maquina fue atendida con demora de 36 a 16, reduciendo la pérdida anual por las horas de demora de S/ .132,390. 32 a S/ .58,847.04.

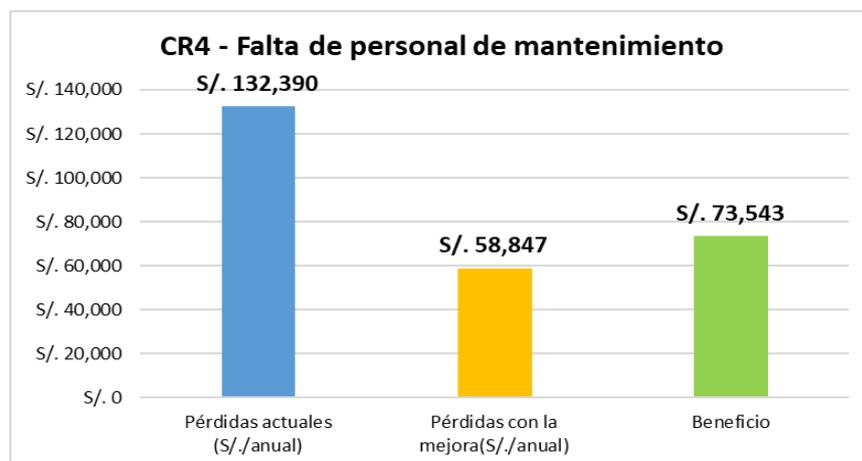


Figura 9. Valores de pérdida actual y mejorada de la Cr4

Fuente: Elaboración propia

5. El cronograma de capacitación permitió reducir el porcentaje de fallas atendidas de manera externa de 35.3% a 22.4%, reduciendo la pérdida por el mantenimiento externo de S/.379,462.00 a S/./240,078.14, así como se muestra en la figura 10.

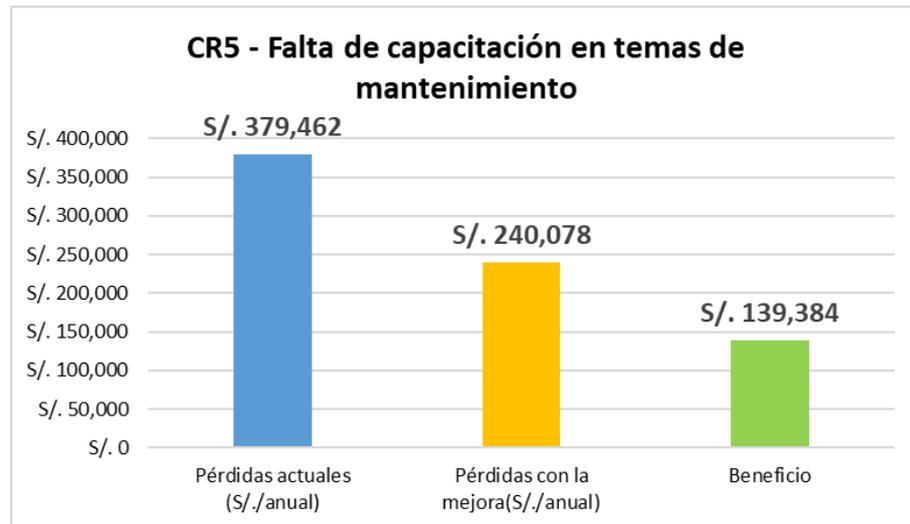


Figura 10. Valores de pérdida actual y mejorada de la Cr5

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1 Discusión

En la presente investigación se ha recolectado información para solucionar los problemas del mantenimiento preventivo de las perforadoras para incrementar la rentabilidad de la empresa Open World Mining S.A.C. en el proyecto de perforación secundaria de la Minera Chinalco Perú S.A., por lo cual fue comparada con los resultados de las otras investigaciones que hayan aplicado mejoras similares.

Bolaños (2018), en su tesis mediante la aplicación de las siguientes herramientas: plan de mantenimiento preventivo y la adquisición de un software, procedimientos, Clasificación ABC; en su actual gestión de mantenimiento logró incrementar la rentabilidad de la empresa de 15% a 16.4%. Alvites y Chavesta (2018), en su investigación también lograron incrementar la rentabilidad de la empresa de transportes de 92.4% a 95%, aplicado mejoras en su gestión de mantenimiento tales como: plan de mantenimiento preventivo, cuáles son los procedimientos, clasificación ABC, codificación de repuestos gestión de la documentación y un programa de capacitación. Campos (2018), también logro incrementar la rentabilidad de la empresa a 36.4%.

En el caso de nuestra investigación mediante la aplicación de herramientas como: Plan de mantenimiento preventivo, ABC, Máximos y mínimos, procedimiento de mantenimiento, contratación de personal y un cronograma de capacitación, generó un ahorro anual de S/.1, 018,498.00 permitiendo a su vez incrementar también la rentabilidad de la empresa de 37.5% a 37.67%.

4.2 Conclusiones

- Con la propuesta de mejora en el mantenimiento preventivo de los equipos de perforación se logró incrementar la rentabilidad de la empresa Open World Mining S.A.C. en el proyecto de perforación secundaria de la Minera Chinalco Perú S.A. de 37.5% a 37.67%.
- Se realizó el diagnóstico de la situación actual del mantenimiento de los equipos de perforación, encontrando que los principales problemas son: El Inadecuado mantenimiento preventivo generó una pérdida anual de S/.1,810,782.00, la falta de gestión de repuestos generó una pérdida anual de S/.100,175.00, el inadecuado procedimiento de mantenimiento generó una pérdida anual de S/.60,519.40, la falta de personal de mantenimiento generó una pérdida anual de S/.132,390.30 y por último la falta de capacitación en temas de mantenimiento generó una pérdida anual de S/.379,462.00.
- Se desarrolló la propuesta de mejora en el mantenimiento preventivo de los equipos de perforación, la cual consistió en la aplicación de: Plan de mantenimiento preventivo, ABC, Máximos y mínimos, procedimiento de mantenimiento, contratación de personal y un cronograma de capacitación; generando un ahorro anual de S/. 1,018,498.30.
- Se realizó la evaluación económica / financiera de la propuesta de mejora en un periodo 12 meses, dando como resultado que el proyecto es RENTABLE ya que se obtuvo un: VAN de S/. 250,872., TIR de 20.8%, B/C de 1.64 y un PRI de 3.49 meses.

REFERENCIAS

- Alexandrescu, L. et al. (2011). Implementation of TPM Principles I (First Steps). Recuperado de: <http://web.b.ebscohost.com/ehost/detail/detail?sid=cedf7bab-ec8d40f6acb01310a48f7636%40sessionmgr106&vid=0&hid=106&bdata=Jmxhbmc9ZXM%3d#db=a9h&AN=95497346>
- Alvites, R. y Chavesta, J. (2018). Plan de mejora en la gestión del área de mantenimiento para incrementar la rentabilidad de la Empresa de Transportes Serpiente de Oro S.R.L Trujillo – 2018. Recuperado de: <http://repositorio.uss.edu.pe/handle/uss/4653>
- Attri, R. et al. (2014). A graph theoretic approach to evaluate the intensity of barriers in the implementation of Total productive maintenance (TPM). Recuperado de: <http://web.b.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?sid=e98d18a4-1159-4587-96ee-0e051837dda7%40sessionmgr120&vid=2&hid=106>
- Baena, G. (2014). Metodología de la investigación Serie integral por competencias. Recuperado de: <https://editorialpatria.com.mx/pdf/files/9786074384093.pdf>
- Bolaños, S. (2018). Propuesta de mejora en la gestión de mantenimiento para incrementar la rentabilidad de la empresa de Transportes e Inversiones Job S.A.C. Recuperado de: <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/13738>
- Bueno, P. (2013). Operatividad con sistemas mecánicos, hidráulicos, neumáticos y eléctricos de máquinas e instalaciones para la transformación de polímeros y su mantenimiento. Recuperado de: <http://site.ebrary.com/lib/upcsp/reader.action?docID=11126402>
- Campos, I. (2018). Propuesta de un plan de mantenimiento preventivo centrado en la confiabilidad para incrementar la rentabilidad en la empresa de transporte Sayvan

E.I.R.L. Recuperado de: http://tesis.usat.edu.pe/bitstream/20.500.12423/1751/1/TL_CamposVeraIllarec.pdf

Contreras, S. (2016). Mantenimiento Preventivo. Recuperado de: <https://www.lifeder.com/mantenimiento-preventivo/>

CooperAcción. (2016). Las tendencias de la inversión minera a nivel mundial y el caso de América Latina. Recuperado de: <https://www.ritimo.org/Las-tendencias-de-la-inversion-minera-a-nivel-mundial-y-el-caso-de-America>

https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/Institucional/Estudios_Economicos/RAES/RAES-Mineria-diciembre-2019-GPAE-OS.pdf

IIMP. (2020). Producción minera aumentó en enero 2020, excepto el cobre y el oro. Recuperado de: <http://www.iimp.org.pe/actualidad/produccion-minera-aumento-en-enero-2020-excepto-el-cobre-y-el-oro>

Jave, H. y Chávez, S. (2018). Propuesta de mejora en las áreas de abastecimiento y mantenimiento para incrementar la rentabilidad de la empresa CMC Arenado y Pintura E.I.R.L. Recuperado de: <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/14623>

Olarte, W., Botero, M. y Cañon, B. (2010). Importancia del mantenimiento industrial dentro de los procesos de producción. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84917316066>

Ortega, J. (2013). ¿Interpretamos bien los resultados del VAN y la TIR? (Parte II). Estrategia Financiera. Pág. 54-55. Recuperado de: <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=fua&AN=87566813&lang=es&site=ehost-live>

Osinermining. (2019). REPORTE DE ANÁLISIS ECONÓMICO SECTORIAL

Paredes, F. (2017). Propuesta de mejora en la gestión de mantenimiento de los equipos del área de producción para incrementar la rentabilidad de la empresa de confecciones

Danpar E.I.R.L. Recuperado de:

<https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/11565?show=full>

Prabhuswamy, M. et al. (2013) Implementation of Kaizen Techniques in TPM. Recuperado

de:<http://web.b.ebscohost.com/ehost/detail/detail?sid=c0675699b1e145839ee198ee7da9e192%40sessionmgr103&vid=0&hid=106&bdata=Jmxhbmc9ZXM%3d#db=iih&AN=91675224>

Restrepo, L. (2017). Importancia de la formación y la capacitación de los empleados.

Recuperado de: <https://mdc.org.co/importancia-de-la-formacion-y-la-capacitacion-de-los-empleados/>

Tiempo Minero. (2019). ¿Qué se entiende por mantenimiento minero? Aquí algunas claves.

Recuperado de:<https://camiper.com/tiempominero/entender-la-rentabilidad-en-mineria-desafios-de-la-gestion-del-mantenimiento/>

ANEXOS

Anexo 1: Clasificación ABC en función de las salidas

FAMILIA	MATERIAL	UNIDAD	Consumo anual de unidades	Valor de consumo (%)	Valor de consumo acum. (%)	Clasificación
LUBRICANTES	ACEITE HIDRAULICO - RANDO HD 68	GL	1139	7.2%	7.2%	A
LUBRICANTES	GRASA MULTIPROPOSITO MARFAK EP2	GL	1111	7.0%	14.2%	A
LUBRICANTES	ACEITE DE PERFORACION - ARIES 150	GL	1106	7.0%	21.2%	A
LUBRICANTES	ACEITE DE TRANSMISION 85W-140	GL	1008	6.4%	27.6%	A
LUBRICANTES	REFRIGERANTE - DELO PREMIXSER 50/50	GL	950	6.0%	33.6%	A
LUBRICANTES	REFRIGERANTE - DELO PREMIXSER 50/50	GL	928	5.9%	39.5%	A
LUBRICANTES	ACEITE DE COMPRESOR - PAROIL S	GL	922	5.8%	45.3%	A
LUBRICANTES	ACEITE DE MOTOR 15W-40 - LUMINARIA	GL	918	5.8%	51.1%	A
LUBRICANTES	ACEITE DE MOTOR 15W-40	GL	903	5.7%	56.8%	A
FILTROS	FUEL FILTER 3222343171 / 326-1644	Und	179	1.1%	57.9%	A
FILTROS	AIR FILTER KIT - COMPRESOR X7700693	Und	178	1.1%	59.1%	A
FILTROS	FILTRO SECUNDARIO DE MOTOR 3222188164	Und	175	1.1%	60.2%	A
FILTROS	FILTRO DE TANQUE DE AGUA 3222342999	Und	168	1.1%	61.2%	A
FILTROS	PRE FILTRO AIRE CABINA 3222324642	Und	162	1.0%	62.3%	A
FILTROS	FILTRO PRINCIPAL DE A/C 3222325378 / 201525L086	Und	162	1.0%	63.3%	A
FILTROS	AIR FILTER 3222986146	Und	161	1.0%	64.3%	A
FILTROS	FILTRO AIRE PRIMARIO 3222188161 / P786197	Und	160	1.0%	65.3%	A
FILTROS	FILTRO SEPARADOR AGUA/COMBUSTIBLE 2914866400 (326-1643)	Und	160	1.0%	66.3%	A
FILTROS	FILTRO DE AIRE DEL SISTEMA DE COMBUSTIBLE 3222118000	Und	158	1.0%	67.3%	A

FILTROS	SEALING 3222349137 / 201525L092	Und	157	1.0%	68.3%	A
FILTROS	FILTRO ELEMENTO 3222336731 / 201525L082	Und	152	1.0%	69.3%	A
FILTROS	FILTRO DE COLECTOR DE POLVO 3222318933 / 3222321295	Und	151	1.0%	70.2%	A
FILTROS	FUEL FILTER 3222343176 / 1R-0749	Und	151	1.0%	71.2%	A
FILTROS	FILTRO DE ACEITE DE COMPRESOR 1604694491 / 1604694401 / 1604694402	Und	150	0.9%	72.1%	A
FILTROS	FILTRO PRINCIPAL DE A/C 3222325376 / 201525L088	Und	150	0.9%	73.1%	A
FILTROS	O-RING 3222338639 / 201525L084	Und	149	0.9%	74.0%	A
FILTROS	FILTRO DE ACEITE DE COMPRESOR P164378 / 1604694491	Und	143	0.9%	74.9%	A
FILTROS	FILTRO DE COMBUSTIBLE 1R-0762 / 2914865900	Und	141	0.9%	75.8%	A
FILTROS	FILTRO DE ACEITE DE SISTEMA HIDRAULICO 3222309848	Und	134	0.8%	76.7%	A
FILTROS	FILTRO DE RETORNO DE ACEITE HIDRAULICO 8231101804 / 8231044410	Und	132	0.8%	77.5%	A
FILTROS	FILTRO DE ACEITE 1202804093	Und	132	0.8%	78.3%	A
FILTROS	FILTRO DE TANQUE DE AGUA 3222342999 / 201525L091	Und	132	0.8%	79.2%	A
FILTROS	RESPIRADERO DE TANQUE HIDRAULICO 3222318729 / 3222345625	Und	131	0.8%	80.0%	A
FILTROS	FILTRO DE ACEITE DE MOTOR 2914829700 (1R-0716) / 3222343172 / 1R-1808	Und	127	0.8%	80.8%	B
FILTROS	AIR FILTER SET - MOTOR 3222188162	Und	120	0.8%	81.6%	B
FILTROS	FILTRO SEPARADOR 326-1644	Und	117	0.7%	82.3%	B
FILTROS	KIT OIL SEPARATOR DE ACEITE DE COMPRESOR RA 2911011703	Und	115	0.7%	83.0%	B

FILTROS	FILTRO DE RETORNO DE ACEITE HIDRAULICO 8231046410 / 201525L085	Und	112	0.7%	83.7%	B
FILTROS	RESPIRADERO DE TANQUE DE COMBUSTIBLE 3222326436 / 201525L080	Und	107	0.7%	84.4%	B
FILTROS	Filtros de Colector Polvo P783648	Und	105	0.7%	85.1%	B
FILTROS	FILTRO DE ACEITE DE MOTOR 1R-0716	Und	105	0.7%	85.7%	B
REPUESTOS	SUCTION HOSE 3222319459	Und	45	0.3%	86.0%	B
REPUESTOS	MORDAZA DE 3 1/2"	Und	45	0.3%	86.3%	B
REPUESTOS	Grease nipple 6060003180 ra 3216730600	Und	45	0.3%	86.6%	B
REPUESTOS	HYDRAULIC CYLINDER 3222336148	Und	44	0.3%	86.9%	B
REPUESTOS	RELAY 3176000309	Und	44	0.3%	87.1%	B
REPUESTOS	PLUG 3128304943	Und	44	0.3%	87.4%	B
REPUESTOS	gasket 3216730500	Und	44	0.3%	87.7%	B
REPUESTOS	ROOD SEAL	Und	43	0.3%	88.0%	B
REPUESTOS	LOCKNUT (3/8-16-THD) 2N2766	Und	43	0.3%	88.2%	B
REPUESTOS	SWING ATTACHM. 3222304613	Und	43	0.3%	88.5%	B
REPUESTOS	SEAL-INTEGRAL 1986068	Und	42	0.3%	88.8%	B
REPUESTOS	PULSE SENSOR 3176000288	Und	41	0.3%	89.0%	B
REPUESTOS	GUIDE 3222340277	Und	41	0.3%	89.3%	B
REPUESTOS	seal kit 6060010376 ra 3222326384	Und	41	0.3%	89.6%	B
REPUESTOS	SENSOR 3222148800	Und	41	0.3%	89.8%	B
REPUESTOS	GREASE NIPPLE 0544215300	Und	41	0.3%	90.1%	B
REPUESTOS	GRUPO DE TURBOCOMPRESOR BASICO 240-0003	Und	40	0.3%	90.3%	B
REPUESTOS	BUSHING 3222325225	Und	40	0.3%	90.6%	B
REPUESTOS	RUBBER BAG 3124623802	Und	40	0.3%	90.8%	B

REPUESTOS	BOLT-HIGH TEMPERATURE (3/8-16X1.75-IN) 2N2765	Und	40	0.3%	91.1%	B	
REPUESTOS	Service Kit 2911016300	Und	39	0.2%	91.3%	B	
REPUESTOS	GASKET (TURBOCHARGER) 1S4295	Und	39	0.2%	91.6%	B	
REPUESTOS	PRESS SWITCH 9106219201	Und	38	0.2%	91.8%	B	
REPUESTOS	FAJA DE AIRE ACONDICIONADO 3222335911	Und	38	0.2%	92.1%	B	
REPUESTOS	BEARING 3222339584	Und	38	0.2%	92.3%	B	
REPUESTOS	CABLE SET C 3222331031	Und	37	0.2%	92.5%	B	
REPUESTOS	INDUCT. SENSOR 3222342150	Und	37	0.2%	92.8%	B	
REPUESTOS	GASKET 4N0699	Und	37	0.2%	93.0%	B	
REPUESTOS	RUBBER DISC 3222316982	Und	36	0.2%	93.2%	B	
REPUESTOS	SEAL KIT 3222326391	Und	36	0.2%	93.5%	B	
REPUESTOS	SLIDE BAR 3222343061	Und	36	0.2%	93.7%	B	
REPUESTOS	KIT DE SELLOS 2,000HR UND DE ROTACION 4350276052	Und	35	0.2%	93.9%	B	
REPUESTOS	SLIDE BAR 3222343058	Und	35	0.2%	94.1%	B	
REPUESTOS	BOLT (3/8-16X1.75-IN) 1653931	Und	35	0.2%	94.3%	B	
REPUESTOS	WASHER-HARD (10.2X18.5X2.5-MM THK) 5M2894	Und	35	0.2%	94.6%	B	
REPUESTOS	TERMOSTATO 3176879100	Und	34	0.2%	94.8%	B	
REPUESTOS	SPARE PART SET 3222340702	Und	34	0.2%	95.0%	B	
REPUESTOS	pistón 3216730300	Und	34	0.2%	95.2%	C	
REPUESTOS	PROTECTION 3222339615	Und	33	0.2%	95.4%	C	
REPUESTOS	SWITCH 3222312958	Und	33	0.2%	95.6%	C	
REPUESTOS	SEAL-INTEGRAL 1262702	Und	33	0.2%	95.8%	C	
REPUESTOS	ORING METRICO 35	Und	33	0.2%	96.0%	C	
REPUESTOS	DIAFRAGMA 3222314110	Und	32	0.2%	96.3%	C	

REPUESTOS	FARO DE 12 LED 4000	Und	32	0.2%	96.5%	C
REPUESTOS	gasket 3216730400	Und	32	0.2%	96.7%	C
REPUESTOS	BOLT (3/8-16X1.375-IN) 3B1915	Und	32	0.2%	96.9%	C
REPUESTOS	CONJUNTO DE INDICADOR, NIVEL DE ACEITE	Und	31	0.2%	97.1%	C
REPUESTOS	SEAL-O-RING 1142687	Und	31	0.2%	97.2%	C
REPUESTOS	SLIDING PIECE 3128307488	Und	30	0.2%	97.4%	C
REPUESTOS	SLIDE BAR 3222321479	Und	29	0.2%	97.6%	C
REPUESTOS	SEALING 3222349137	Und	29	0.2%	97.8%	C
REPUESTOS	SEAL WASHER 0661100026	Und	29	0.2%	98.0%	C
REPUESTOS	GREASE NIPP 3222338771	Und	29	0.2%	98.2%	C
REPUESTOS	CONTACTOR 3176000272	Und	28	0.2%	98.3%	C
REPUESTOS	BOLT (3/8-16X3-IN) 1653935	Und	28	0.2%	98.5%	C
REPUESTOS	VALVULA DE PARADA 1622120200	Und	27	0.2%	98.7%	C
REPUESTOS	SPARE PARTS SET 4350276051 - FLEXI ROC	Und	27	0.2%	98.9%	C
REPUESTOS	SWITCH 3222986074	Und	27	0.2%	99.0%	C
REPUESTOS	SLIDE BAR 3222321480	Und	26	0.2%	99.2%	C
REPUESTOS	Membrana 1604707600	Und	26	0.2%	99.4%	C
REPUESTOS	CAN OPEN 3176001743	Und	25	0.2%	99.5%	C
REPUESTOS	SPARE PARTS SET 4350276053 - FLEXI ROC	Und	25	0.2%	99.7%	C
REPUESTOS	KEY 3128061900	Und	25	0.2%	99.8%	C
REPUESTOS	ORING 3222338639	Und	25	0.2%	100.0%	C
TOTAL			15818			

Fuente: Elaboración propia

Anexo 3. Formato de Registro de mantenimientos realizados

Historial de Revisiones e Inspecciones		OPEN WORLD MINING S.A.C.
Nombre de Máquina/Equipo:		
Área:		
TAREA (descripción, horas,repuestos, costo,etc)	Hora y fecha	
	Inicio:	
	Finalización:	
	Inicio:	
	Finalización:	
	Inicio:	
	Finalización:	
Elaborado por:		

Fuente: Elaboración propia

Anexo 4: Formato del plan de mantenimiento preventivo por equipo

Plan de Mantenimiento Preventivo		OPEN WORLD MINING S.A.C.
Nombre de Máquina/Equipo:		Área:
Código:		Marca:
Tarea		Periodicidad
Fecha:	Fecha:	

Fuente: Elaboración propia