

Universidad Católica de Santa María

Escuela de Postgrado

Maestría en Ingeniería de Mantenimiento



**DISEÑO DE UN PLAN MANTENIMIENTO CON LA METODOLOGÍA DEL
MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD PARA
PERFORADORAS ATLAS COPCO CT20 EN LA EMPRESA EXPLODRILLING**

Tesis presentada por el Bachiller:

Nayhua Gamarra, José Antonio

Para optar el grado académico de:

Maestro en Ingeniería de Mantenimiento

Asesor:

Mg. Ticse Villanueva, Edwing Jesús

Arequipa-Perú

2018

Informe 015-2018

De: Ing. Edwing Ticse Villanueva
A: Dr. Hugo Tejada Pradell
Director de la Escuela de Post Grado de la UCSM
Asunto: Borrador de tesis del Bachiller José Antonio Nayhua Gamarra
Fecha: 18-04-2018

.....

Mediante la presente manifiesto que se ha revisado el Borrador de Tesis de la Sr. **José Antonio Nayhua Gamarra** titulado:

Diseño de un Plan de Mantenimiento con la Metodología del Mantenimiento Centrado en Consiabilidad para perforadoras ATLAS COPCO CT20 en la Empresa Explodrilling Arequipa 2015-2016.

Luego de analizarlo se dá por **APROBADO** dicho Borrador de Tesis

Agradeciendo la atención prestada a la presente, le expreso a usted mis sentimientos de estima personal.

Atentamente



.....
Ing. Edwing Ticse V.
Código 1341

DICTAMEN DE BORRADOR DE TESIS

Arequipa, 25 de abril de 2018

Señor Doctor
Hugo Tejada Pradell
Director de la Escuela de Postgrado de la Universidad Católica de Santa María
Ciudad.-

De mi consideración:

Dictamen sobre el Borrador de Tesis de Maestría titulado "DISEÑO DE UN PLAN MANTENIMIENTO CON LA METODOLOGÍA DEL MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD PARA PERFORADORAS ATLAS COPCO CT20 EN LA EMPRESA EXPLODRILLING AREQUIPA 2015-2016" presentado por el Bachiller NAYHUA GAMARRA, José Antonio, con el que pretende optar el grado académico de MAESTRO EN INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO.

Al respecto el dictamen es:

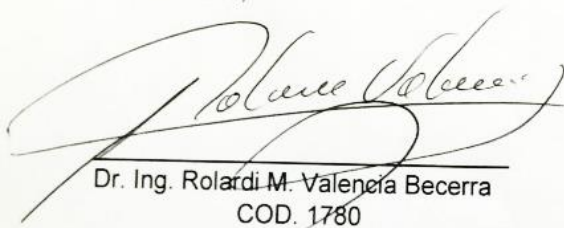
APROBADO CON OBSERVACIONES:

Siendo las observaciones las siguientes:

- Sugiero se coloque el índice de referencias.
- En las imágenes, fotos y tablas adicionarle comentarios.
- No dejar hojas en blanco después de cada capítulo
- Considerar el formato de la estructura de la tesis según norma (márgenes, tipo de letra, tamaño de letra, y espaciado).

Siendo todo lo que tengo que informar.

Atentamente,



Dr. Ing. Rolardi M. Valencia Becerra
COD. 1780



INFORME

A: Dr. Hugo Tejada Pradell
Director de la Escuela de Postgrado de la UCSM

DE: Dr. Marco Antonio Llaza Loayza
Jurado Dictaminador

ASUNTO: Dictamen Borrador de Tesis para el Grado de Maestro
Sr. José Antonio Nayhua Gamarra.

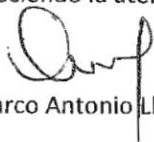
FECHA: 20 mayo del 2018

Es grado saludarlo para hacerle llegar mi dictamen favorable del Borrador de Tesis del **Sr. José Antonio Nayhua Gamarra**.

**DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO CON LA METODOLOGIA DEL MANTENIMIENTO
CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD PARA PERFORADORAS ATLAS COPCO CT20 DE LA
EMPRESA EXPODRILLING.**

En este sentido, considero que el mencionado trabajo puede pasar a sustentación.

Agradeciendo la atención a la presente.



Dr. Marco Antonio Llaza Loayza

Código 1151

DEDICATORIA

El presente trabajo está dedicado a:

A Fernanda, Joaquín, Benjamín y Valentina, por acompañarme en todo este proceso de estudio y titulación; de quienes tomé su tiempo para avanzar y alcanzar de buena forma el objetivo.

A mi madre Modesta Gamarra y a mi padre Héctor Nayhua a quienes amo; quienes me dieron la vida la educación y crianza de bien que hoy me sostiene, quienes en todo momento me inculcaron el amor por el trabajo, el estudio y la superación.

A mis Hermanos que siempre están a mi lado; quienes en toda etapa de mi vida se alegran con mis triunfos y se entristecieron con mi dolor que son el refugio para reír y para llorar.

A mis amigos, compañeros y socios de las empresas: Certus SAC y Explo Drilling Perú, quienes me dieron las facilidades en tiempo y recursos para el desarrollo del presente trabajo.

INTRODUCCIÓN

Es de conocimiento que toda implementación de mejora requiere una inversión inicial, justificada en objetivos alcanzables en un periodo de tiempo prudente que de valor a las estrategias planteadas por los accionistas de cada compañía.

En la compañía que es materia del estudio, se busca reducir el gasto y aumentar la productividad, a través de la mejora del desempeño de las perforadoras Atlas Copco CT20. Los principales indicadores clave de desempeño (*KPI, key performance indicator*) sobre los que se mide la gestión del mantenimiento son la disponibilidad, la Mantenibilidad y la confiabilidad. La variable dependiente sobre la cual se quiere medir las mejoras es la confiabilidad expresada en MTBF (*Mean Time Between Failures*) con el impacto de la variable dependiente expresada en un Plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad.

En la empresa Explo Drilling se busca implementar la metodología del MCC (Mantenimiento centrado en la confiabilidad) dentro de nuestro actual contexto operacional de forma que nos permita mejorar la productividad de los equipos de perforación a partir de la mejora del MTBF. Se iniciará con la flota de activos que resultaron críticos en el análisis de criticidad, y dentro de estos equipos se aplicará análisis de criticidad por sistemas por componentes.

El resultado de este trabajo nos permitió diseñar un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad de forma que nos ayuda a mantener al activo operando dentro de sus parámetros de funcionamiento para los cuales fue diseñado, adicionalmente el monitoreo de condiciones que resultaron en el plan de mantenimiento nos permitirá identificar oportunamente fallas potenciales, antes de que estas lleguen a generar paradas imprevistas del activo y aplicar oportunamente las estrategias de mantenimiento preventivo y predictivo.

Con la implementación de MCC en la flota de perforadoras Atlas Copco CT20, queda hacer una buena administración y aplicación de esta metodología de manera que sirva a nuestros accionistas para evaluar su aplicación y rendimiento de forma que les permita tomar decisiones estratégicas para la administración del mantenimiento dentro de la empresa en miras de expandir su aplicación al resto de equipos críticos en la organización

RESUMEN

La presente tesis es aplicable al campo de la ingeniería de mantenimiento, en el área de mantenimiento de equipos de perforación diamantina Atlas Copco CT20, que operan en proyectos de exploración minera. Estos equipos resultan críticos para la empresa Explo Drilling, dicha criticidad se estimó por criterios de: impacto y flexibilidad operacional, impacto a la seguridad y al medio ambiente, recurrencia de fallas y costos de mantenimiento correctivo y preventivo.

La realidad problemática plantea diseñar un plan de mantenimiento usando la metodología de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (MCC), con el fin de aumentar el tiempo medio entre fallas en la flota de perforadoras Atlas Copco CT20 en la empresa Explo Drilling.

Para la elaboración de la herramienta se usó la metodología del MCC tomado como referencia principalmente, las normas: SAE JA1011 y su guía SAE JA1012 Norma que describe los criterios mínimos que cualquier proceso debe seguir para ser llamado Mantenimiento Centrado en Confiabilidad; ISO 14224-2004; ISO 15663-1, Conceptos técnicos de mantenimiento, planes de mantenimiento, estrategias de mantenimiento, ciclo del mantenimiento, ciclo de vida del activo, principales indicadores clave de desempeño del mantenimiento como son: la Disponibilidad, Mantenibilidad, y Confiabilidad.

Concluimos con la aplicación del plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad para perforadoras Atlas Copco CT20 y como resultado se logró mejorar el MTBF en un 13%, de la flota de perforadoras Atlas Copco CT20 en la empresa Explo Drilling. Con lo que se recomienda su aplicación a otros equipos críticos en la empresa.

Palabras Clave

- Perforadora
- Diamantina
- Atlas Copco
- Plan de mantenimiento
- Mantenimiento centrado en la confiabilidad

ABSTRACT

This thesis is applicable to the field of maintenance engineering, in the maintenance area of Atlas Copco CT20 diamond drilling rigs, which operate in mining exploration projects. These equipment are critical for the company Explo Drilling, this criticality was estimated by criteria of: impact and operational flexibility, impact on safety and the environment, recurrence of failures and costs of corrective and preventive maintenance.

The problematic reality involves designing a maintenance plan using the Reliability Centered Maintenance (MCC) methodology, in order to increase the average time between failures in the Atlas Copco CT20 drilling fleet at Explo Drilling.

For the elaboration of the tool, the MCC methodology was used mainly as reference, the standards: SAE JA1011 and its guide SAE JA1012 Standard that describes the minimum criteria that any process must follow to be called Reliability Centered Maintenance; ISO 14224-2004; ISO 15663-1, Technical maintenance concepts, maintenance plans, maintenance strategies, maintenance cycle, asset life cycle, key performance indicators of maintenance such as: Availability, Maintainability, and Reliability.

We concluded with the implementation of the maintenance plan focused on the reliability for Atlas Copco CT20 drilling rigs and as a result, the MTBF was improved by 13%, of the Atlas Copco CT20 drilling fleet at Explo Drilling. With what is recommended its application to other critical equipment in the company.

Keywords

- Drilling machine
- Diamond
- Atlas Copco
- Maintenance plan
- Maintenance focused on reliability

ÍNDICE

DEDICATORIA	i
INTRODUCCIÓN	ii
RESUMEN.....	iii
ABSTRACT	iv
CAPÍTULO I.....	1
1. PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO	1
1.1 Descripción de la realidad problemática.....	2
1.2 Delimitaciones y definición del problema.....	4
1.2.1 Delimitación temporal.....	4
1.2.2 Delimitación espacial.....	4
1.2.3 Delimitación conceptual.....	5
1.2.4 Definición del problema.....	5
1.3 Formulación del problema	5
1.3.1 Problema general	5
1.3.2 Problemas específicos	6
1.3.3 Objetivo general	6
1.3.4 Objetivos específicos	6
1.3.5 Hipótesis general	6
1.3.6 Hipótesis específicas.....	7
1.3.7 Variable Independiente.....	7
1.3.8 Variable Dependiente.....	7
1.3.9 Justificación	7
1.3.10 Importancia	7
1.3.11 Factibilidad económica.....	8
1.3.12 Factibilidad técnica.....	8
1.3.13 Limitaciones de la Investigación.....	8
1.4 Tipo y Nivel de la Investigación	9
1.4.1 Tipo de investigación	9
1.4.2 Diseño de la investigación	9
1.5 Técnicas e instrumentos de recolección de información.....	9
1.5.1 Técnicas.	9
1.5.2 Instrumentos.	9

1.6	Cobertura de Estudio	9
1.6.1	Universo.....	9
1.6.2	Muestra	9
1.7	Cronograma y Presupuesto:.....	10
1.7.1	Cronograma.....	10
1.7.2	Presupuesto.....	10
CAPÍTULO II.....		11
2.	MARCO TEÓRICO.....	11
2.1	Antecedentes de la empresa.....	12
2.1.1	Responsabilidad ambiental	13
2.1.2	Relaciones comunitarias.....	13
2.1.3	Seguridad.....	13
2.1.4	Operaciones.....	14
2.1.5	Mantenimiento.....	15
2.2	Antecedentes de la investigación	17
2.2.1	D. Marc Gardella González (España)	17
2.2.2	Verónica Cecilia Canchica Corzo (Venezuela).....	17
2.2.3	Randall Rojas Barahona (Costa Rica)	18
2.2.4	Martín Da Costa Burga	18
2.3	Marco histórico	18
2.3.1	Antiguas civilizaciones	19
2.3.2	Revolución industrial	19
2.3.3	Décadas 40 Y 50.....	19
2.3.4	Inicios del TPM en la década de los 50.....	20
2.3.5	Creación de TPM en décadas de los 60 Y 70	20
2.3.6	Terotecnología en la década de los 60.....	20
2.3.7	Mantenimiento preventivo y predictivo décadas 50, 60 Y 70.....	21
2.3.8	Introducción del GMAO década de los 80.....	22
2.3.9	RCM, inicio en década de los 70.....	22
CAPÍTULO III.....		24
3.	MARCO CONCEPTUAL	24
3.1	Concepto de Mantenimiento:.....	25
3.2	Ciclo de mantenimiento	25

3.3	Plan de mantenimiento.....	26
3.4	Filosofía del mantenimiento	26
3.5	Estrategias de mantenimiento	27
3.5.1	Mantenimiento correctivo	27
3.5.2	Mantenimiento de oportunidad.....	27
3.5.3	Mantenimiento preventivo	27
3.6	Definición de estrategias de mantenimiento.....	28
3.7	Indicadores de mantenimiento.....	29
3.7.1	Disponibilidad	29
3.7.2	Tiempo medio entre fallas (MTBF).....	30
3.7.3	Tiempo promedio para reparar (MTTR).....	30
3.7.4	Tiempo medio para falla (MTTF)	30
3.7.5	Confiabilidad.....	31
3.7.6	Confiabilidad Operacional	32
3.8	Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC)	32
3.8.1	Funciones.....	33
3.8.2	Fallas Funcionales.....	33
3.8.3	Modos de Falla	33
3.8.4	Efectos de Falla.....	34
3.8.5	Categorías de Consecuencias de Falla.....	34
3.8.6	Selección de las Políticas de Manejo de Fallas	35
3.8.7	Políticas de Manejo de Fallas— Tareas Programadas.....	35
3.8.8	Políticas de manejo de falla.....	38
3.8.9	Un Programa de Vida.....	39
3.8.10	Formulación Estadística y Matemática.....	39
3.9	Análisis Actuarial y Datos de Falla	40
3.9.1	Los Seis Patrones de Falla.....	40
3.9.2	Rol del análisis actuarial al establecer las políticas de mantenimiento	45
3.9.3	Uso específico de datos al formular políticas de mantenimiento.....	46
CAPÍTULO IV		47
4.	CONSTRUCCIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO CON MCC.....	47
4.1	Procedimiento del diseño del plan de mantenimiento RCM.....	48
4.2	Equipo de trabajo RCM	49
4.3	Base de datos de equipos	49

4.4	Análisis de criticidad.....	50
4.4.1	Análisis de criticidad de equipos	50
4.4.2	Matriz de evaluación de criticidad	51
4.4.3	Resultados de evaluación de criticidad de equipos	51
4.4.4	Análisis de criticidad de sistemas del equipo	52
4.4.5	Análisis de criticidad de componentes por sistema	53
4.5	Descripción del activo	53
4.6	Especificaciones técnicas	55
4.7	Partes principales.....	56
4.8	Taxonomía del activo	57
4.9	Funciones en su actual contexto operacional.....	58
4.9.1	Función primaria del equipo.....	58
4.9.2	Funciones secundarias del equipo	58
4.9.3	Función primaria de la unidad de potencia.....	59
4.9.4	Funciones secundarias de la unidad de potencia.....	59
4.9.5	Función primaria de la unidad de rotación	59
4.9.6	Funciones secundarias de la unidad de rotación	60
4.9.7	Función primaria del conjunto de bombas.....	60
4.9.8	Funciones secundarias del conjunto de bombas	60
4.10	Modos de falla.....	61
4.10.1	Modos de falla Unidad de potencia	61
4.10.2	Modos de falla unidad de rotación	63
4.10.3	Modos de falla conjunto de bombas.....	64
4.11	Efectos de Falla	67
4.11.1	Efectos de falla Unidad de potencia.....	67
4.11.2	Efectos de falla Unidad de rotación	72
4.11.3	Efectos de falla conjunto de bombas hidráulicas.....	76
4.12	Evaluación de las consecuencias de falla.....	79
4.13	Implementación de las tareas de mantenimiento	80
4.13.1	Implementación de las tareas de mantenimiento unidad de potencia	80
4.13.2	Implementación de las tareas de mantenimiento unidad de rotación.....	82
4.13.3	Implementación de las tareas de mantenimiento bombas hidráulicas	84
4.14	Diseño del proceso de gestión de mantenimiento	85
4.14.1	Mantenimiento preventivo	86

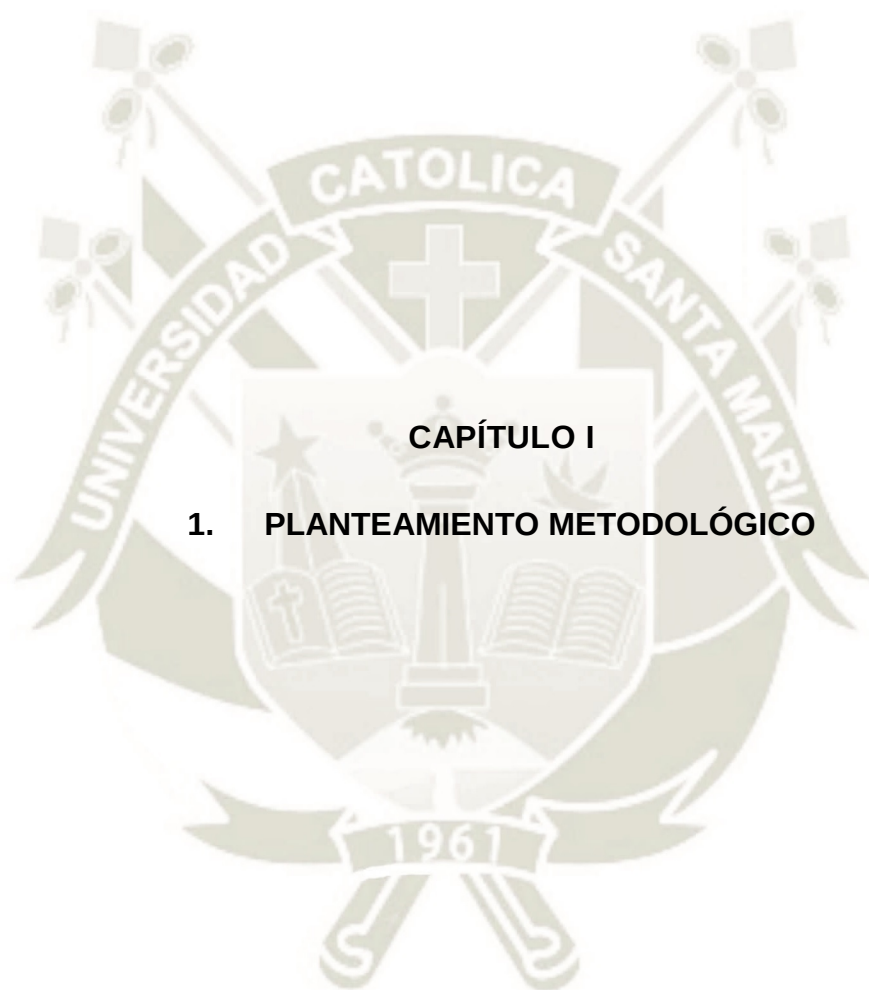
4.14.2 Mantenimiento correctivo	87
4.14.3 Mantenimiento correctivo programado	88
4.14.4 Mantenimiento mayor	89
4.15 Aplicación del plan de mantenimiento bajo el RCM	90
4.15.1 Diario cada turno de 12 horas	90
4.15.2 PM 1 a las 250 horas.....	91
4.15.3 PM 2 a las 500 horas.....	92
4.15.4 PM 3 a las 1000.....	93
4.15.5 PM 4 a las 2000 horas.....	94
4.15.6 PM 5 a las 5000 horas.....	95
4.16 Resultados.....	96
Conclusiones	97
Recomendaciones	98
4.17 Fuentes de información	99
4.17.1 Referencias bibliográficas.....	99
ANEXOS.....	101
Anexo N° 01: Plan de tesis	102
Anexo N° 02: Matriz de Consistencia.....	113
Anexo N° 03: Hoja de información RCM	114
Anexo N° 04 Ciclo de vida del activo	115
Anexo N° 05: Diagrama de decisión RCM	116
Anexo N° 06: Flujo del proceso de implementación del RCM	117
Anexo N° 07 Taxonomía del activo	118

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Pltaforma de perforación diamantina.....	2
Figura 2: Disponibilidad de perforadora Atlas Copco CT20.....	3
Figura 3: MTBF y MTTR de perforadora Atlas Copco CT20.....	3
Figura 4: Mapa de procesos de Explo Drilling	12
Figura 5: Mapa de proceso de mantenimiento Explo Drilling.....	16
Figura 6: Ciclo del mantenimiento.....	25
Figura 7: Categorización del mantenimiento	27
Figura 8: Niveles de planeación	28
Figura 9 Relación entre los indicadores de mantenimiento	31
Figura 10: Modelos de falla de equipos	40
Figura 11: Distribución de falla para desgaste de impulsores	41
Figura 12: Curva S-N.....	43
Figura 13: Causas de la mortalidad infantil	44
Figura 14 Curva de la bañera o de evolución de la tasa de fallas	45
Figura 15: Proceso de aplicación de RCM	48
Figura 16: Factores del análisis de criticidad	50
Figura 17: Matriz de evaluación de la criticidad.....	51
Figura 18: dimensiones para el transporte	53
Figura 19: Dimensiones en posición de trabajo.....	54
Figura 20: Partes de la perforadora Atlas Copco CT20.....	56
Figura 21: Taxonomía del activo	57
Figura 22: Flujograma de proceso de gestión de mantenimiento	85
Figura 23: Flujograma de proceso de mantenimiento preventivo	86
Figura 24: Flujograma de proceso de mantenimiento correctivo	87
Figura 25: Flujograma de proceso de mantenimiento correctivo Programable	88
Figura 26: Flujograma de proceso de mantenimiento Overhaul	89
Figura 27: MTBF y MTTR de perforadora Atlas Copco CT20.....	96
Figura 28: MTBF y MTTR de perforadora Atlas Copco CT20.....	104

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Cronograma de actividades	10
Tabla 2: Costos asociados.....	10
Tabla 3: Equipo de trabajo RCM.....	49
Tabla 4: Lista de equipos que operan en la empresa Explo Drilling	49
Tabla 5: Lista de equipos.....	51
Tabla 6: Evaluación de la criticidad de equipos.....	52
Tabla 7: Criticidad de sistemas del equipo.....	52
Tabla 8: Especificaciones técnicas	55
Tabla 9: Lista de partes principales de la perforadora Atlas Copco CT20	56
Tabla 10: Jerarquía de taxonomía	57
Tabla 11: Función y fallas primarias del equipo	58
Tabla 12: Función y fallas secundarias del equipo.....	58
Tabla 13: Función y fallas primarias unidad de potencia.....	59
Tabla 14: Función y fallas secundarias unidad de potencia	59
Tabla 15: Función y fallas primarias unidad de rotación.....	59
Tabla 16: Función y fallas secundarias unidad de rotación	60
Tabla 17: Función y fallas primarias conjunto de bombas.....	60
Tabla 18: Función y fallas secundarias conjunto de bombas	60
Tabla 19: Modos de falla de la unidad de potencia	61
Tabla 20: Modos de falla de la unidad de rotación	63
Tabla 21: Modos de falla conjunto de bombas	64
Tabla 22: Cronograma de actividades	110



CAPÍTULO I

1. PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO

1.1 Descripción de la realidad problemática

Explo Drilling es una empresa ubicada en el distrito de Paucarpata, provincia de Arequipa, departamento de Arequipa, dedicada a brindar servicios de perforación diamantina para proyectos de exploración minera.

La perforación diamantina permite extraer los testigos que dan la información del yacimiento a distintas profundidades, llegándose a perforar profundidades de hasta 1000 metros. Los testigos se cortan transversalmente (La mitad del testigo por ley es del Estado Peruano y teóricamente debe retornar al Estado cuando suceda el cierre de mina al final de ciclo de vida de las operaciones mineras).

Figura 1: Pltaforma de perforación diamantina



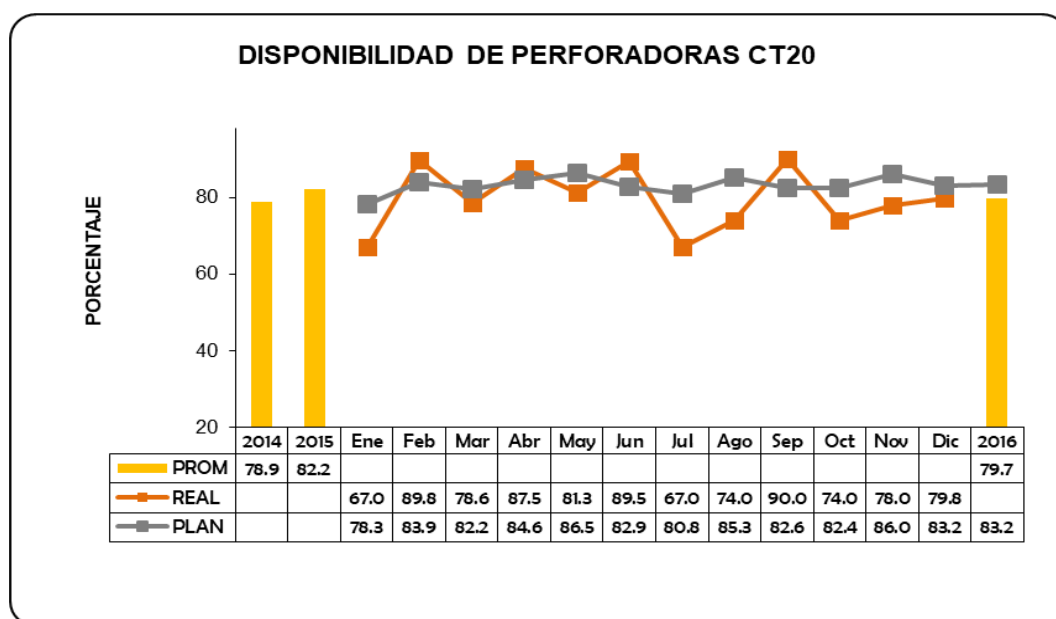
Fuente: Explo Drilling Perú

Los costos de perforación diamantina en el Perú, varían entre 90 \$/m y 125 \$/m, según la profundidad de perforación, el número de metros totales contratados y de las facilidades operativas o dificultades que el terreno pueda presentar.

Para brindar el servicio de perforación Diamantina, Explo Drilling utiliza múltiples equipos entre ellos, perforadoras Atlas Copco CT20, que resultan ser críticas en el análisis de criticidad.

Las perforadoras Atlas Copco CT20 trabajan las 24 horas del día los 7 días de la semana. Una perforadora debe perforar 80m/día en promedio.

Figura 2: Disponibilidad de perforadora Atlas Copco CT20

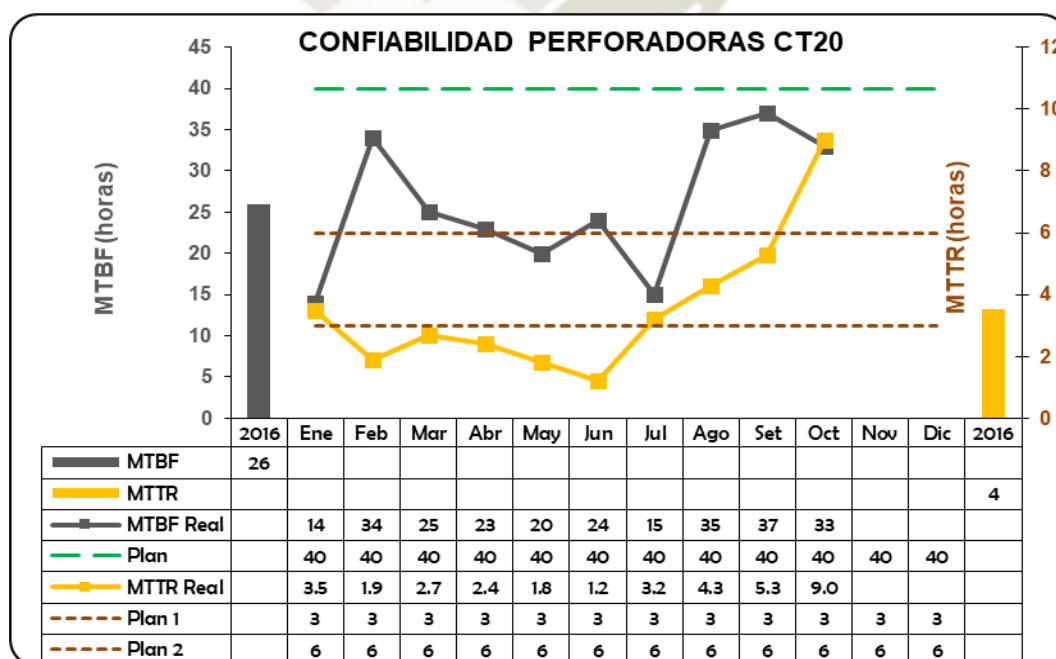


Fuente: Gestión de mantenimiento Explo Drilling Perú

Se espera de los indicadores clave de desempeño (KPI's) de mantenimiento:

- Disponibilidad: 83.2%
- Tiempo medio para reparar (*MTTR Mean Time To Restore*): 3 y 6 horas
- Tiempo medio entre fallas (*MTBF Mean Time Between Failures*): 40 horas.

Figura 3: MTBF y MTTR de perforadora Atlas Copco CT20



Fuente: Gestión de mantenimiento Explo Drilling Perú

En la evaluación del desempeño de la perforadora Atlas Copco CT20, se pudo observar los siguientes resultados:

- Disponibilidad de 80%.
- Se puede apreciar que el tiempo medio entre fallas es de 26 horas, lo que quiere decir que tienen baja confiabilidad, en promedio las perforadoras fallan de forma imprevista cada 26 horas.
- El MTTR nos dice que para restaurar un equipo de su condición inoperativa a su condición operativa se requieren en promedio 4 horas.

Si no se corrigen pronto estos problemas se podrán agravar y generar:

- Deterioro prematuro de los equipos y sus principales componentes y por ende la disminución de su vida útil.
- Incumplimiento de los mantenimientos programados por atender fallas imprevistas.
- Incremento de los costos por compra de repuestos y contratación de mano de obra
- Incremento de los costos de mantenimiento y por ende los costos operativos.
- Incumplimiento de los niveles de producción por equipos inoperativos.
- Pérdidas económicas por equipos detenidos y operadores, ya que no se les utiliza durante el periodo que dura la falla.
- Disminución de las ganancias de los accionistas, porque no se cumplen las metas de producción.

1.2 Delimitaciones y definición del problema

1.2.1 Delimitación temporal

Se estiman seis meses contando días laborales de ocho horas.

1.2.2 Delimitación espacial

El desarrollo de la investigación, se llevó a cabo en la empresa Explo Drilling ubicada en el distrito de Paucarpata, provincia de Arequipa, departamento de Arequipa, como área de levantamiento de información, análisis, desarrollo y aplicación.

1.2.3 Delimitación conceptual

1. Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (CCM)

Filosofía de mantenimiento que inicialmente fue desarrollada para el sector de aviación. Posteriormente fue trasladada al campo industrial, por los excelentes resultados en el campo aeronáutico.

2. SAE JA1011

Norma para vehículos aeroespaciales y de superficie, que describe los criterios mínimos que cualquier proceso debe seguir para ser llamado Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. Esta norma está concebida para ser utilizada por cualquier organización que tiene o haga uso de activos físicos o sistemas que desee manejar responsablemente.

3. SAE JA1012

Guía práctica para para la Norma SAE JA1011 de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC). Esta guía amplifica, y donde es necesario clarifica, los conceptos claves y términos, especialmente aquellos que son únicos para MCC.

1.2.4 Definición del problema

Dado que se tiene un bajo nivel de MTBF (26 horas) en la flota de perforadoras Atlas Copco CT20, en la empresa Explo Drilling, es factible que al diseñar un plan de mantenimiento usando la filosofía de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (MCC), se mejore el MTBF.

1.3 Formulación del problema

1.3.1 Problema general

¿Cómo diseñar un plan de mantenimiento usando la filosofía de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad para mejorar el MTBF de la flota de perforadoras Atlas Copco CT20 en la empresa Explo Drilling?

1.3.2 Problemas específicos

- ¿Cuál es la situación actual del mantenimiento de la flota de perforadora Atlas Copco CT20 de la empresa Explo Drilling?
- ¿Cómo realizar el análisis funcional de cada sistema de la perforadora Atlas Copco CT20 de la empresa Explo Drilling?
- ¿Cómo determinar la criticidad de los sistemas de la perforadora Atlas Copco CT20 de la empresa Explo Drilling?
- ¿Cómo realizar el análisis de modos y efectos de falla modificado FMEAC?
- ¿De qué manera se establecerán las estrategias de mantenimiento para los sistemas de la perforadora Atlas Copco CT20?

1.3.3 Objetivo general

Diseñar un plan de mantenimiento usando la filosofía de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad para mejorar el MTBF de la flota de perforadoras Atlas Copco CT20 en la empresa Explo Drilling.

1.3.4 Objetivos específicos

- Diagnosticar la situación actual del mantenimiento de la flota de la flota de perforadora Atlas Copco CT20 de la empresa Explo Drilling.
- Realizar el análisis funcional de cada sistema de la perforadora Atlas Copco CT20 de la empresa Explo Drilling.
- Determinar la criticidad de los sistemas de la perforadora Atlas Copco CT20 de la empresa Explo Drilling.
- Realizar el análisis de modos y efectos de falla modificado FMEAC, de las perforadoras Atlas Copco CT20 para establecer modos de falla importantes.
- Establecer las estrategias de mantenimiento para los sistemas de la perforadora Atlas Copco CT20 en la empresa Explo Drilling.

1.3.5 Hipótesis general

Un plan de mantenimiento usando la filosofía del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, mejorará el MTBF de la flota de perforadoras Atlas Copco CT20 de la empresa Explo Drilling.

1.3.6 Hipótesis específicas

- El realizar el diagnóstico la situación actual del mantenimiento de la flota de perforadoras Atlas Copco CT20 de la empresa Explo Drilling, permitirá establecer la línea base del mantenimiento.
- EL realizar el análisis funcional de cada sistema de la perforadora Atlas Copco CT20 de la empresa Explo Drilling, permitirá establecer las funciones de cada sistema.
- Al determinar la criticidad de los sistemas de la perforadora Atlas Copco CT20 de la empresa Explo Drilling, permitirá establecer el orden de prioridad para el diseño de las estrategias de mantenimiento.
- El realizar el análisis de modos y efectos de falla modificado FMEAC, de los sistemas de la perforadora Atlas Copco CT20 de la empresa Explo Drilling, permitirá establecer los modos de falla importantes y las estrategias de mantenimiento.

1.3.7 Variable Independiente

Plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad.

1.3.8 Variable Dependiente

MTBF de la flota de perforadora Atlas Copco CT20.

1.3.9 Justificación

Se justifica esta investigación por que se espera con el diseño de del plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad, dar solución a la baja confiabilidad de la flota de perforadora Atlas Copco CT20 de la empresa Explo Drilling, impactando positivamente en el MTBF.

1.3.10 Importancia

Es importante porque se busca mejorar el MTBF de las perforadoras Atlas Copco CT20 y con ello:

- Eliminar el deterioro prematuro de los equipos, sus principales componentes y aumentar su vida útil.
- Cumplir con los mantenimientos programados.

- Disminuir los costos mantenimiento en compra de repuestos y contratación de mano de obra y reducir los costos operativos.
- Cumplir con los niveles de producción planificados por la compañía.
- Reducir las pérdidas económicas por que se disminuirá los tiempos de equipos detenidos y operadores, por la disminución de fallas imprevistas.
- Aumentar las ganancias de los accionistas, porque se cumplen las metas de producción.

1.3.11 Factibilidad económica

El desarrollo se realizó como parte de las actividades propias del cargo en horario de trabajo y en horario fuera de trabajo con costo a cargo del investigador.

Se contó con el material necesario para la investigación ya que son parte de las funciones del área de mantenimiento el analizar interpretar los KPI's dentro del marco de mejora continua.

La investigación resultara viable por no requerir presupuesto adicional al asignado al área, ni apoyo económico externo.

1.3.12 Factibilidad técnica

Para el desarrollo del proyecto se contó con una computadora portátil (Laptop) con acceso a internet, en la que se registró, almacenó y procesó la información obtenida en cada etapa del desarrollo.

Se contó con el software Minitab 16 y el paquete básico de office.

Se recopiló data del historial de eventos de la flota con lo cual se validó los indicadores actuales.

1.3.13 Limitaciones de la Investigación

No se tuvo limitaciones en cuanto a restricciones de recursos humanos o financieros, para el desarrollo del proyecto. Este se desarrolló dentro de las funciones inherentes al investigador y su tiempo libre fuera de trabajo.

1.4 Tipo y Nivel de la Investigación

1.4.1 Tipo de investigación

El tipo de investigación es aplicada. Se utilizó conocimiento pre existente en cuanto a eventos de falla y data histórica registrada en los sistemas de gestión de mantenimiento y operaciones.

1.4.2 Diseño de la investigación

No experimental transversal, con registro de datos que ocurrieron en el pasado y uso de información ya existente.

1.5 Técnicas e instrumentos de recolección de información

1.5.1 Técnicas.

Se utilizó la inspección de registros, análisis documental y entrevistas grupales, como técnica para la recopilación de datos las cuales ayudaron a asegurar la investigación.

1.5.2 Instrumentos.

Eventos de fallas y órdenes de trabajo, reportes de indicadores clave de desempeño (KPI's) de la flota y estadística descriptiva.

1.6 Cobertura de Estudio

1.6.1 Universo

Estuvo dado por los equipos que se utiliza en la empresa Explo Drilling para brindar el servicio de perforación Diamantina.

1.6.2 Muestra

Se eligieron las unidades muestrales teniendo en cuenta criterios de selección por inclusión, donde quedan incluidos, todos los equipos que en el análisis de criticidad hayan sido calificados como equipos con alta criticidad. Por tanto, la muestra está dada por la flota de perforadoras Atlas Copco CT20.

1.7 Cronograma y Presupuesto:

1.7.1 Cronograma.

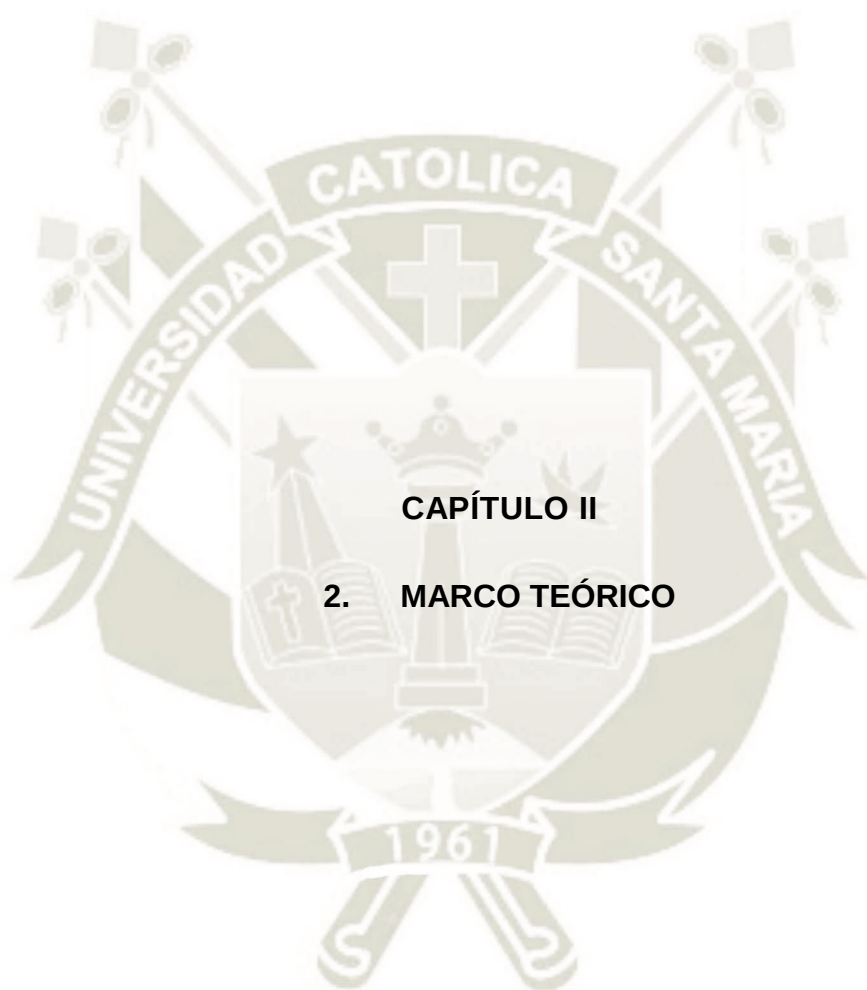
Tabla 1: Cronograma de actividades

Actividades	Plan de tesis		Desarrollo de Tesis			
	Tiempo (Meses)					
	1	2	3	4	5	6
Búsqueda de información	x					
Definición del tema	x					
Titulo		x				
Problema		x				
Objetivos		x				
Marco teórico.		x	x			
Presentación del plan de tesis			x			
Aprobación del plan de tesis			x			
Recopilación de datos				x		
Informe final de Tesis				x		
Procesamiento de la información				x		
Análisis y Resultados					x	
Conclusiones					x	
Presentación de tesis						x
Aprobación de tesis						x
Sustentación de tesis						x

1.7.2 Presupuesto.

Tabla 2: Costos asociados

Actividades	Costo en (S/.)
Recursos Humanos	
Analista de datos (el investigador)	S/. 6,500.00
Asesor	S/. 250.00
Viáticos y servicios	
Gastos de copias de información bibliográfica	S/. 320.00
Gastos de copias de instrumentos y archivos	S/. 130.00
Gastos de búsqueda en Internet y uso de PC	S/. 280.00
Búsqueda de documentación general sobre el tema	S/. 540.00
Visita a las entidades respectivas	S/. 1,200.00
Gastos de envío, línea telefónica, etc.	S/. 98.00
Recursos Materiales	
Compra de libros y revistas	S/. 355.00
Documentación y material de oficina	S/. 130.00
Material de impresión de informes	S/. 250.00
Otros gastos	S/. 280.00
Imprevistos	S/. 500.00
TOTAL	S/. 10,833.00



CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la empresa

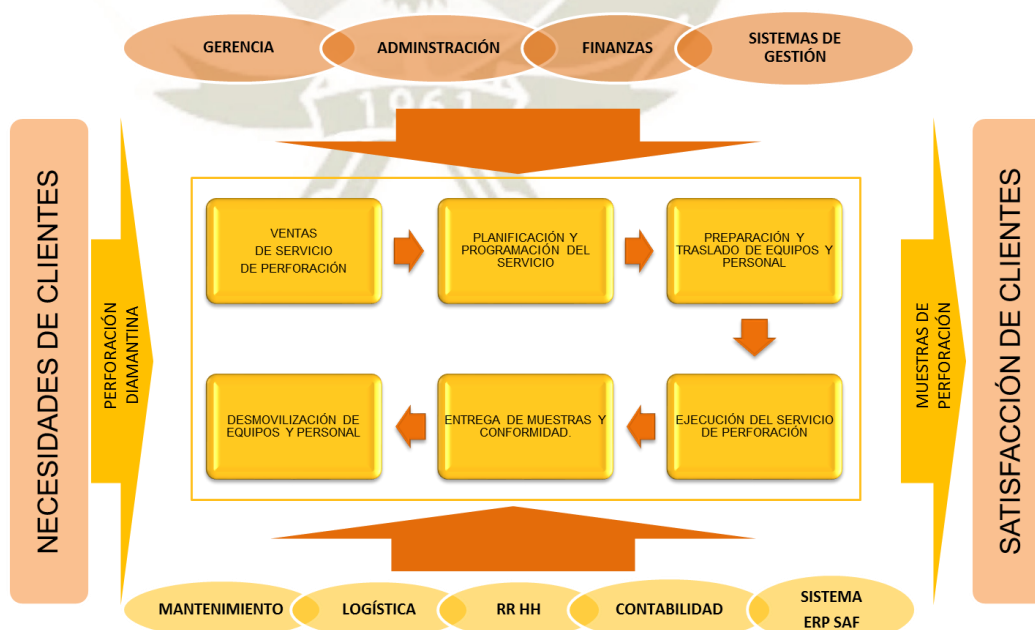
Explo Drilling es una empresa ubicada en el distrito de Paucarpata, provincia de Arequipa, departamento de Arequipa, dicada a brindar servicios de perforación diamantina para proyectos de exploración minera.

Explo Drilling, inició sus operaciones en el año 2006; realizando trabajos en diferentes unidades mineras del país brindando el servicio con óptimos resultados en la perforación como en los índices de seguridad.

Entre los años 2010 al 2012 adquiere equipos de última generación enfocados a la excelencia, trabajando con seguridad, calidad y respetando el medio ambiente, optimizando sus servicios, mejora las instalaciones y genera un plan de capacitación a sus colaboradores.

Para brindar el servicio de perforación Diamantina, Explo Drilling utiliza múltiples equipos entre ellos principalmente perforadoras. La perforación diamantina permite extraer testigos que dan información del yacimiento a distintas profundidades, llegándose a perforar profundidades de hasta 1000 metros. Estos testigos son entregados al cliente como parte del servicio brindado. (<http://www.explodrillingperu.pe/nuestra-empresa.html>).

Figura 4: Mapa de procesos de Explo Drilling



Fuente: Gestión de mantenimiento Explo Drilling Perú, José Nayhua

2.1.1 Responsabilidad ambiental

Su objetivo es guiar a sus colaboradores para optimizar el manejo ambiental en las actividades de la empresa. Valiéndose de las mejores prácticas ambientales en términos de costo-eficiencia.

Explo Drilling busca el cuidado del entorno natural del lugar donde realiza sus operaciones, la continua preocupación por el orden y la limpieza en las operaciones, y el buen mantenimiento de los equipos, son sus pilares y fortalezas de desarrollo. (<http://www.explodrillingperu.pe/nuestra-empresa.html>).

2.1.2 Relaciones comunitarias

Explo Drilling viene trabajando de manera conjunta con las comunidades en las que desarrolla sus operaciones, apoyando la realización de proyectos sustentables en combinación con sus clientes (Las compañías mineras).

Los proyectos que se implementan en las comunidades tienen su origen en la participación comunitaria: los miembros de los pueblos se involucran en todos los aspectos de la puesta en marcha de las iniciativas.

2.1.3 Seguridad

Su meta es “cero accidentes”, por eso la prevención es fundamental. Explo Drilling cuenta con su propio departamento de Seguridad que cuenta con los más altos estándares de seguridad. En esta área, la empresa ofrece:

- Capacitación, sensibilización, motivación permanente *in house*, y en campo.
- Constante supervisión de las operaciones de investigación y perforación para velar por el cumplimiento de las normas y reglamentos de seguridad y también de las del cliente.

2.1.4 Operaciones

La operación de exploración es importante, debido a que permite determinar los minerales aglomerados en la roca, en función de la profundidad y orientación del pozo (negativa, positiva u horizontal). Está enfocado a proyecto de exploración inicial, proyectos de expansión o seguimiento de vetas de mineral en interior mina.

Generalmente los pozos de perforación son muy profundos (0-3000 metros) y se usan fluidos de perforación durante el proceso operativo.

Los parámetros de perforación que debe registrar, controlar y modificar el perforista en el reporte de turno son:

- Velocidad de rotación RPM
- Peso sobre la corona
- Caudal o flujo del lodo

El control se realiza a través de los instrumentos del tablero de comando de la sonda, verificando que todos ellos estén correctamente conectados, de modo de tomar las lecturas en forma correcta. En síntesis, se deben registrar las lecturas del tacómetro, flujómetro o medidor de caudal. Luego verificar la velocidad de penetración de la corona, la cual debe aproximarse a los 10m/hora.

En caso de que la velocidad de penetración esté bajo un rendimiento razonable, hay que hacer los ajustes, considerando El test de perforabilidad, usando la regla:

$$\text{Peso sobre la corona} \times \text{RPM} = \text{Constante}$$

1. Velocidad de rotación

Para un buen aprovechamiento de las coronas es necesario considerar que las velocidades de penetración están muy ligadas con la velocidad de rotación (RPM). Para un apropiado control, varios fabricantes de coronas consideran los índices de RPI o RPC, fijándose un rango óptimo entre 200 y 250 RPI (80 y 100 RCP). Estos índices RPI o RPC se refieren, uno al número de revoluciones (vueltas) de la corona por cada pulgada o avance de

penetración (RPI) y el otro al número de revoluciones de la corona por cada centímetro de avance o penetración (RPC).

$$RPI = \frac{\text{Velocidad de rotación RPM}}{\text{Velocidad de avance } \left(\frac{\text{Pulgadas}}{\text{Minutos}} \right)}$$

$$RPC = \frac{\text{Velocidad de rotación RPM}}{\text{Velocidad de avance } \left(\frac{\text{Centímetros}}{\text{Minutos}} \right)}$$

2. Peso sobre la corona

Este parámetro es importante para mejorar los índices de RPI o RPC de acuerdo a lo indicado anteriormente y es de vital importancia cuando la profundidad del pozo es tal que exige hasta el límite de las capacidades del equipo para soportar empujes altos. El peso sobre la corona también es importante para mantener el control de las desviaciones del pozo.

3. Velocidad del fluido

La velocidad del fluido es otra variable crítica al optimizar la eficiencia de perforación. El fluido debe enfriar efectivamente la corona y remover los recortes de la perforación a través del espacio anular en la forma más eficiente posible. Un volumen de fluido demasiado alto puede causar el levante hidráulico de la columna y nos afectará sobre la carga real que estamos ejerciendo sobre la corona y en consecuencia, el resultado de la perforación.

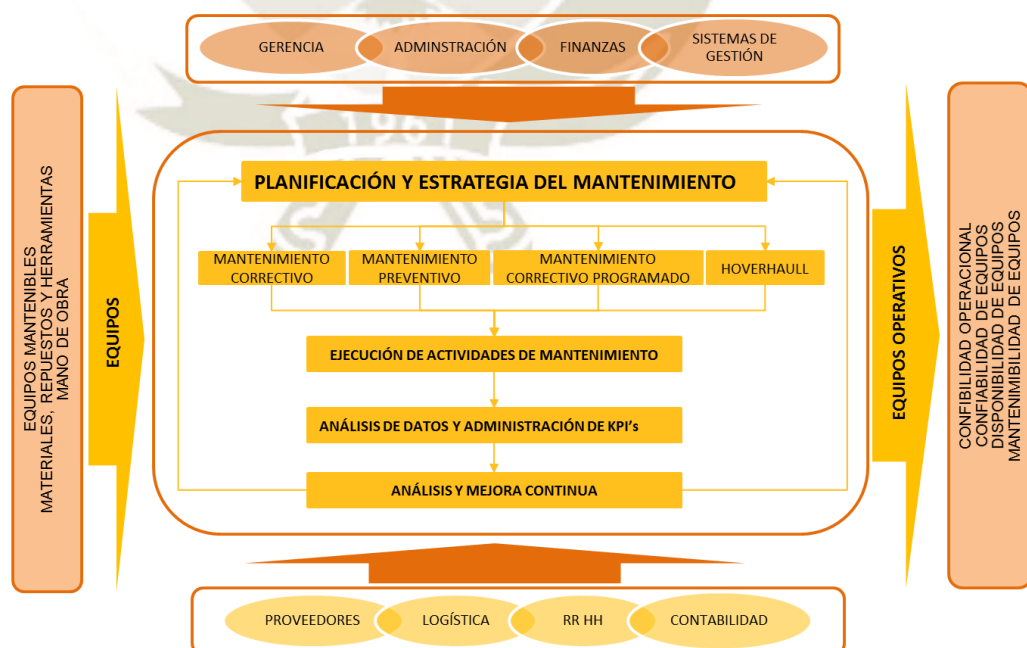
2.1.5 Mantenimiento

Para asegurar un buen servicio de perforación, el área de mantenimiento deberá:

- Elaborar un plan para poner operativos los equipos solicitados por operaciones.
- Gestionar requisición de repuestos/materiales para que se dispongan en la ejecución de las tareas de mantenimiento.

- Comprar repuestos/materiales en coordinación con el área de logística deberá proporcionar los materiales y repuestos requeridos por el área de mantenimiento, en los plazos programados.
- Ejecutar la actividad de mantenimiento con personal mecánico, eléctrico y/o soldador aplicando las diferentes estrategias de mantenimiento.
- Realizar pruebas operativas con el apoyo de un operador de equipo. Si las pruebas operacionales no resultaran dentro de los niveles de desempeño esperado, se procederá a continuar con las reparaciones necesarias y pruebas hasta que alcance el nivel de desempeño esperado. Si las pruebas operacionales resultaran todas dentro de los niveles de desempeño esperados, se procederá a entregar el equipo y sus accesorios a operaciones, llenando el check lis de salida del equipo con la presencia del gerente de operaciones, el jefe de mantenimiento y supervisor de seguridad.
- Analizar y archivar información de los documentos de gestión como historial del mantenimiento de equipos para gestionar la mejora continua.

Figura 5: Mapa de proceso de mantenimiento Explo Drilling



Fuente: Gestión de mantenimiento Explo Drilling Perú, José Nayhua

2.2 Antecedentes de la investigación

2.2.1 D. Marc Gardella González (España)

En su tesis Doctoral “Mejora de metodología RCM a partir del AMFEC e Implantación de mantenimiento preventivo y predictivo en plantas De procesos”, plantea premisas básicas sobre la implantación de Mantenimiento Preventivo y Predictivo en industrias de Proceso, gracias al desarrollo y personalización de la metodología RCM a partir del AMFEC, con objeto de optimizar la fiabilidad de los activos industriales. Se basa en la obra de John Moubray, del RCM en 7 preguntas. Los métodos de cálculo de criticidades, denotan la oportunidad de desarrollo de métodos de cálculo donde se tengan en cuenta multitud de variables.

Su investigación busca definir un protocolo para la implantación de mejoras aportadas a la metodología MCC a través del AMFEC y Mantenimiento Preventivo y Predictivo; estructurar los equipos o activos de estudio por sistemas y grupos de sistemas; desarrollar exhaustivos métodos de cálculo de criticidades, sistematizar la base de datos de modos de fallos para facilitar la realización de AMFEC's; desarrollar un sistema de valoración del riesgo del modo de fallo (NPR) de forma concreta, por tipologías de equipo y además variables en función de cambios en variables técnicas y de operación; diseñar sistemas de medición de frecuencias de fallos por tipologías de equipos; facilitar el diseño del plan de Mantenimiento Preventivo por intervenciones, tipologías de equipos y frecuencias de actuación; y definición de dos nuevos indicadores de gestión, número de incidencias y costes asociados, para controlar la repetición de su aparición en activos de industrias de procesos en Mantenimiento Correctivo.

2.2.2 Verónica Cecilia Canchica Corzo (Venezuela)

En su trabajo de investigación “Diseño de un plan de mantenimiento basado en la metodología del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad para flotas de equipos de carga Palas Hidráulicas O&K

de la mina PASO DIABLO DE CARBONES DEL GUASARE SA”, plantea aumentar la disponibilidad de equipos de carguío y mejorar su desempeño en el proceso de extracción de material estéril y con ello una reducción en los costos operativos.

Realiza el análisis funcional de palas y sus sistemas usando diagramas de “Entrada-función-salida” y aunque no define la metodología del análisis de criticidad que realizó, registra variables los criterios que tomo en cuenta para el análisis de criticidad.

2.2.3 Randall Rojas Barahona (Costa Rica)

En su trabajo de investigación “Plan para la implementación del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC) para plantas de concreto en proyectos del ICE”, plantea establecer un plan de implementación del MCC, que sirva como guía a los demás proyectos que utilicen estos activos. En base a las nueve áreas de conocimiento que plantea el PMI, se enfoca en el equipo de trabajo multidisciplinario, información técnica necesaria y juicio experto como factores clave para el éxito del proyecto.

Además busca elaborar el manual de MCC, donde incluye: listas de chequeo diario para el operador, así como mejorar los instructivos de mantenimiento preventivo actual, lista de repuestos y consumibles.

2.2.4 Martín Da Costa Burga

En su investigación de “Aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad a motores a gas de dos tiempos en pozos de alta producción”, contempla no solamente el estudio del equipo como tal sino de los subsistemas que lo conforman y la interacción con el entorno físico que lo rodea.

2.3 Marco histórico

Marc Gardella González en su tesis doctoral “Mejora de metodología RCM a partir del AMFEC e Implantación de Mantenimiento preventivo y predictivo en plantas de procesos” define las siguientes épocas en la historia del mantenimiento:

2.3.1 Antiguas civilizaciones

El concepto del mantenimiento es tan antiguo como la Humanidad. Los egipcios tenían sistemas de mantenimiento cuando construían las pirámides. El éxito de la extensión de la primera civilización más potente que fue la del Imperio Romano, es debido a la construcción de las vías de comunicación; las uniones se hacían con plomo y había cuadrillas de mantenimiento de la calzada. El declive del Imperio se debió a la dejadez de mantenimiento, ya que los Bárbaros robaban el plomo.

2.3.2 Revolución industrial

La época cuando reflota el mantenimiento es en la Revolución Industrial, nace el concepto de máquina industrial, es en esta época el concepto de máquina es un bien preciado. Las máquinas se diseñan para durar siempre y su estructura es muy rígida y por tanto muy fiable, lo es porque son máquinas muy elementales, con pocas piezas y muy robustas. El concepto es el de Mantenimiento Autónomo, el artista es su amo, no existe el concepto de la actividad de mantenimiento que se debe realizar a parte del diseño y construcción de la máquina; este concepto pervive hasta bien adentrado el siglo XX.

2.3.3 Décadas 40 Y 50

La expansión del Mantenimiento Industrial es en la 2º posguerra mundial, sobre las décadas de 40 y 50. Hablar de mantenimiento sin desarrollos productivos no tiene sentido. Se empieza a producir en masa para satisfacer las necesidades de gente. Esta gran industrialización, implica la construcción de máquinas más complejas y menos robustas, se entra en el concepto de la competitividad. Antes no existían las velocidades de producción y en esta época empieza a introducirse este concepto (turbomáquinas, máquinas rotativas, etc.), a mayor velocidad mayor desgaste y abrasión; por tanto las máquinas empiezan a necesitar intervenciones de mantenibilidad. Las máquinas se van complicando. Antes de mantenimiento hay que hablar de

fiabilidad (mayor número de piezas, mayor complejidad, diseños más ajustados,...), ahora nace el concepto de avería.

2.3.4 Inicios del TPM en la década de los 50

En los años 50 nace el primer concepto de Mantenimiento Preventivo por Reposición (se pierde dinero si tengo que esperar a solucionar la avería y no produzco); estadísticamente el Mantenimiento Preventivo Planificado es caro, empieza bien pero su efectividad es cuestionable. Es el empresario que ve la primera luz de la no eficacia de dicho mantenimiento. Los primeros que se preocupan de esto son los japoneses, al final de la década de los 50 ya empiezan a imitar y a aprender de mantenimiento. La primera empresa que implanta una industria manufacturera en Japón es Toyota, otro tipo de industria es la de procesos (energía, petroquímicas, químicas, etc.).

2.3.5 Creación de TPM en décadas de los 60 Y 70

En el sector manufacturero se paran mucho las líneas y se entra en el concepto de Mantenimiento Productivo, donde se vuelven a los orígenes del siglo XIX, los operarios protagonizan las intervenciones de primer nivel. En los años 60 y 70 se convierte en Mantenimiento Productivo Total (TPM), su creador es Seiichi Nakajimi (vicepresidente de JIPM). Actualmente el TPM o su variante pragmática Mantenimiento Autónomo es el modelo de referencia en el sector del automóvil y en muchas industrias manufactureras (farmacéuticas, alimentarias, metal-mecánicas,...). El problema fundamental es su concepción original; el TPM está sustentado en 12 fases y una de ellas contempla el Mantenimiento Planificado, no obstante, el Mantenimiento Autónomo contempla la intervención que puede realizar el operario y no las intervenciones complejas y duraderas.

2.3.6 Terotecnología en la década de los 60

La primera noción sobre la problemática integral industrial nace en el Reino Unido en los años 60, donde se anuncia una nueva disciplina llamada Terotecnología. Diversos estudios demuestran que alrededor

de 80% de los costes de explotación producción y mantenimiento de un activo industrial se determinan en la fase de Ingeniería. Por ello como complemento del TPM, en Japón, desde hace varias décadas se maneja el concepto de prevención del mantenimiento, que implica la realimentación de las experiencias del mantenimiento hacia la ingeniería.

2.3.7 Mantenimiento preventivo y predictivo décadas 50, 60 Y 70

En la industria de procesos el desarrollo desde los años 50 empieza por otro camino, el modelo más avanzado que suple la carencia de Mantenimiento Planificado, aparece el concepto de sobremantenimiento, nace como una secuela negativa de demasiados paros planificados que aparte de costosas no resuelven el problema de baja fiabilidad de muchos activos; por ello, en los años 60 y 70 se introduce el modelo del mantenimiento basado en estado o condiciones reales de activos industriales, popularmente llamado Mantenimiento Predictivo.

Los primeros pasos en este sentido, se dan cuando las intervenciones planificadas con reposiciones de elementos de máquinas a frecuencia fija, se empiezan a sustituir por las inspecciones cualitativas (gammas de preventivo). El Mantenimiento Predictivo da otra dimensión a dichas inspecciones, ya que se basa en mediciones periódicas de variables de estado técnico (amplitudes de vibración y sus frecuencias, impulsos de choque, temperatura, presión, espesores, etc.), observando la tendencia del cambio de niveles medidos en su comparación con ciertos patrones de referencia (ejemplo: normas de severidad de vibración). De esta manera, se organizan sistemas de auscultación de activos en operación para determinar sus necesidades reales de intervención correctiva, preventiva o de mejora, todo ello sin interferencia con la disponibilidad productiva de la instalación.

Al principio el Mantenimiento Predictivo, no es asequible debido a los altos costes de la instrumentación analógica. Se expande por los sectores estratégicos de la industria de procesos petroquímicas y

energéticos, pero posteriormente a medida que pasa el tiempo y gracias a las mejoras tecnológicas se expande a químicas, cementeras, papeleras y gracias a una gran oferta tecnológica de instrumentos portátiles se implanta en los sectores manufactureros.

2.3.8 Introducción del GMAO década de los 80

El siguiente hito importante es el desarrollo del Mantenimiento Asistido Por Ordenador. Representa la introducción de la información de usuario a principios de los 80, que conlleva el desarrollo de aplicaciones informáticas denominadas GMAO (Gestión del Mantenimiento Asistido por Ordenador). El procesamiento de datos y elaboración de informes de gestión técnicos y administrativos del mantenimiento, abren nuevos horizontes para reconocer el mantenimiento como una función industrial con entidad propia, más allá de un simple servicio. En esta línea, en los últimos años aparece un nuevo concepto Gestión de Activos (Asset Managment), donde se involucran principios de gestión integral de activos extendida hacia la ingeniería y producción.

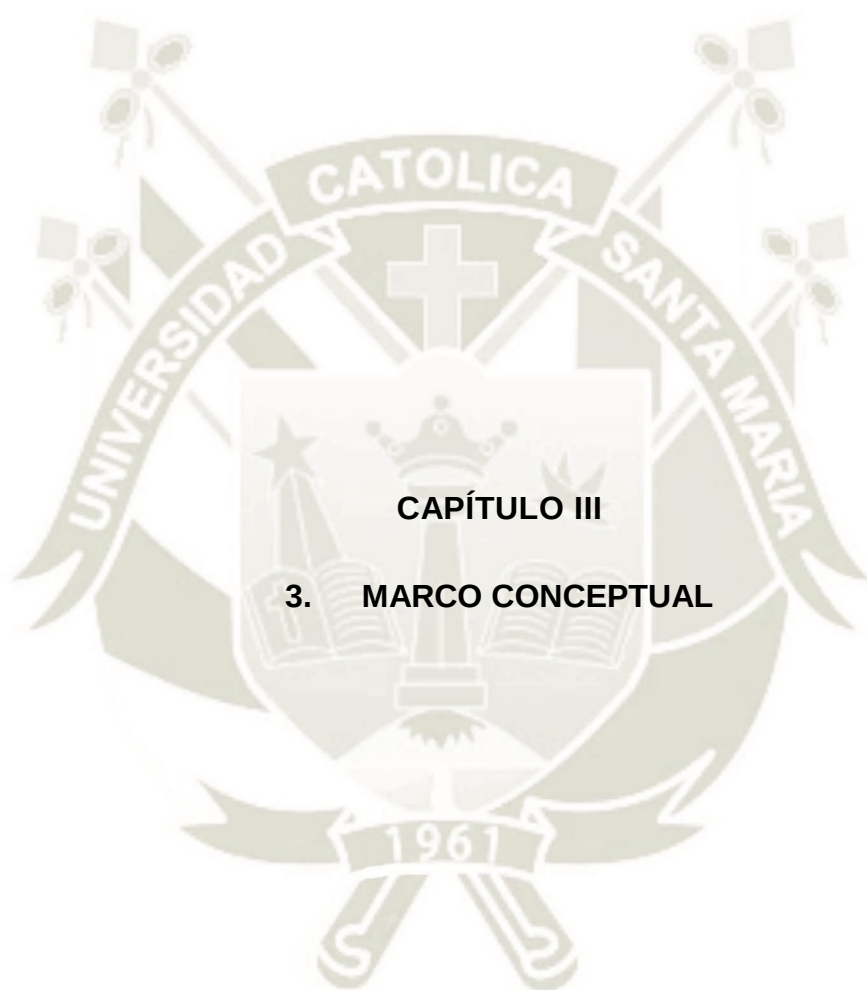
2.3.9 RCM, inicio en década de los 70

Probablemente el modelo más avanzado en el contexto del proceso de mantenimiento es el de Mantenimiento Centrado en Fiabilidad (RCM), que nace en los años 70 en la industria aeronáutica civil de EE.UU. A raíz de una iniciativa de viabilidad económica, el avión comercial más grande del mundo (Boing-747) que según los preceptos de Mantenimiento Planificado, válido para las aeronaves hasta entonces exigía excesivos costes y tiempos de mantenimiento de B-747 que cuestionaba su rentabilidad. A raíz de los estudios realizados, se elaboró una metodología que ofrecía una reducción selectiva de tareas de mantenimiento sin poner en peligro la fiabilidad y seguridad del aparato. Dicha metodología, que luego fue perfeccionada por John Moubray, consiste en aplicar el conocido método de AMFEC (Análisis Modal de Fallos Efectos y Criticidad) aplicado al diseño y proceso en la industria, ampliándolo en la valoración de consecuencias. Se parte de

las necesidades de cumplimiento de una misión por cierto activo expresado en términos de parámetro, preferiblemente medibles, luego se plantean posibles desviaciones de este cuadro paramétrico en términos de modos de fallos, luego se plantean los posibles efectos, consecuencias y su criticidad.

El RCM es un nuevo modelo de mantenimiento, es una metodología racional para determinar la integración óptima de los modelos conocidos de Mantenimiento Reactivo, Proactivo, Mejoras e incluso mantenimiento por detección de fallos ocultos; este enfoque representa un cambio radical en el desarrollo histórico del mantenimiento; porque antes del RCM, el Preventivo y Planificado se centraba en los activos y el RCM se centra en las ubicaciones y procesos productivos. Antes el Mantenimiento Preventivo, por ejemplo de una bomba era clónico independientemente de la función y el proceso donde interviniese. Ahora el mismo activo tiene distintas aplicaciones y frecuencias de intervenciones de mantenimiento dependiendo de la criticidad del proceso donde intervenga (p. 38-42).

En la norma SAE JA1011 se refiere que: “el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC) Fue documentado por primera vez en un reporte escrito por F.S. Nowlan y H.F. Heap y publicado por el Departamento de Defensa de U.S. en 1978. Desde entonces, MCC ha sido utilizado para ayudar a formular estrategias de mantenimiento de activos físicos en casi todas las áreas de trabajo humano organizado, y en casi todos los países industrializados del mundo. El proceso definido por Nowlan and Heap ha servido de base a varios documentos de aplicación en los cuales el proceso MCC ha sido desarrollado y perfeccionado a través de los años. La mayoría de estos documentos conservan los elementos claves del proceso original. Sin embargo, el uso extendido del término MCC ha llevado a enaltecer un número de procesos que difieren significativamente del original, pero que sus defensores los llaman también MCC. Muchos de estos otros procesos fallan en el logro de las metas de Nowlan and Heap, y algunos son activamente contraproducentes.



CAPÍTULO III

3. MARCO CONCEPTUAL

3.1 Concepto de Mantenimiento:

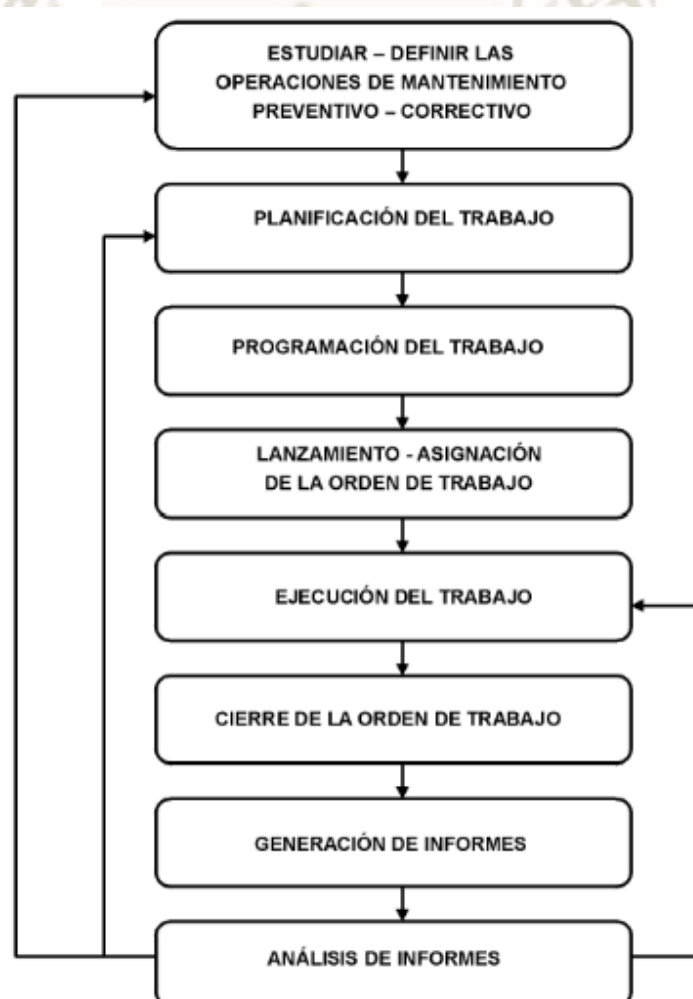
En la norma europea EN 13306, 2011, se define el mantenimiento como la combinación de todas las acciones técnicas administrativas y de gestión realizadas durante el ciclo de vida de un elemento, destinadas a conservarlo o a devolverlo a un estado en el cual pueda desempeñar la función requerida.

Como función requerida se entiende la función o combinación de funciones de un elemento que se consideran necesarias para proporcionar un servicio dado.

3.2 Ciclo de mantenimiento

El cumplimiento y la correcta interpretación del ciclo del mantenimiento aumentan la efectividad de cualquier programa de mantenimiento.

Figura 6: Ciclo del mantenimiento



Fuente: Norma Europea EN 15341: 2007

3.3 Plan de mantenimiento

Duffuaa. En su libro de Sistemas de mantenimiento planeación y control, define el plan de mantenimiento, como el conjunto de tareas de mantenimiento seleccionadas y dirigidas para proteger la función de un activo, estableciendo una frecuencia de ejecución de las mismas y el personal destinado a realizarlas. La planificación debe tener distintos horizontes de tiempo y deberán estar integrados con el plan de operaciones. Los trabajos planificados deben incluir detalles de los requerimientos de:

- Personal
- Materiales
- Duración y última fecha de inicio
- Herramientas y otros equipos especiales
- Procedimientos e instrucciones de trabajo.
- Evaluaciones de riesgo y requerimientos de seguridad

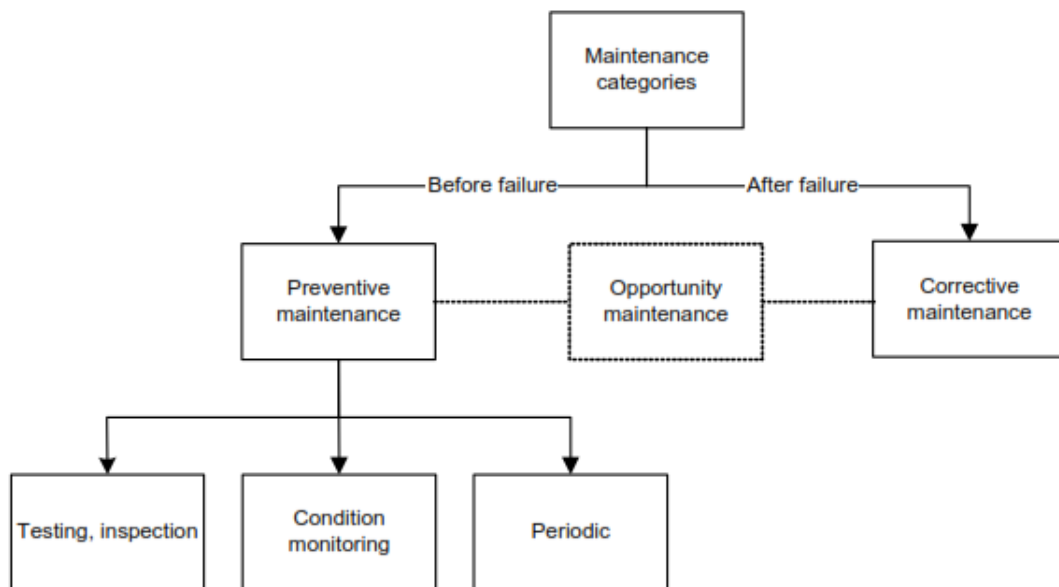
3.4 Filosofía del mantenimiento

Duffuaa. En su libro de Sistemas de mantenimiento planeación y control sostiene que la filosofía del mantenimiento pasa por garantizar una buena disponibilidad de equipos con la justa mano de obra y el mínimo gasto en recursos materiales sin comprometer la seguridad con el fin de optimizar la producción. A este buen sostenimiento que hace el autor podríamos agregar que la filosofía deberá contemplar el contexto operacional para establecer que es más importante para la organización, si trabajar sobre indicadores de disponibilidad o confiabilidad.

Para establecer una filosofía de mantenimiento se debe combinar las estrategias de mantenimiento que según la norma ISO 14224-2004:

- Mantenimiento correctivo
- Mantenimiento de oportunidad
- Mantenimiento preventivo
 - Monitoreo de condiciones
 - Chequeos/inspecciones
 - Intervenciones periódicas

Figura 7: Categorización del mantenimiento



Fuente: Norma ISO 14224-2004.

3.5 Estrategias de mantenimiento

3.5.1 Mantenimiento correctivo

Según la norma ISO 14224-2004, es el “Mantenimiento realizado después de que ocurrió la falla para poner un activo en un estado en el que puede realizar la función requerida” (p.11).

Dentro de las desventajas que se presentan cuando se deja trabajar una maquina hasta la condición de reparar cuando falle, está el aumento en los costos por impacto total.

3.5.2 Mantenimiento de oportunidad

Según la norma ISO 14224-2004, es el “Mantenimiento de un elemento que es diferido o avanzado en el tiempo cuando esté disponible una oportunidad” (p.16).

3.5.3 Mantenimiento preventivo

Según la norma ISO 14224-2004, es el “Mantenimiento realizado a intervalos predeterminados o de acuerdo con criterios prescritos y pretende reducir la probabilidad de falla o la degradación del

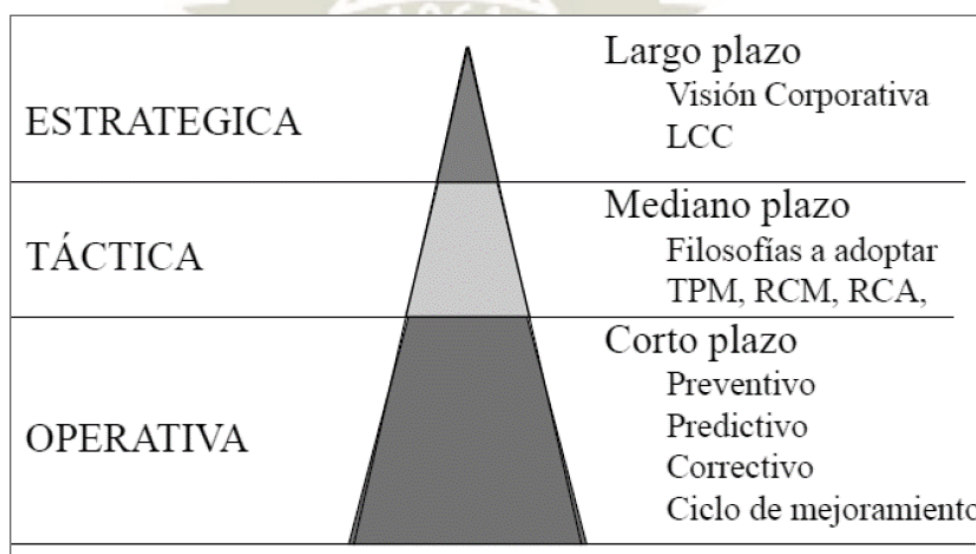
funcionamiento de un elemento” (p.16). Las acciones típicas son: limpieza, ajustes, regulaciones, lubricación y cambio de elementos.

3.6 Definición de estrategias de mantenimiento

El proceso de definición de una estrategia para mantenimiento puede describirse utilizando métodos estándar bien conocidos de planificación estratégica.

- Obtención, partiendo de los objetivos corporativos del negocio, los objetivos y políticas de mantenimiento al más alto nivel. Estos objetivos pueden incluir, por ejemplo, valores estimados y realistas para las variables: Disponibilidad de equipos, fiabilidad, seguridad, riesgo, presupuesto de mantenimiento, etc.; a su vez, estos objetivos deben de ser comunicados a todo el personal que está involucrado en mantenimiento, incluyendo terceras partes.
- Determinación del desempeño o rendimiento actual de las instalaciones productivas.
- Determinación de los medidores claves a considerar para la evaluación del rendimiento de las instalaciones (*Key Performance Indicators – KPI's*). Las mejoras a perseguir se basarán en esta serie de medidores aceptados por la dirección de operaciones y de mantenimiento.

Figura 8: Niveles de planeación



Fuente: Norma PASS 55: 2008

3.7 Indicadores de mantenimiento

Según la norma europea EN 15341: 2007. El rendimiento del mantenimiento es el resultado de la utilización activa de los recursos para conservar un bien, o para restaurarlo hasta un estado en el que pueda seguir realizando la función que del mismo se requiere. Esto se puede expresar como un resultado alcanzado o esperado.

Para cubrir este aspecto del mantenimiento, el sistema de indicadores clave de rendimiento está estructurado en tres grupos: indicadores económicos técnicos y organizacionales.

Por efectos del alcance de esta investigación solo mencionaremos a los indicadores técnicos que son materia del estudio y que son de clase mundial.

3.7.1 Disponibilidad

Según la Norma Europea EN 15341: 2007. La disponibilidad es definida como la probabilidad que un equipo esté operando o sea disponible para su uso, durante un periodo de tiempo determinado. Es decir, la disponibilidad permite determinar el porcentaje de tiempo en el cual el equipo se encuentra en servicio.

La disponibilidad es una característica que resume cuantitativamente el comportamiento que presenta un elemento durante su vida útil.

$$D = \frac{\text{Tiempo total de funcionamiento}}{\text{Tiempo total de funcionamiento} + \text{tiempo de indisponibilidad por mantenimiento}}$$

1. Disponibilidad genérica

$$D = \frac{MTBF}{MTBF + TPFS}$$

Donde TPFS es el tiempo promedio fuera de servicio.

2. Disponibilidad operacional

$$D_o = \frac{MTBM}{MTBM + TPFS} \cong D = \frac{\text{Horas en Servicio}}{\text{Horas Requeridas}}$$

3.7.2 Tiempo medio entre fallas (MTBF)

Relación entre el producto del número de ítems por sus tiempos de operación y el número total de fallas detectadas en esos ítems, en el período observado.

Este índice debe ser usado para ítems que son reparados después de la ocurrencia de una falla.

$$MTBF = \frac{\text{Tiempo total de operación}}{\text{Número total de fallas detectadas}}$$

3.7.3 Tiempo promedio para reparar (MTTR)

El Tiempo Promedio Fuera de Servicio, se determina mediante la ecuación:

$$MTTR = \frac{\text{Tiempo total de reparaciones correctivas}}{\text{Número total de fallas detectadas}}$$

3.7.4 Tiempo medio para falla (MTTF)

Relación entre el tiempo total de operación de un conjunto de ítems no reparables y el número total de fallas detectadas en esos ítems, en el período observado.

$$MTTF = \frac{\text{Tiempo total de operación}}{\text{Número total de fallas detectadas}}$$

Este índice debe ser usado para ítems que son sustituidos después de la ocurrencia de una falla.

Es importante observar la diferencia conceptual existente entre el Tiempo Medio para Fallar (MTTF) y Tiempo Medio entre Fallas (MTBF). El primer índice (MTTF) es calculado para ítems que no son reparados tras la ocurrencia de una falla, o sea, cuando fallan son sustituidos por nuevos y, en consecuencia, su tiempo de reparación es cero. El segundo índice (MTBF) es calculado para ítems que son reparados tras la ocurrencia de la falla. Por lo tanto, los dos índices son mutuamente exclusivos para ítems iguales.

El cálculo del Tiempo medio entre fallas debe estar asociado al cálculo del Tiempo medio para reparación.

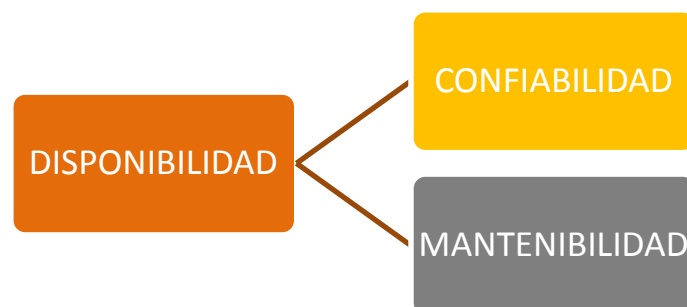
Debido a que dichos índices presentan un resultado promedio, su exactitud está asociada a la cantidad de ítems observados y al período de observación. Cuanto mayor la cantidad de datos, mayor será la precisión de la expectativa de sus valores. En caso de no existir gran cantidad de ítems, o en el caso que se desee obtener los tiempos promedios entre fallas de cada uno, es recomendable trabajar con períodos bastante amplios de observación (cinco años o más), para garantizar la confiabilidad de los resultados.

Especial atención se debe tener en el desarrollo de programas informatizados para el cálculo de estos índices, pues puede ocurrir que, en el período considerado, el número de ocurrencias (fallas) sea cero, lo que llevaría a la computadora a realizar un cálculo, que daría como resultado un valor "infinito", consecuencia de la división entre cero, haciendo que el programa se trabase." Fuente: RM. Revista de Mantenimiento - Chile - N°32 - Año 2000-ISS0716-8616) Lourival Augusto Tavares"

3.7.5 Confiabilidad

La confiabilidad es la probabilidad de que un equipo cumpla una misión específica (no falle) bajo condiciones de operación determinadas en un periodo de tiempo específico.

Figura 9 Relación entre los indicadores de mantenimiento



Fuente: Gestión de mantenimiento Explo Drilling Perú

La confiabilidad se relaciona básicamente con parámetros tales como la tasa de fallas (cantidad de fallas), tiempo promedio entre fallas (MTBF), tiempo medio de operación (MTO), y tiempo de operación (TO).

El tiempo promedio entre fallas consecutivas (MTBF) se determina mediante la siguiente ecuación:

$$MTBF = \frac{\sum n \text{ (Tiempo total en operación)}}{n \text{ (Número total de fallas)}}$$

3.7.6 Confiabilidad Operacional

El término confiabilidad se refiere a la probabilidad de que un componente de un equipo o sistema cumpla con las funciones requeridas durante un intervalo de tiempo bajo condiciones dadas en el contexto operacional donde se ubica.

Uno de los requisitos que se debe cumplir para poner en práctica un programa de confiabilidad operacional es establecer planes y estrategias para lograr asentar las bases del éxito.

3.8 Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC)

Según la norma SAE JA1011, Cualquier proceso MCC debe asegurarse de responder satisfactoriamente las siguientes siete preguntas y además, ser respondidas en la secuencia que se muestra:

1. ¿Cuáles son las funciones deseadas y los estándares de desempeño asociados del activo en su contexto operacional presente (funciones)?
2. ¿De qué maneras puede fallar al cumplir sus funciones (fallas funcionales)?
3. ¿Qué causa cada falla funcional (modos de falla)?
4. ¿Qué pasa cuando ocurre cada falla funcional (efectos de falla)?
5. ¿De qué manera afecta cada falla (consecuencias de falla)?
6. ¿Qué se debe hacer para predecir o prevenir cada falla (tareas proactivas e intervalos de tareas)?
7. ¿Qué se debe hacer si una tarea proactiva que conviene no está disponible (acciones predeterminadas)?

La norma SAE JA1011 también nos dice que, para responder cada una de las preguntas anteriores “satisfactoriamente”, se debe recolectar la siguiente información, y se deben tomar las siguientes decisiones. Toda la información y decisiones deben ser documentadas de manera que estén totalmente disponibles para el dueño o usuario y sean aceptables para los mismos.

3.8.1 Funciones

1. Se debe definir el contexto operacional del activo.
2. Se deben identificar todas las funciones del activo/sistema (todas las funciones primarias y secundarias, incluyendo las funciones de todos los dispositivos de protección).
3. Todos los enunciados de una función deben contener un verbo, un objeto, y un estándar de desempeño (cuantificado en cada caso que se pueda hacer).
4. Los estándares de desempeño incorporados en los enunciados de una función deben tener el nivel de desempeño deseado por el dueño o usuario del activo/sistema en su contexto operacional.

3.8.2 Fallas Funcionales

Se deben definir todos los estados de falla asociados con cada función.

3.8.3 Modos de Falla

Se deben identificar los modos de falla “probables” que puedan causar cada falla funcional.

1. El método utilizado para decidir que constituye un modo de falla “probable” debe ser aceptado por el dueño o usuario del activo.
2. Se deben identificar los modos de falla en un nivel de causalidad que haga posible identificar una política de manejo de fallas apropiada.
3. Las listas de los modos de falla deben incluir los modos de falla que han ocurrido antes, los modos de falla que están siendo prevenidos actualmente por la existencia de programas de mantenimiento, y los modos de falla que no han ocurrido aún pero que se piensan probables (creíbles) en el contexto operacional.

4. Las listas de los modos de falla deben incluir cualquier evento o proceso que probablemente pueda causar una falla funcional, incluyendo deterioro, defectos de diseño, y errores humanos que pueden ser causados por operadores o mantenedores (a menos que el error humano esté siendo activamente dirigido por un proceso analítico aparte del MCC).

3.8.4 Efectos de Falla

1. Los efectos de falla deben describir lo que puede pasar si no se realiza ninguna tarea específica para anticipar, prevenir o detectar la falla.
2. Los efectos de falla deben incluir toda la información necesaria para soportar la evaluación de las consecuencias de la falla, tales como:
 - ¿Qué evidencia (si existe alguna) que la falla ha ocurrido (en el caso de funciones ocultas, que podría pasar si ocurre una falla múltiple)?
 - ¿Qué hace (si ocurre algo) para matar o dañar a alguien, o para tener efectos adversos en el ambiente?
 - ¿Qué hace (si hace algo) para tener un efecto adverso en la producción o en las operaciones?
 - ¿Qué daño físico (si existe alguno) causa la falla?
 - ¿Qué (si existe algo) debe ser hecho para restaurar la función del sistema después de la falla?

3.8.5 Categorías de Consecuencias de Falla

1. Las consecuencias de cada modo de falla deben ser formalmente categorizadas como sigue:
 - El proceso de categorización de consecuencias debe separar los modos de falla ocultos de los modos de falla evidentes.
 - El proceso de categorización de consecuencias debe distinguir claramente los eventos (modos de falla y fallas múltiples) que tengan consecuencias en la seguridad y/o el ambiente de los que sólo tengan consecuencias económicas (consecuencias operacionales y no operacionales).

2. La valoración de las consecuencias de falla se debe llevar a cabo como si ninguna tarea específica se esté llevando a cabo actualmente para anticipar, prevenir o detectar la falla.

3.8.6 Selección de las Políticas de Manejo de Fallas

1. El proceso de selección de manejo de fallas debe tomar en cuenta el hecho de que la probabilidad condicional de algunos modos de falla se incrementará con el tiempo (o con la exposición al esfuerzo), que la probabilidad condicional de otros no cambiará con el tiempo y que la probabilidad condicional de otros tampoco decrecerá con el tiempo.
2. Todas las tareas programadas deben ser técnicamente factibles y que valgan la pena hacerlas (aplicables y efectivas), y los medios por los cuales este requerimiento deberá ser satisfecho están fijados en 3.8.7.
3. Si dos o más políticas de manejo de fallas propuestas son técnicamente factibles y valen la pena hacerlas (aplicables y efectivas), se debe seleccionar la política que sea mejor costo-efectiva.
4. La selección de las políticas de manejo de fallas debe ser llevada a cabo como si ninguna tarea específica estuviese siendo realizada actualmente para anticipar, prevenir o detectar la falla.

3.8.7 Políticas de Manejo de Fallas— Tareas Programadas

1. Todas las tareas programadas deben cumplir con los siguientes criterios:
 - En el caso de que un modo de falla evidente tenga consecuencias en la seguridad o en el ambiente, la tarea debe reducir la probabilidad del modo de falla a un nivel que sea tolerable para el dueño o usuario del activo.
 - En el caso de un modo de falla oculta en el que la falla múltiple asociada tenga consecuencias en la seguridad o en el ambiente, la tarea debe reducir la probabilidad del modo de falla oculta a

una magnitud que disminuya la probabilidad de la falla múltiple asociada a un nivel tolerable para el dueño o usuario del activo.

- En el caso de un modo de falla evidente que no tenga consecuencias en la seguridad o en el ambiente, los costos directos o indirectos de la tarea deben ser menores que los costos directos o indirectos del modo de falla cuando se calculan en períodos de tiempo comparables.

- En el caso de un modo de falla oculta en el que la falla múltiple asociada no tenga consecuencias en la seguridad o en el ambiente, los costos directos o indirectos de la tarea deben ser menores que los costos directos o indirectos de una falla múltiple más el costo de reparación del modo de falla oculta cuando se calculen en períodos de tiempo comparables.

2. Tareas Basadas en Condición— Cualquier tarea basada en condición que se seleccione (o predictiva, o basada en condición, o tarea de monitoreo de condición) debe satisfacer los siguientes criterios adicionales:

- Debe existir un potencial de falla claramente definido.
- Debe existir un intervalo P-F identificable (o período para el desarrollo de falla).
- El intervalo de la tarea debe ser menor que el intervalo P-F probable más corto.
- Debe ser físicamente posible realizar la tarea en intervalos menores que el intervalo P-F.
- El tiempo más corto entre la detección de un potencial de falla y la ocurrencia de una falla funcional (el intervalo P-F menos el intervalo de la tarea) debe ser suficientemente largo para predeterminar la acción a ser tomada para evitar, eliminar o minimizar las consecuencias del modo de falla.

3. Tareas de Desincorporación Programada— Cualquier tarea de desincorporación programada seleccionada debe satisfacer los siguientes criterios adicionales:

- Debe estar claramente definida (preferiblemente demostrable) la longevidad en la cual hay un incremento en la probabilidad condicional del modo de falla en consideración.
 - Debe existir una proporción suficientemente grande de las ocurrencias de este modo de falla después de esta longevidad para reducir la probabilidad de una falla prematura a un nivel que sea tolerable para el dueño o usuario del activo.
4. Tareas de Restauración Programada— Cualquier tarea de restauración programada seleccionada debe satisfacer los siguientes criterios adicionales:
- Debe estar claramente definida (preferiblemente demostrable) la longevidad a la cual hay un incremento en la probabilidad condicional del modo de falla en consideración.
 - Debe existir una proporción suficientemente grande de las ocurrencias de este modo de falla después de esta longevidad para reducir la probabilidad de una falla prematura a un nivel que sea tolerable para el dueño o usuario del activo.
 - La tarea debe restaurar la resistencia a fallar (condición) del componente a un nivel que sea tolerable para el dueño o usuario del activo.
5. Tareas de Detección de Fallas— Cualquier tarea de detección de fallas seleccionada debe satisfacerlos siguientes criterios adicionales (detección de fallas no aplica para modos de falla evidentes):
- La base sobre la cual se selecciona el intervalo de tarea debe tomar en cuenta la necesidad de reducir la probabilidad de una falla múltiple del sistema protector asociado a un nivel que sea tolerable para el dueño o usuario del activo.
 - La tarea debe confirmar que todos los componentes cubiertos por la descripción del modo de falla estén funcionales.
 - La tarea de detección de falla y el proceso de selección del intervalo asociado deben tomar en cuenta cualquier probabilidad

de que la tarea por si misma pueda dejar la función oculta en un estado de falla.

- Debe ser físicamente probable hacer la tarea en los intervalos especificados.

3.8.8 Políticas de manejo de falla

1. Cambios una vez.

- El proceso MCC se esfuerza por obtener el desempeño deseado del sistema considerando como está configurado y operado actualmente, a través de la aplicación de tareas programadas apropiadas.
- En los casos donde tales tareas no estén disponibles, pueden ser necesarios cambios una vez del activo o sistema, sujeto a los siguientes criterios:
 - En los casos donde la falla es oculta, y la falla múltiple asociada tiene consecuencias en la seguridad y en el ambiente, es mandatorio cambios una vez que reduzcan la probabilidad de una falla múltiple a un nivel tolerable para el dueño o usuario del activo.
 - En los casos donde el modo de falla es evidente y tiene consecuencias en la seguridad y en el ambiente, es mandatorio cambios una vez que reduzcan la probabilidad de una falla múltiple a un nivel tolerable para el dueño o usuario del activo.
 - En casos donde el modo de falla es oculto y la falla múltiple asociada no tiene consecuencias en la seguridad ni en el ambiente, cualquier cambio una vez debe ser costo-efectivo en opinión del dueño o usuario del activo.
 - En casos donde el modo de falla es evidente y no tiene consecuencias en la seguridad ni en el ambiente, cualquier cambio una vez debe ser costo-efectivo en opinión del dueño o usuario del activo.

2. Operar hasta Fallar

Cualquier política de operar hasta fallar seleccionada debe satisfacer los criterios apropiados como sigue:

- En casos donde la falla es oculta y no hay ninguna tarea programada apropiada, la falla múltiple asociada no debe tener consecuencias en la seguridad ni el ambiente.
- En casos donde la falla es evidente y no hay ninguna tarea programada apropiada, el modo de falla asociado no debe tener consecuencias en la seguridad ni en el ambiente.

3.8.9 Un Programa de Vida

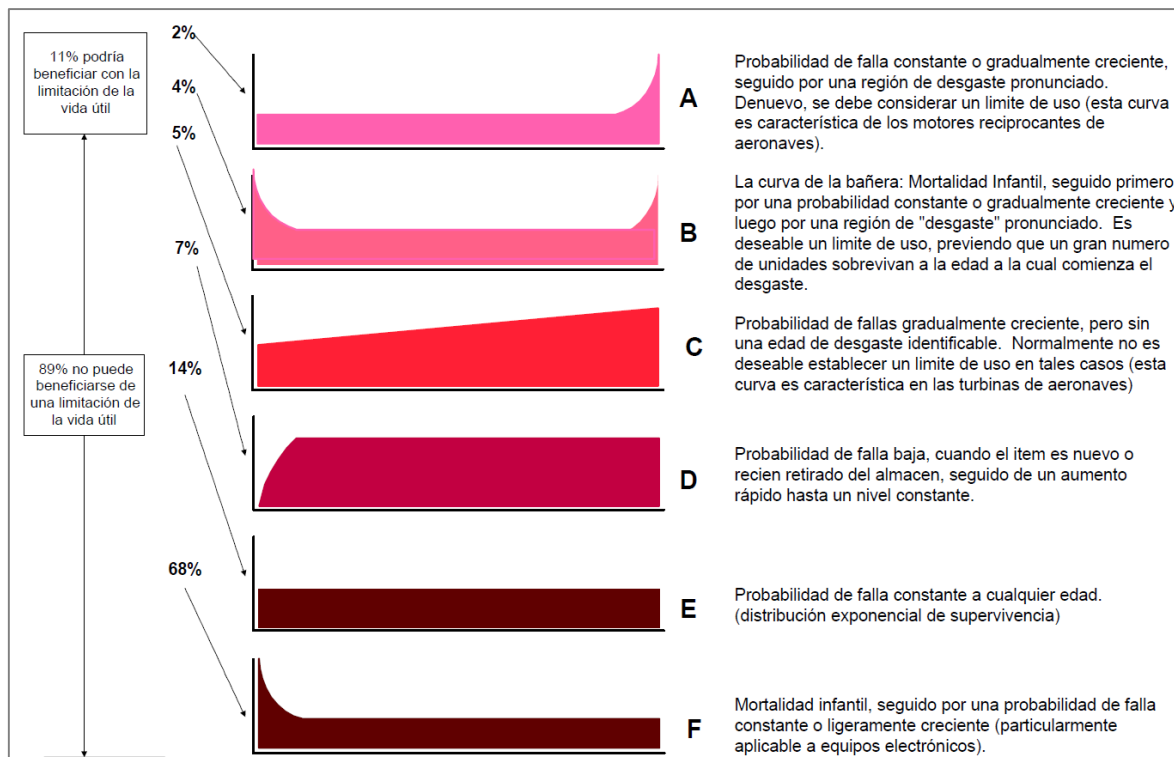
- Este documento reconoce que (a) Muchos de los datos usados en el análisis inicial son inherentemente imprecisos, y que los datos más precisos estarán disponibles en el tiempo, (b) La manera en la cual el activo es utilizado, junto a las expectativas de desempeño asociadas, también cambiarán con el tiempo, y (c) La tecnología de mantenimiento continúa evolucionando. De modo que, una revisión periódica es necesaria si el programa de manejo de activos del MCC derivado es asegurar que los activos continúen cumpliendo las expectativas funcionales actuales de sus dueños y usuarios.
- Por consiguiente, cualquier proceso MCC debe proveer una revisión periódica de las decisiones y al mismo tiempo de la información usada para soportar dichas decisiones. El proceso suele conducir de tal manera, que una revisión deba asegurar que todas las siete preguntas de la sección 5 continúen siendo respondidas satisfactoriamente y en una manera consistente con el criterio que parte desde 5.1 hasta 5.8.

3.8.10 Formulación Estadística y Matemática

- Cualquier formulación estadística y matemática que se pueda utilizar en la aplicación del proceso (especialmente aquellos usados para computar los intervalos de algunas tareas) debe ser lógicamente robusta, y debe estar disponible y ser aprobada por el dueño o usuario del activo.

3.9 Análisis Actuarial y Datos de Falla

Figura 10: Modelos de falla de equipos



Fuente: Generaciones de evolución del mantenimiento. Jonh Moubray (1997)

3.9.1 Los Seis Patrones de Falla

Se empieza con el análisis de los patrones de falla B y E, porque representan los casos más comunes de fallas relacionadas con la edad y fallas aleatorias.

1. Patrón de Falla B

También conocida como Curva de la Falla Tradicional. Este patrón de falla se caracteriza por tener en un inicio una tasa de fallas aleatoria y después de un periodo de tiempo se incrementa de forma considerable (en ella el índice de fallas aumenta a medida que transcurre el tiempo).

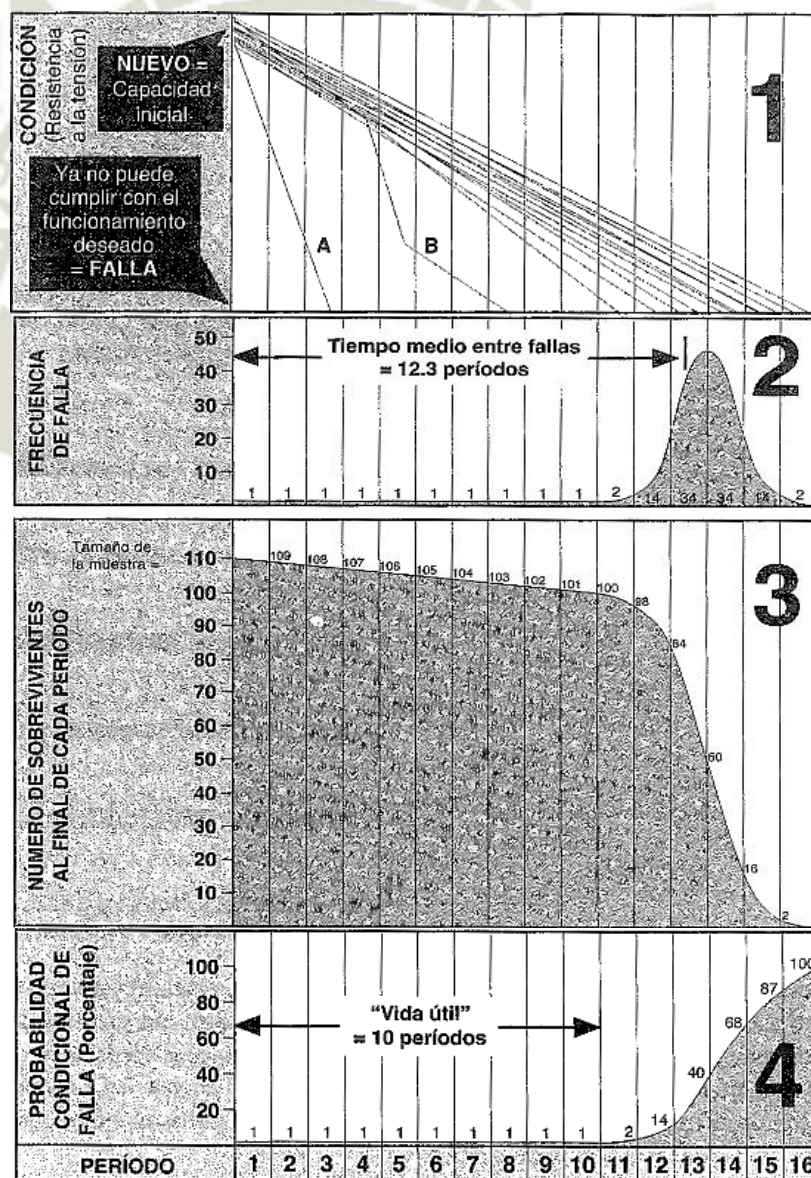
Para equipos con este tipo de patrón, las frecuencias de las tareas de reacondicionamiento y sustitución cíclicas deben ser determinadas a partir del punto en el cual hay un rápido incremento de la probabilidad condicional de falla, antes que usar el MTBF, esto

debido a que la vida útil de estos componentes es por lo general menor al MTBF.

Para este tipo de patrón existen pocos modos de falla que se comportan de esta forma, es más común encontrar modos de fallas que muestran poca relación a largo plazo entre edad y falla.

Para el ejemplo de impulsores de bomba se puede ver en la figura que se arma una distribución de falla que aplica solo al desgaste, los impulsores A y B salen de la distribución por que se atribuye a otras razones.

Figura 11: Distribución de falla para desgaste de impulsores



Fuente: Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad II. Jonh Moubray (1997)

Considerando una muestra de 110 impulsores vemos que se da una distribución normal de fallas entre el periodo 11 y 16 con un MTBF de 12.3 periodos, 10 impulsores fallaron prematuramente la distribución de frecuencias de fallas se representa en función de la edad operativa de una muestra grande. Finalmente hay que tener cuidado con la variable a elegir para establecer la frecuencia de reemplazo en función a la vida útil o al tiempo de. Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad II. Jonh Moubray (1997).

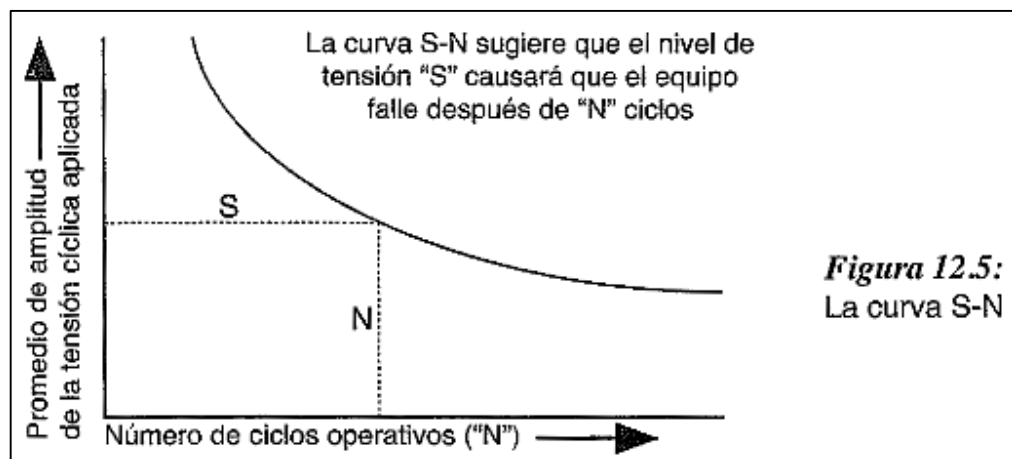
2. Patrón de Falla E

La probabilidad de falla condicional es la misma en cualquier momento, no se puede programar un reacondicionamiento o una sustitución cíclica, es decir el mantenimiento preventivo no es útil. En ítems con este tipo patrón todavía es posible determinar un MTBF, lo que quiere decir que se puede decir que estos componentes tienen una “vida”, mas no de una “vida útil”. Asimismo, se puede hacer una comparación de confiabilidad de dos componentes que tengan este tipo de patrón de falla, siendo el más confiable el que menos probabilidad de falla tiene. Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad II. Jonh Moubray (1997).

3. Patrón de falla C

Registra un deterioro constante desde el principio, con una probabilidad de falla que crece de manera uniforme con el uso. Una de las causas de este tipo de falla es la fatiga, la cual está regida en forma teórica por la curva S-N. Este tipo patrón mostrará una distribución de Weibull, por lo tanto, en este tipo de patrón antes de hablar de una curva de distribución de frecuencia se deberá hablar de una curva de densidad de frecuencia. La teoría clásica de la ingeniería sugiere que la falla por fatiga es causada por tensiones cíclicas, y que la relación entre las mismas y la falla está regida por la curva S-N. En este patrón de falla el parámetro de forma β tiene un valor de 2 MCC II Jonh Moubray (1997).

Figura 12: Curva S-N



Fuente: Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad II. Jonh Moubray (1997)

4. Patrón de falla D

Probabilidad de falla es baja cuando está nuevo, pero luego ocurre un rápido incremento de falla seguido de un comportamiento aleatorio. También se representa por una distribución de Weibull donde el parámetro de forma β es mayor a 1 pero menor a 2.

5. Patrón de falla F

También conocida como Curva de la J Invertida (este modelo combina la mortalidad infantil muy alta con el nivel de falla constante). Es el único patrón de falla donde la probabilidad decrece con la edad y es el tipo de patrón más común. Entre las causas de esta mortalidad infantil podemos mencionar las siguientes:

- Mal diseño.
- Incorrecta instalación.
- Incorrecta operación.
- Mantenimiento innecesario.
- Falta de capacitación en mantenimiento.

La mayor probabilidad de falla se da cuando el equipo es nuevo o justo después de haber sido reacondicionado. Para prevenir este tipo de patrón de falla se puede tomar acción en lo siguiente:

- Diseño
 - Usar tecnología ya comprobada.

- Usar el equipo más simple posible que cumpla con la función requerida.
- Fabricación e instalación
 - Implementar controles de calidad de proveedor y del proyecto.
 - Solicitar al proveedor garantías extendidas.
- Mantenimiento de rutina
- Se debe evitar hacer tareas innecesarias, y en aquellos casos donde sea necesario el mantenimiento programado, se debe elegir las tareas que alteren el equipo tan poco como sea posible.
- Mano de obra de mantenimiento
- Se debe contar con mano de obra calificada y motivada para realizar las tareas de instalación y después de dar mantenimiento a los equipos.

Figura 13: Causas de la mortalidad infantil



Fuente: MCC II. Jonh Moubray (1997)

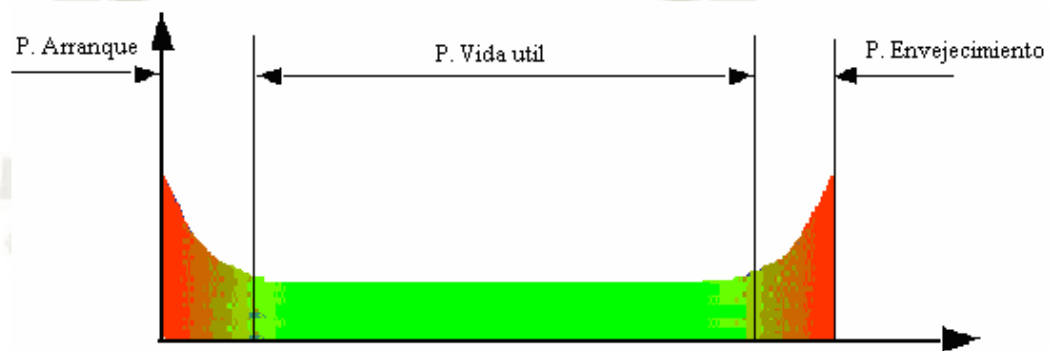
6. Patrón de falla A

Este tipo de patrón sigue la forma de la bañera y se caracteriza porque inicia con un periodo de mortalidad infantil que tiene una alta incidencia de falla que va descendiendo a medida que transcurre el tiempo. Luego inicia el periodo de operación normal (falla aleatoria) donde el índice de fallas permanece aproximadamente constante y

estas pueden ocurrir en cualquier edad. Posteriormente llega el periodo de desgaste o envejecimiento (falla por edad) que se caracteriza porque el índice de fallas aumenta a medida que transcurre el tiempo.

El patrón A generalmente describe la probabilidad condicional de dos o más modos de fallas diferentes.

Figura 14 Curva de la bañera o de evolución de la tasa de fallas



Fuente: Generaciones de evolución del mantenimiento.
Jonh Moubray (1997)

3.9.2 Rol del análisis actuarial al establecer las políticas de mantenimiento

El análisis actuarial tiene como uso principal estudiar los problemas de confiabilidad en la zona intermedia, donde hay una relación indefinida entre edad y fallas que tienen consecuencias económicas significativas, pero no de seguridad.

Desde el punto de vista de la administración del mantenimiento el análisis actuarial de la relación entre la edad operativa y la falla es de muy poco valor, ya que la recopilación de la data histórica está enraizada en el pasado mientras que los conceptos de anticipación y prevención están ligados al futuro, por ello el RCM es la propuesta que cambia el pasado en futuro. Por ello el RCM trata estos problemas de la siguiente forma:

- Definición de falla; el RCM nos permite definir con gran precisión que entendemos por “fallado” esto gracias a distinguir claramente entre capacidad inherente y rendimiento deseado, y entre las fallas

potenciales (el estado de falla) y las fallas funcionales (estado fallado).

- Complejidad; el RCM analiza cada activo definiendo sus funciones y para cada función sus fallas funcionales y recién entonces identifica los modos de falla que causan cada falla funcional, haciéndolo más manejable que un FMEA.
- Evolución; al tener un registro comprensivo de todos los estándares de rendimiento, modos de falla y fallas funcionales asociado a cada activo, el RCM permite saber cómo se verá afectado un activo debido a cualquier cambio en el diseño o contexto operativo, por lo que se podrá tomar acciones en aquellas áreas que realmente lo requieran.

3.9.3 Uso específico de datos al formular políticas de mantenimiento

La aplicación exitosa del RCM requiere de una gran cantidad de datos, pero no todos los datos son útiles por lo que se muestra a continuación los tipos de datos cuantitativos que se usan para respaldar las distintas etapas del proceso de toma de decisiones. Estos se agrupan en una tabla donde se tiene:

- Dato: fragmento de información que es de interés.
- Aplicación: resumen breve del uso a darle al dato
- Observaciones: donde es más probable encontrar el dato.
- Páginas: páginas del libro donde se usa el dato con mayor detalle.

Todos estos datos son usados directamente para formular políticas diseñadas para tratar de solucionar o prevenir modos de fallas específicos y no incluyen datos utilizados para controlar el rendimiento global de la administración de mantenimiento.

El MTBF tiene los siguientes usos específicos:

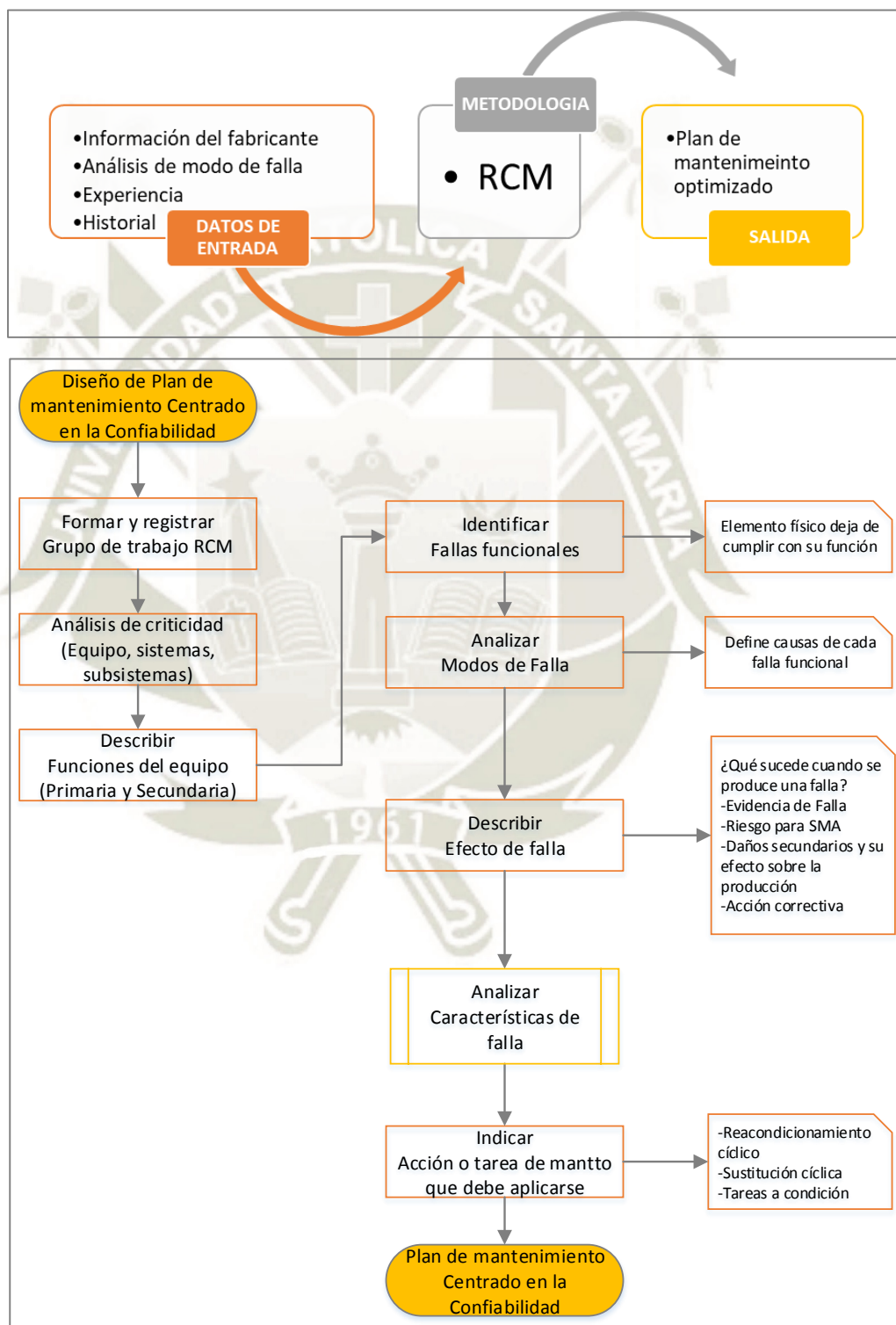
- Establecer la frecuencia de las tareas de búsqueda de fallas.
- Ayudar a decidir si merece la pena el mantenimiento programado en el caso de modos de falla que solo tienen consecuencias operacionales o no operacionales.
- Ayudar a establecer la disponibilidad de un dispositivo protector.



4.1 Procedimiento del diseño del plan de mantenimiento RCM

Para el diseño del plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad se siguió el siguiente proceso:

Figura 15: Proceso de aplicación de RCM



Fuente: Gestión de mantenimiento Explo Drilling Perú

4.2 Equipo de trabajo RCM

Tabla 3: Equipo de trabajo RCM

N°	Parentesco	Función Equipo RCM	Cargo
1	José Nayhua	Facilitador	Gestor de mantenimiento
2	Teodoro Surco	Líder del equipo	Gerente de operaciones
3	Javier Chambi	Ingeniero de Procesos	Jefe de operaciones
4	Guido Ccorahua	Especialista	Supervisor
5	Cesar Ccorahua	Programador	PLanner
6	Alcides carrasco	Operador	Técnico Operador
7	Bulmer Llayqui	Mantenedor	Técnico mecánico

4.3 Base de datos de equipos

Tabla 4: Lista de equipos que operan en la empresa Explo Drilling

TAG	Parentesco	Marca	Modelo	Serie	Fecha Fabricación
LY-44-01	Perforadora	BOART LONGYEAR	44		1995
CS-14-02	Perforadora	ATLAS COPCO	CS-14	CRG107912508-1	2009
DE-710-03	Perforadora	SANDVIK	DE-710		2010
ED-3000-04	Perforadora	EXPLO	UDR-650		2011
ED-3000-05	Perforadora	EXPLO	UDR-650		2011
CT-20-06	Perforadora	ATLAS COPCO	CT-20		2011
CT-20-07	Perforadora	ATLAS COPCO	CT-20		2012
ED-20-08	Perforadora	EXPLO	CT-20		2012
LM-75-09	Perforadora	BOART LONGYEAR	LM-75	75-2012-125	2012
DE-710-10	Perforadora	SANDVIK	DE-710	458-12	2012
DE-710-11	Perforadora	SANDVIK	DE-710	462-12	2013
MAN-600-12	Perforadora	MANCORE	600	FMCO-003-003	2013
CSD-500C-13	Perforadora	CORTECH	CSD-500C	GBW12140703-1C3	2012
RM-140-14	Perforadora				
CAM-O1	Camión	VOLKSWAGEN	26.22	9533782U2CR160917	2011
CAM-O2	Camión	VOLKSWAGEN		V4Y-851	2011
CAM-O3	Camión	VOLKSWAGEN		V3C-780	2012
CAMGR-04	Camión grúa	VOLKSWAGEN		D6H-870	2011
BUS-O5	Minibuss	MITSUBISHI		B7Y-954	2011
UB-01	Unidad bombeo	Lister		12005491TR3A01	
UB-02	Unidad bombeo	Lister		12005485TR3A01	
UB-03	Unidad bombeo	Lister		11019975TR3A01	
UB-04	Unidad bombeo	Lister			
UB-05	Unidad bombeo	Lister		12014437TR3A01	
UB-06	Unidad bombeo	Lister		11019973TR3A01	
UB-07	Unidad bombeo	Lister		12017570TR2A01	

4.4 Análisis de criticidad

4.4.1 Análisis de criticidad de equipos

Se hizo el análisis de criticidad para todos los equipos tomando como criterios para la evaluación de la criticidad cinco factores de criticidad. Los factores del análisis de criticidad son:

- Factor de recurrencia de eventos de fallas
- Factor de impacto operacional
- Factor de flexibilidad operacional
- Factor de costos Mantenimiento Correctivo
- Factor de seguridad y ambiente
- Consecuencia

Figura 16: Factores del análisis de criticidad

RECURRENCIA DE EVENTOS DE FALLA			COSTOS DE MANTENIMIENTO CORRECTIVO	
MUY MALO	(Mayor a 20 fallas/año)	4	Mayor o igual a 20 mil dolares al año	2
MALO	(de 11 a 20 fallas/año)	3		
REGULAR	(de 6 a 10 fallas/año)	2	Inferior a 20 mil dolares al año	1
IMPACTO OPERACIONAL			IMPACTO EN SEGURIDAD, AMBIENTE E HIGIENE	
Parada inmediata de todo el ciclo productivo		10	Afecta la seguridad humana, ambiente/alto impacto	8
Parada parcial e influye solo a algunos equipos		8	Afecta las instalaciones causando daños severos	6
Impacta en el desempeño de la producción o calidad		6	Provoca daños menores (accidentes), bajo impacto an	4
Repercute en costos operacionales y disponibilidad		4	Provoca molestias minimas a instalaciones o al ambie	2
No genera efecto sobre operaciones y producción		1		
FLEXIBILIDAD OPERACIONAL				
No existe opción de reemplazo operacional ni reemplazo de repuesto		4		
Hay opción de repuesto alternativo o compartido		2		
Función de repuesto disponible		1		

Fuente: Maestría Ingeniería de Mantenimiento UCSM
Mantenimiento Basado en la confiabilidad

Donde:

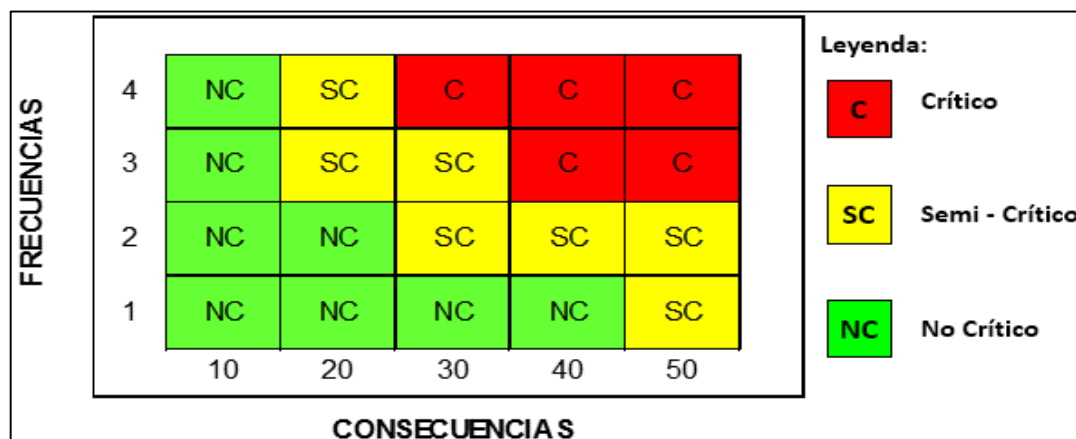
Criticidad = Consecuencia * Factor de recurrencia de eventos de fallas

Consecuencia = Factor de impacto operacional * Factor de flexibilidad Operacional + Factor de costos Mantenimiento Correctivo + Factor de seguridad y ambiente.

4.4.2 Matriz de evaluación de criticidad

Para la evaluación del nivel de criticidad se reforzó con una matriz de criticidad.

Figura 17: Matriz de evaluación de la criticidad



Fuente: Maestría Ingeniería de Mantenimiento UCSM
Mantenimiento Basado en la confiabilidad

4.4.3 Resultados de evaluación de criticidad de equipos

Resultó en el análisis de criticidad, las perforadoras Atlas Copco CT20 como los equipos más críticos con una ponderación de 156.

Tabla 5: Lista de equipos

		Fatores Equipamentos
Perforadoras	BOART LONGYEAR	44
	BOART LONGYEAR	LM-75
	ATLAS COPCO	CS-14
	ATLAS COPCO	CT-20
	SANDVIK	DE-710
	MANCORE	600
	CORTECH	CSD-500C
	RM	RM-140
	ED	UDR-650
Camiones	GRÚA	VOLKSWAGEN
	PLATAFORMA	VOLKSWAGEN
Unidad de Bombeo	PARA AGUA	LISTER
Motosoldadora	MTS	HONDA

Tabla 6: Evaluación de la criticidad de equipos

Factores Equipamientos	Factor de recurrencia de fallas	Factor de impacto operacional	Factor de flexibilidad operacional	Factor de costos M antto Correctivo	Factor de seguridad y ambiente	conse cuencia	total
44	4	10	1	2	8	20	80
LM-75	4	10	2	2	8	30	120
CS-14	4	10	2	4	8	32	128
CT-20	3	10	4	4	8	52	156
DE-710	4	10	2	2	8	30	120
600	4	10	2	2	8	30	120
CSD-500C	4	10	1	2	8	20	80
RM-140	4	10	1	2	8	20	80
UDR-650	4	10	2	2	8	30	120
VOLKSWAGEN	4	4	2	1	4	13	52
VOLKSWAGEN	3	6	1	1	4	11	33
LISTER	4	8	1	1	2	11	44
HONDA	2	1	1	1	2	4	8

4.4.4 Análisis de criticidad de sistemas del equipo

Una vez determinado el equipo crítico se realizó el análisis de criticidad de los sistemas que la conforman siguiendo el mismo procedimiento que se utilizó para el análisis de criticidad de equipos.

Según este análisis los sistemas más críticos son: el sistema de potencia con una ponderación de 192, sistema de rotación con una ponderación de 120 y sistema hidráulico con una ponderación de 112.

Tabla 7: Criticidad de sistemas del equipo

	Factor de Sistemas de la perforadora CT-20	Factor de recurrencia de fallas	Factor de impacto operacional	Factor de flexibilidad operacional	Factor de costos M antto Correctivo	Factor de seguridad y ambiente	conse cuencia	total
sistemas principales dela Perforadora	Sistema de potencia	4	10	4	2	6	48	192
	Sistema de rotación	4	10	2	2	8	30	120
	Sistema hidráulico	4	10	2	2	6	28	112
	Estructura	2	6	4	2	8	34	68
	Sistema de seguridad	2	10	2	1	8	29	58
	Sistema eléctrico	3	8	1	1	8	17	51
	Sistema de agua	3	10	1	1	6	17	51

4.4.5 Análisis de criticidad de componentes por sistema

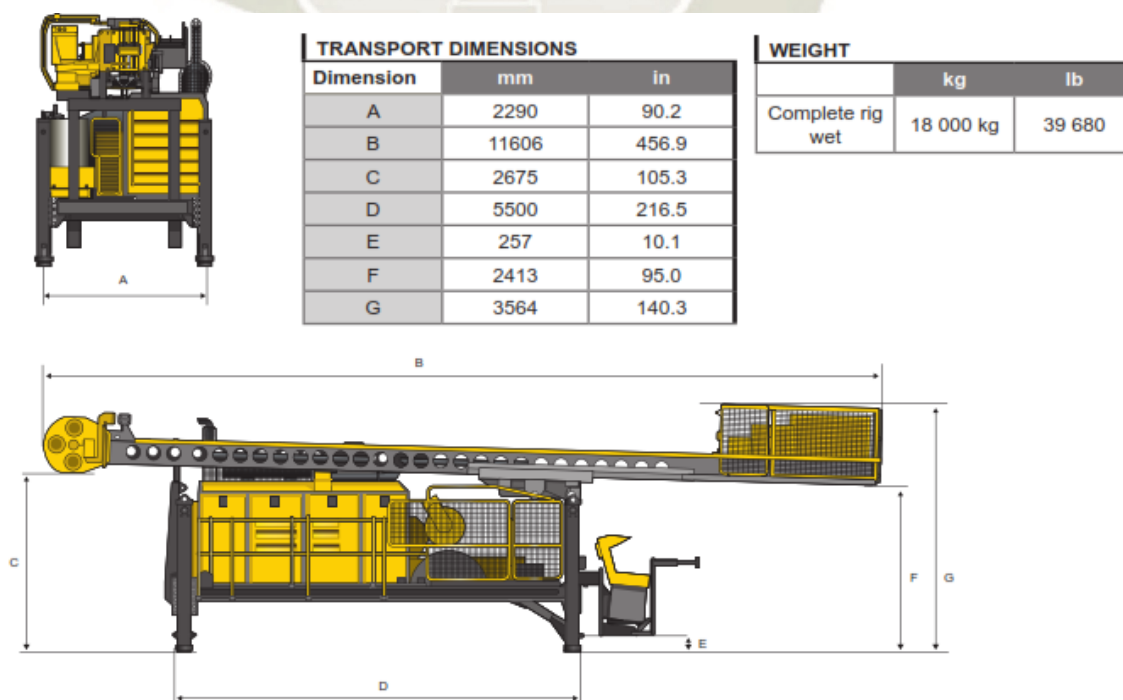
Pasamos a determinar los componentes críticos de los sistemas que la conforman siguiendo el mismo procedimiento que se utilizó para el análisis de criticidad de equipos y sistemas.

- Para el caso del sistema de potencia, el componente crítico es el motor.
- Para el caso del sistema de rotación, el componente crítico es la unidad de potencia
- Para el caso del sistema hidráulico el componente crítico es el conjunto de bombas: la bomba principal, secundaria y auxiliar.

4.5 Descripción del activo

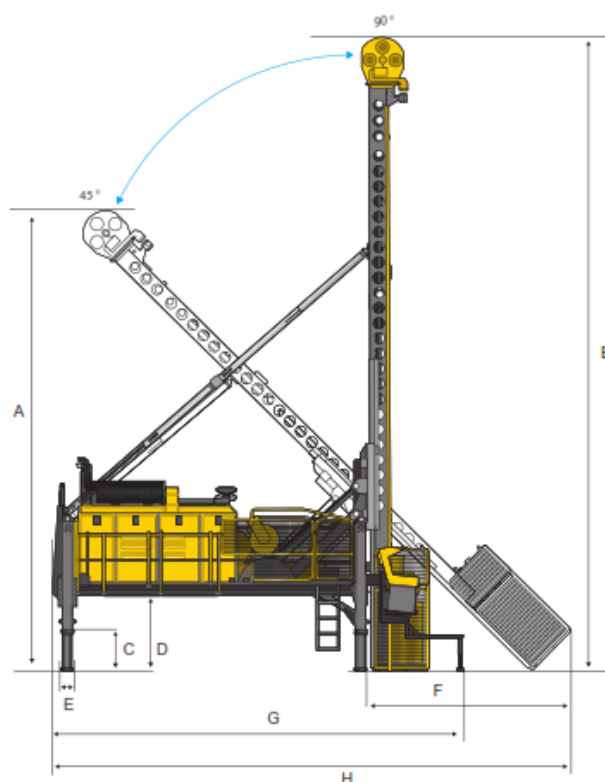
El activo es una perforadora Atlas Copco de la serie CT20 con año de fabricación 2011, tiene una capacidad de perforación de 2450 m y es usado para brindar servicios de perforación en diferentes operaciones de exploración minera.

Figura 18: dimensiones para el transporte



Fuente: Manual de partes perforadora Atlas Copco CT20

Figura 19: Dimensiones en posición de trabajo



WORKING DIMENSIONS

Dimension	mm	in
A	8435	332.1
B	11519	453.5
C	600*	23.6 *
D	1323*	52.0 *
E	210	8.3
F	3724	146.6
G	7454	293.5
H	9404	370.0

* Jack maximum stroke

CAPACITY DRILLING DEPTH *

N Wire line	2450 m	8030 ft
H Wire line	1600 m	5250 ft
P Wire line	1055 m	3440 ft

* Based on vertical water filled hole

Fuente: Manual de partes perforadora Atlas Copco CT20

4.6 Especificaciones técnicas

Tabla 8: Especificaciones técnicas

Perforadora CT20	
Capacidad de profundidad	2450 m
Series de producto	Christensen
Longitud de tiro de la barra	9 m
Par máximo	8150 Nm
Velocidad Máxima	1300 RPM
Tamaño barra de perforación	B-P
Polipasto principal	178 Kn
Diámetro del barreno	48 – 122 mm
Longitud de avance	3.5 m
Spindle diameter	124 mm
Max inner diameter of rotation unit chuck	124 mm
Power unit	
Model	Cummins QSL 9 Tier IIII
Volume	8, 8 cyl 6 cyl
Power	224 kW (305 hp)
Electrical system	24V (Alternator 24 V, 110 amp)
RPM	2100 RPM
Sistema Hidráulico	
Bomba primaria	310 bar 295 l/min (4500 psi - 77 gal/min)
Bomba secundaria	200 bar 145 l/ min (2900 psi - 38 gal/min)
Bomba auxiliar	215 bar 55 l/ min (3050 psi - 15 gal/min)
Rotation unit	
Final drive	5" chain driven in oil bath (2:1 ratio)
Spindle (inner diameter)	120.6 mm (4.75")
Max torque	6245 Nm (4606 ftlb)
Speed range	0-1300 rpm
Elevación principal	
Model	TRIDO 140H
Flow	14 l/min (37 gpm)
Pressure	70 bar (100 psi)
Flush pump	
Bomba primaria	310 bar 295 l/min (4500 psi - 77 gal/min)
Bomba secundaria	200 bar 145 l/ min (2900 psi - 38 gal/min)
Bomba auxiliar	215 bar 55 l/ min (3050 psi - 15 gal/min)
Feed system	
Bomba primaria	310 bar 295 l/min (4500 psi - 77 gal/min)
Bomba secundaria	200 bar 145 l/ min (2900 psi - 38 gal/min)
Bomba auxiliar	215 bar 55 l/ min (3050 psi - 15 gal/min)

4.7 Partes principales

Tabla 9: Lista de partes principales de la perforadora Atlas Copco CT20

Ítem	Nombre	Ítem	Nombre
A	Mástil	J	Mástil telescópico
B	Unidad de rotación	K	Polea con tensor de cuerdas
C	Rod holder	L	Gatos hidráulicos
D	Panel de control	M	Unidad de potencia
E	controles de posicionamiento	N	Bomba de agua
F	Plataforma del operador	O	Enfriador de aceite hidráulico
G	Backstay leg	P	Tanque de combustible
H	Winche principal	Q	Caja de baterías
I	Wire line	R	Centrador de tubería

Figura 20: Partes de la perforadora Atlas Copco CT20



Fuente: Manual de partes perforadora Atlas Copco CT20

4.8 Taxonomía del activo

Figura 21: Taxonomía del activo



Fuente: Gestión de mantenimiento Explo Drilling Perú

Tabla 10: Jerarquía de taxonomía

Nivel	Jerarquía de Taxonomía					
1	Minería					
2	Exploración					
3	Perforación					
4	Plataforma de perforación					
5	Muestreo					
6	Perforadora					
7	Sistema de potencia	sistema de rotación	Sistema hidráulico	Estructura	Sistema eléctrico	Sistema de agua
8	Motor	Unidad de rotación	Bombas hidráulicas	Bastidor	Sistema de arranque	Bomba de agua
9	Radiador	Carcasa	Principal	Estructura	Baterías	Bomba
	Enfriador	Mangueras	Secundaria	Guardas	Alternador	Mangueras
	Turbo	Conectores	Auxiliar	Estabilizador	Arrancador	Conectores
	Inyectores	Sensores	Mangueras	Soportes		
	Bomba de agua	Impulsor	Cilindros hidráulicos	Mástil		
	Bomba de combustible	Turbina	Conectores	Polea		
	Monoblock	Ejes	Sensores			
	Culata	Sellos	Filtros			
	Filtros de combustible	Empaques	Paquete de válvulas			
	Filtros de aire	Rodamiento	Controles			
	Aceite					
	Filtros					

4.9 Funciones en su actual contexto operacional

4.9.1 Función primaria del equipo

Tabla 11: Función y fallas primarias del equipo

Función Primaria	Falla Total	Falla Parcial
Perforar Taladros de hasta 2450 metros de profundidad, con diámetro entre 48 y 122 milímetros, a una velocidad máxima de 1300 RPM y un par máximo de 8150 Nm, en exploraciones mineras, considerando su uso en exploraciones a cielo abierto.	Incapaz de realizar taladros para exploración minera en cielo abierto	Permite perforar taladros con ineficiencia en la velocidad de rotación ineficiencia en el par y en la profundidad requerida.

4.9.2 Funciones secundarias del equipo

Tabla 12: Función y fallas secundarias del equipo

Tipo de Función	Función Secundaria	Falla Total	Falla Parcial
Medio Ambiente	•Evitar el ruido que supere los 80 dB. •Evitar todo tipo de contaminación con hidrocarburos.	•Incapaz de aislar ruido debajo de 80dB. •Incapaz de contener hidrocarburos.	•Aumento del ruido por encima de 80 dB hasta un radio de 30m. •Presenta fugas leves y humedecimiento por conductos de hidrocarburos.
Seguridad	•Proteger al personal de atrapamientos por partes en rotación. •Proteger al personal de lesiones por quemaduras por partes calientes. •Proteger al personal de caídas a distinto nivel. •Proteger al personal de resbalamientos. •Contener las placas, señaléticas y otra información relacionada a la operación y mantenimiento y seguridad para el personal y el equipo	•Incapaz de aislar las partes en movimiento. •Incapaz de aislar la energía térmica. •Incapaz de proteger caídas a desnivel. •Incapaz de proteger resbalamientos. •Incapaz de contener señaléticas de información de seguridad y operación.	•Desprendimiento parcial de guardas de protección. •Desprendimiento parcial de cubiertas y aisladores térmicos. •Desajuste o desprendimiento parcial de barandas y escaleras. •Desajuste parcial o desgaste de superficie antideslizamiento. •Desprendimiento parcial de placas de identificación, señaléticas e información sobre operación (sin llegar a caer).
Protección	•Proteger al operador conteniendo partes internas en movimiento.	•Incapaz de contener partes en movimiento.	•Etiquetas y señaléticas en mal estado borrosas o desprendidas de su lugar.
Apariencia	•Tener estructuras y señaléticas, según la NTP para entregar información y proteger de la corrosión.	•Caída de estructuras y guardas.	•Caída de pintura o rayones en partes de estructura. •Daño por corrosión de estructuras y guardas.
Eficiencia	•Realizar perforaciones de hasta 2450 metros. •Realizar perforaciones a un par máximo de 8150 Nm. •Realizar perforaciones a 1300 RMP. •Permitir la nivelación y alineamiento.	•Incapaz de hacer perforaciones. •Incapaz de ofrecer estabilidad al taladro de perforación.	•Disminución de la velocidad de rotación. •Disminución del par de perforación. •Disminución de la potencia del equipo. •Daños en la estructura y el castillo que disminuye su capacidad de asegurar el alineamiento de la perforación. •Desnivelación y desalineamiento de la estructura del castillo y bastidor.

4.9.3 Función primaria de la unidad de potencia

Tabla 13: Función y fallas primarias unidad de potencia

Función Primaria Unidad de potencia	Falla Total	Falla Parcial
Proveer potencia de 224 kW (305 hp) a 2100 RPM, con un consumo de combustible de 70 l/h, para una operación continua de 19 horas por día	Incapaz de proveer potencia.	Provee potencia por debajo de lo esperado, con alto consumo de combustible.

4.9.4 Funciones secundarias de la unidad de potencia

Tabla 14: Función y fallas secundarias unidad de potencia

Tipo de Función	Función Secundaria	Falla Total	Falla Parcial
Medio Ambiente	•Evitar todo tipo de contaminación con hidrocarburos. •Evitar contaminación del aire con emanaciones de gases de escape.	•Incapaz de contener hidrocarburos. •Incapaz de controlar emisiones de gases.	•Presenta fugas leves y humedecimiento de hidrocarburos. •Aumento de la emisión de gases de escape.
Seguridad	•Proteger al personal de atrapamientos por partes en rotación. •Proteger al personal de lesiones por quemaduras por partes calientes. •Proteger al personal de lesiones por contacto con sustancias peligrosas. •Proteger al personal de lesiones a la audición.	•Incapaz de aislar las partes en movimiento. •Incapaz de aislar la energía térmica. •Incapaz de contener los hidrocarburos. •Incapaz de aislar el ruido supera los 80dB.	•Desprendimiento parcial de guardas de protección. •Desprendimiento parcial de cubiertas y aisladores térmicos. •Fugas mínimas por depósitos o conductos de hidrocarburos. •Aumento del ruido por encima de 80 dB de forma intermitente.
Protección	•Proteger al operador ante situaciones de riesgo por falla o mala maniobra con sistema de parada de emergencia.	•Incapaz de proteger al operador con parada de emergencia	
Eficiencia	•Entregar potencia de 224 kW a 1300 RMP.	•Incapaz de hacer entregar potencia	•Disminución de la potencia.

4.9.5 Función primaria de la unidad de rotación

Tabla 15: Función y fallas primarias unidad de rotación

Función Primaria Unidad de potencia	Falla Total	Falla Parcial
Proveer un torque de 6245 Nm a 1300 rpm para una operación continua de 19 horas por día	Incapaz de proveer torque.	Provee torque por debajo de lo esperado.

4.9.6 Funciones secundarias de la unidad de rotación

Tabla 16: Función y fallas secundarias unidad de rotación

Tipo de Función	Función Secundaria	Falla Total	Falla Parcial
Medio Ambiente	•Evitar todo tipo de contaminación con hidrocarburos.	•Incapaz de contener hidrocarburos.	•Presenta fugas leves y humedecimiento de hidrocarburos.
Seguridad	•Proteger al personal de atrapamientos por partes en rotación. •Proteger al personal de lesiones por quemaduras por partes calientes. •Proteger al personal de lesiones por contacto con sustancias peligrosas.	•Incapaz de aislar las partes en movimiento. •Incapaz de aislar la energía térmica. •Incapaz de contener los hidrocarburos.	•Desprendimiento parcial de guardas de protección. •Desprendimiento parcial de cubiertas y aisladores térmicos. •Fugas mínimas por depósitos o conductos de hidrocarburos.
Protección	•Proteger al operador ante situaciones de riesgo por falla o mala maniobra con sistema de parada de emergencia.	•Incapaz de proteger al operador con parada de emergencia	
Eficiencia	•Proveer un torque de 6245 Nm a 1300 rpm	•Incapaz de hacer proveer torque.	•Disminución de la velocidad de rotación y torque.

4.9.7 Función primaria del conjunto de bombas

Tabla 17: Función y fallas primarias conjunto de bombas

Función Primaria Unidad de potencia	Falla Total	Falla Parcial
Proveer 310 bar 295 l/min en la Bomba primaria, 200 bar 145 l/min en la bomba secundaria y 215 bar 55 l/min en la bomba auxiliar para una operación continua de 19 horas por día	Incapaz de proveer presión y caudal en la bomba primaria, secundaria y auxiliar.	Provee presión y caudal en la bomba primaria, secundaria y auxiliar por debajo de lo esperado.

4.9.8 Funciones secundarias del conjunto de bombas

Tabla 18: Función y fallas secundarias conjunto de bombas

Tipo de Función	Función Secundaria	Falla Total	Falla Parcial
Medio Ambiente	•Evitar todo tipo de contaminación con hidrocarburos.	•Incapaz de contener hidrocarburos.	•Presenta fugas leves y humedecimiento de hidrocarburos.
Seguridad	•Proteger al personal de atrapamientos por partes en rotación. •Proteger al personal de lesiones por quemaduras por partes calientes. •Proteger al personal de lesiones por contacto con sustancias peligrosas. •Proteger al personal de lesiones a la audición.	•Incapaz de aislar las partes en movimiento. •Incapaz de aislar la energía térmica. •Incapaz de contener los hidrocarburos. •Incapaz de aislar el ruido supera los 80dB.	•Desprendimiento parcial de guardas de protección. •Desprendimiento parcial de cubiertas y aisladores térmicos. •Fugas mínimas por depósitos o conductos de hidrocarburos. •Aumento del ruido por encima de 80 dB de forma intermitente.
Protección	•Proteger al operador ante situaciones de riesgo por falla o mala maniobra con sistema de parada de emergencia.	•Incapaz de proteger al operador con parada de emergencia	

4.10 Modos de falla

4.10.1 Modos de falla Unidad de potencia

Tabla 19: Modos de falla de la unidad de potencia

Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4	Nivel 5	Nivel 6	Nivel 7
Falla perforadora	Falla unidad de potencia	Falla motor	No arranca	Desgaste de Baterías		
				Bornes de batería sueltos	Error de montaje	
				Bajo nivel de electrolito		
				Celdas cruzadas	Terminales mal conectados	Error de montaje
				Fusibles cortocircuitados	Mala calidad de fusibles	Suministro erróneo de fusibles
				Fusibles en falso contacto	Fusibles mal instalados	Error de montaje
				Cables cortocircuitados	Cables deteriorados	
					Cables de mala calidad	Suministro erróneo de cables
				Falso contacto de conectores	Conectores mal instalados	Error de montaje
					Mala calidad de conectores	Suministro erróneo de conectores
				Motor de arranque no gira la volante del motor	No llega energía eléctrica	
					Rodamientos amarrados	
					Piñón de arranque no sale	
					Desgaste del piñón de arranque	
					Desgaste de cremallera de la volante	
				Alternador no genera energía	Fajas sueltas	Error de montaje
					Fajas rotas	Desgaste de la faja
					Diodos cortocircuitados	Error de montaje
				Refrigerante congelado	Mala selección del refrigerante	Error en el suministro
				Bajo nivel de refrigerante	Fuga del refrigerante	
				Lubricante congelado	Mala selección del aceite	Error en el suministro
				Bajo nivel de aceite	Fuga de aceite	
				Filtros de aceite saturados	Mala calidad	Error en el suministro
				Bajo nivel de combustible	Fuga de combustible	
					Combustible contaminado	Error en el suministro

Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4	Nivel 5	Nivel 6	Nivel 7
				Filtros de combustible Saturados	Mala calidad	Error en el suministro
Falla perforadora	Falla unidad de potencia	Falla motor	Pérdida potencia	Vibración	Pernos de soporte de motor sueltos	Error de montaje
					Pernos de soporte de motor rotos	Perno defectuoso
				Filtros de aire saturados	Desgaste	
					Mala calidad	Error en el suministro
				Filtros de aire deformados	Error en el montaje	
				Turbos con desgaste	Sello con fuga de aceite	Horas de servicio
					Impulsor desgastado o roto	Horas de servicio
					Compresor desgastado o roto	Horas de servicio
					Carcasa rota o rajada	Horas de servicio
					Empaquetaduras con fuga	Horas de servicio
				Pérdida de compresión	Empaque de culata soplada	
					Culata doblada o rajada	
					Monoblock con fisura	
					Anillos desgastados o rotos	
					Cilindros desgastados	
					Asientos de válvula no sellan	
					Guías de válvula desgastadas	
					Válvulas desgastadas	
					Inyectores Saturados	Solenoide en corte
					Sobre calentamiento	fajas del ventilador sueltas
					fuga de refrigerante	
					Radiador en falla	
				Filtros de combustible saturados	Combustible de mala calidad	
					Golpeados o deformados	
					Mala calidad	Error en el suministro
				Sensor de saturación de filtro de combustible fallado	Mala calidad	Error en el suministro
					Falso contacto	Error en el montaje

4.10.2 Modos de falla unidad de rotación

Tabla 20: Modos de falla de la unidad de rotación

Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4	Nivel 5	Nivel 6	Nivel 7
Falla perforadora	Falla unidad de rotación	Falla Motor de rotación	No gira	Fusibles cortocircuitados	Mala calidad de fusibles	
					Suministro erróneo de fusibles	
				Fusibles en falso contacto	Fusibles mal instalados	Error de montaje
				Cables cortocircuitados	Cables deteriorados	
					Cables de mala calidad	Suministro erróneo de cables
				Falso contacto de conectores	Conectores mal instalados	Error de montaje
					Mala calidad de conectores	Suministro erróneo de conectores
					No llega energía eléctrica	
				Lubricante congelado	Mala selección del aceite	Error en el suministro
				Bajo nivel de aceite	Fuga de aceite	
				Filtro de aceite saturado	Desgaste	Falta de mantenimiento
					Deformado	Golpes
				Fuga hidráulica externa	Mangueras rotas	Error de montaje
					Conectores sueltos Carcasa rajada o rota	Error de montaje
						Mala calidad
					Fuga hidráulica interna	Golpes con herramientas
						Golpes con tubería
					Por componentes internos	Por desgaste
						Mala calidad
					Por sellos	Rotos por mala calidad
						Desgastados
Falla perforadora	Falla unidad de rotación	Falla motor de rotación	Pérdida de potencia	Vibración	Pernos de fijación sueltos	Error de montaje
					Pernos de fijación rotos	Perno desgastado
				Filtro de aceite saturado	Mala calidad	Error en el suministro
					Desgaste	Falta de mantenimiento

Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4	Nivel 5	Nivel 6	Nivel 7
					Deformado	Golpes
				Fuga hidráulica externa	Mangueras rotas	Suministro erróneo
						Error de montaje
					Conectores sueltos	Suministro erróneo
						Error de montaje
				Fuga hidráulica interna	Carcasa rajada o rota	Golpes
					Por componentes internos	Por desgaste
					Por sellos	Rotos
						Desgastados
				Bajo caudal de aceite	Error de calibración o montaje	
				Baja presión de aceite	Error de calibración o montaje	
				Empaquetaduras con fuga	Horas de servicio	

4.10.3 Modos de falla conjunto de bombas

Tabla 21: Modos de falla conjunto de bombas

Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4	Nivel 5	Nivel 6	Nivel 7
Falla perforadora	Falla sistema hidráulico	Fallan bombas	No giran	Fusibles cortocircuitados	Suministro erróneo de fusibles	
				Fusibles en falso contacto	Fusibles mal instalados	Error de montaje
				Cables cortocircuitados	Cables deteriorados	Suministro erróneo de cables
				Falso contacto de conectores	Conectores mal instalados	Error de montaje
				Lubricante congelado	Mala selección del aceite	Error en el suministro
				Bajo nivel de aceite	Fuga de aceite	
				Filtro de aceite saturado	Deformado	Golpes
				Fuga hidráulica externa	Mangueras rotas	Error de montaje
					Conectores sueltos	Error de montaje
					Carcasa rajada o rota	Golpes
				Fuga hidráulica interna	Por componentes internos	Por desgaste
					Por sellos	Rotos
						desgastados

Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4	Nivel 5	Nivel 6	Nivel 7
					Pernos de fijación sueltos	Error de montaje
Falla perforadora	Falla sistema hidráulico	Fallan bombas	Pérdida de potencia	Vibración	Pernos de fijación rotos	Perno desgastado
				Filtro de aceite saturado		Error de suministro
				Filtro de aceite saturado	Deformado	Golpes
				Fuga hidráulica externa	Deformado	Golpes
					Mangueras rotas	Error de montaje
					Conectores sueltos	Error de montaje
					Carcasa rajada o rota	Golpes
				Fuga hidráulica interna	Por componentes internos	Por desgaste
					Por sellos	Desgastados
				Bajo caudal de aceite	Error de calibración o montaje	
				Baja presión de aceite	Error de calibración o montaje	
Falla perforadora	Falla sistema hidráulico	Falla cilindro hidráulico	No acciona	Vibración	Pernos de fijación sueltos	Error de montaje
					Pernos de fijación rotos	Perno desgastado
					Vástago Roto	Error de montaje
					Cilindro doblado	Error de montaje
					Soportes Rotos	Error de montaje
				Fuga hidráulica externa	Mangueras rotas	Error de montaje
					Conectores sueltos	Error de montaje
					Carcasa rajada o rota	Golpes
				Fuga hidráulica interna	Por componentes internos	Por desgaste
					Por sellos	Rotos
Falla perforadora	Falla sistema hidráulico	Falla cilindro hidráulico	Acciona lentamente	Vibración	Pernos de fijación sueltos	Error de montaje
					Pernos de fijación rotos	Perno desgastado
						Error de suministro
				Fuga hidráulica externa	Mangueras rotas	Suministro erróneo
						Error de montaje
					Conectores sueltos	Error de montaje
					Carcasa rajada o rota	Golpes
				Fuga hidráulica interna	Por componentes internos	Por desgaste
					Por sellos	Rotos

4.11 Efectos de Falla

4.11.1 Efectos de falla Unidad de potencia

PROYECTO RCM :	Perforadora Atlas Copco CT20 / Explo Drilling Arequipa	Fecha: 01-01-17	Hoja N°
NOMBRE SISTEMA:	Sistema de potencia	FACILITADOR: José Nayhua	1 de 05

AMEF: ANALISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLAS							
FUNCION		FALLA FUNCIONAL		MODO DE FALLA		EFEECTO DE FALLA	TIPO
1. Proveer potencia de 224 kW (305 hp) a 2100 RPM, con un consumo de combustible de XX l/h, para una operación continua de 12 horas		A	Incapaz de proveer potencia	1	No arranca por Desgaste de Baterías	Ocasiona riesgo al personal por contacto con químicos. Se requiere 3 horas para cambio de baterías	
				2	No arranca por Bornes de batería sueltos por Error de montaje	Ocasiona riesgo al personal por contacto con energía eléctrica. Se requiere 15 minutos para ajustar bornes	
				3	No arranca por Fusibles cortocircuitados por Mala calidad de fusibles	Ocasiona riesgo al personal por contacto con energía eléctrica. Se requiere 30 minutos para detectar y cambiar fusibles	
				4	No arranca por Fusibles en falso contacto por Error de montaje	Ocasiona riesgo al personal por contacto con energía eléctrica. Se requiere 30 minutos para detectar y ajustar fusibles	
				5	No arranca por Cables cortocircuitados por Cables deteriorados	Ocasiona riesgo al personal por contacto con energía eléctrica. Se requiere 2 horas para detectar y cambiar cables	
				6	No arranca por Falso contacto de conectores por Error de montaje	Ocasiona riesgo al personal por contacto con energía eléctrica. Se requiere 30 minutos para detectar y cambiar conectores	
				7	No arranca por Motor de arranque que no gira la volante del motor por Rodamientos amarrados	Ocasiona riesgo al personal por golpes. Se requiere 3 horas para cambio de motor de arranque	
				8	No arranca por Motor de arranque que no gira la volante del motor por Piñón de arranque no engrana a la volante	Ocasiona riesgo al personal por golpes. Se requiere 3 horas para cambio de motor de arranque	
				9	No arranca por Desgaste de cremallera de la volante	Ocasiona riesgo al personal por lesiones. Se requiere 78 horas para cambio de cremallera de volante de motor	

PROYECTO RCM :	Perforadora Atlas Copco CT20 / Explo Drilling Arequipa	Fecha: 01-01-17	Hoja N°
NOMBRE SISTEMA:	Sistema de potencia	FACILITADOR:	José Nayhua
			2 de 05

AMEF: ANALISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLAS						
FUNCION	FALLA FUNCIONAL		MODO DE FALLA		EFEECTO DE FALLA	TIPO
1. Proveer potencia de 224 kW (305 hp) a 2100 RPM, con un consumo de combustible de XX l/h, para una operación	A	Incapaz de proveer potencia	10	No arranca por Alternador que no genera energía por Fajas sueltas por Error de montaje	Ocasiona riesgo al personal por contacto con energía eléctrica. Se requieren 30 minutos para cambio de fusibles	
			11	No arranca por Fajas de ventilador rotas por Desgaste de la faja	Ocasiona riesgo al personal por golpes. Se requieren 2 horas para cambio de fajas	
			12	No arranca por Refrigerante congelado por Mala selección del refrigerante por Error en el suministro	Ocasiona riesgo al personal por contacto con químicos, al equipo por rajadura del monoblock y culata por incremento de volumen del refrigerante, contaminación de suelos. Se requieren 4 horas para cambio del refrigerante	
			13	No arranca por Bajo nivel de refrigerante por Fuga del refrigerante	Ocasiona riesgo al personal por contacto con químicos, al equipo por recalentamiento de motor, contaminación de suelos. Se requieren 6 horas para corregir fuga y rellenar refrigerante	
			14	No arranca por Lubricante congelado por Mala selección del aceite por Error en el suministro	Ocasiona riesgo al personal por contacto con químicos, al equipo por rajadura del monoblock y culata por incremento de volumen del aceite, contaminación de suelos. Se requieren 6 horas para cambio de aceite	
			15	No arranca por Bajo nivel de aceite por Fuga de aceite por	Ocasiona riesgo al personal por contacto con químicos, al equipo por recalentamiento de motor, contaminación de suelos. Se requieren 4 horas para corregir fuga y rellenar aceite	
			16	No arranca por Filtros de aceite saturados por Mala calidad por Error en el suministro	Ocasiona riesgo al personal por contacto con químicos, al equipo por recalentamiento de motor, contaminación de suelos. Se requieren 2 horas para cambio de filtros	
			17	No arranca por Bajo nivel de combustible por Fuga de combustible por	Ocasiona riesgo al personal por contacto con químicos, al equipo por daños a la unidad de rotación, contaminación de suelos. Se requieren 4 horas para corregir fuga y rellenar combustible	
			18	No arranca por Filtros de combustible Saturados por Combustible contaminado por Error en el	Ocasiona riesgo al personal por contacto con químicos, al equipo por daño a inyectores, filtros y	

PROYECTO RCM :	Perforadora Atlas Copco CT20 / Explo Drilling Arequipa	Fecha: 01-01-17	Hoja N°
NOMBRE SISTEMA:	Sistema de potencia	FACILITADOR:	José Nayhua
			3 de 05

AMEF: ANALISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLAS						
FUNCION	FALLA FUNCIONAL		MODO DE FALLA		EFECTO DE FALLA	TIPO
1. Proveer potencia de 224 kW (305 hp) a 2100 RPM, con un consumo de combustible de XX l/h, para una operación continua de 12 horas	B	Provee baja potencia	1	Perdida potencia por Vibración por Pernos de soporte de motor sueltos por Error de montaje	Ocasiona riesgo al equipo por rotura de soportes o pernos de montaje. Se requieren 30 minutos para ajustar pernos del soporte	
			2	Perdida potencia por Pernos de soporte de motor rotos por Perno defectuoso	Ocasiona riesgo al equipo por rotura de soportes y caída del motor. Se requieren 4 horas para cambio de pernos del soporte	
			3	Perdida potencia por Filtros de aire saturados por Desgaste	Ocasiona riesgo al equipo por contaminación de aceite y desgaste acelerado del motor. Se requieren 1 hora para cambio de filtros	
			4	Perdida potencia por Filtros de aire deformados por Error en el montaje	Ocasiona riesgo al equipo por contaminación de aceite y desgaste acelerado del motor. Se requieren 1 hora para corregir montaje de filtros	
			5	Perdida potencia por Turbos con desgaste por Sello con fuga de aceite	Ocasiona riesgo al equipo por baja alimentación de aire a la cámara de combustión, contaminación de suelo por fuga de aceite. Se requieren 4 horas para cambio de turbo	
			6	Perdida potencia por Impulsor desgastado o roto	Ocasiona riesgo al equipo por baja alimentación de aire a la cámara de combustión, daño del motor por ingreso de partículas metálicas y contaminación de suelo. Se requieren 9 horas para cambio de turbo limpieza de cámaras de combustión	
			7	Perdida potencia por Compresor desgastado o roto por Horas de servicio	Ocasiona riesgo al equipo por baja alimentación de aire a la cámara de combustión, daño del motor por ingreso de partículas metálicas y contaminación de suelo. Se requieren 9 horas para cambio de turbo limpieza de cámaras de combustión	
			8	Perdida potencia por Carcasa de turbo rota o rajada por Horas de servicio	Ocasiona riesgo al equipo por ingreso de partículas metálicas al motor y contaminación de suelo. Se requieren 9 horas para cambio de turbo y limpieza de cámaras de combustión	
			9	Perdida potencia por Perdida de compresión por Empaque de culata soplado	Ocasiona riesgo al equipo por contaminación de aceite y desgaste acelerado del motor. Se requiere 24 horas para cambio de empaque	

PROYECTO RCM :	Perforadora Atlas Copco CT20 / Explo Drilling Arequipa	Fecha: 01-01-17	Hoja N°
NOMBRE SISTEMA:	Sistema de potencia	FACILITADOR:	José Nayhua
			4 de 05

AMEF: ANALISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLAS					
FUNCION	FALLA FUNCIONAL		MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA	TIPO
1. Proveer potencia de 224 kW (305 hp) a 2100 RPM, con un consumo de combustible de XX l/h, para una operación continua de 12 horas	B	Provee baja potencia	10 Perdida potencia por Culata doblada o rajada	Ocasiona riesgo al equipo por contaminación de aceite y desgaste acelerado del motor. Se requiere 72 horas para cambio de culata	
			11 Perdida potencia por Monoblock con fisura	Ocasiona riesgo al equipo por contaminación de aceite y desgaste acelerado del motor. Se requiere 96 horas para cambio de monoblock	
			12 Perdida potencia por Anillos desgastados o rotos	Ocasiona riesgo al equipo por contaminación de aceite, desgaste acelerado del motor y contaminación del ambiente por gases de escape. Se requiere 96 horas para cambio de monoblock, anillos o cilindros	
			13 Perdida potencia por Cilindros desgastados	Ocasiona riesgo al equipo por contaminación de aceite, desgaste acelerado del motor y contaminación del ambiente por gases de escape. Se requiere 96 horas para cambio de monoblock o cilindros	
			14 Perdida potencia por Asientos de válvula no sellan por	Ocasiona riesgo al equipo por desgaste acelerado del motor y contaminación del ambiente por gases de escape. Se requiere 48 horas para reparación de culata	
			15 Perdida potencia por Guías de válvula desgastadas por	Ocasiona riesgo al equipo por desgaste acelerado del motor y contaminación del ambiente por gases de escape. Se requiere 48 horas para reparación de culata	
			16 Perdida potencia por Válvulas desgastadas por	Ocasiona riesgo al equipo por desgaste acelerado del motor y contaminación del ambiente por gases de escape. Se requiere 48 horas para reparación de culata	
			17 Perdida potencia por Inyectores Saturados por Solenoide en corte	Ocasiona riesgo al equipo por desgaste acelerado del motor. Se requiere 3 horas para cambio de Solenoide	
			18 Perdida potencia por Sobre calentamiento por fajas del ventilador sueltas por	Ocasiona riesgo al equipo por desgaste acelerado del motor. Se requiere 2 horas para Ajustar fajas sueltas	

PROYECTO RCM :	Perforadora Atlas Copco CT20 / Explo Drilling Arequipa	Fecha: 01-01-17	Hoja N°
NOMBRE SISTEMA:	Sistema de potencia	FACILITADOR:	José Nayhua
			5 de 05

AMEF: ANALISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLAS					
FUNCION	FALLA FUNCIONAL		MODO DE FALLA		EFFECTO DE FALLA
1. Proveer potencia de 224 kW (305 hp) a 2100 RPM, con un consumo de combustible de XX l/h, para una operación continua de 12 horas	B	Provee baja potencia	19	Perdida potencia por fuga de refrigerante	Ocasiona riesgo al equipo por fundición del motor al medio ambiente por contaminación de suelo Se requiere 6 horas para corregir fugas y rellenar refrigerante
			20	Perdida potencia por Radiador en falla	Ocasiona riesgo al equipo por fundición del motor al medio ambiente por contaminación de suelo. Se requiere 8 horas para reparar radiador y rellenar refrigerante
			21	Perdida potencia por Filtros de combustible saturados por Combustible de mala calidad	Ocasiona riesgo al equipo por desgaste acelerado de inyectores y motor. Se requiere 2 horas para cambio de filtros
			22	Perdida potencia por filtros Golpeados o deformados	Ocasiona riesgo al equipo por desgaste acelerado de inyectores y motor. Se requiere 2 horas para cambio de filtros
			23	Perdida potencia por Mala calidad de filtros por Error en el suministro	Ocasiona riesgo al equipo por desgaste acelerado de inyectores y motor. Se requiere 2 horas para cambio de filtros
			24	Perdida potencia por Sensor de saturación de filtro de combustible fallado por Mala calidad por Error en el suministro	Ocasiona riesgo a la producción por mala información. Se requiere 2 horas para cambio de sensor de saturación
			25	Perdida potencia por Falso contacto de conectores del sensor de saturación por error en el montaje	Ocasiona riesgo a la producción por mala información. Se requiere 2 horas para cambio corregir el falso contacto

4.11.2 Efectos de falla Unidad de rotación

PROYECTO RCM :	Perforadora Atlas Copco CT20 / Explo Drilling Arequipa	Fecha: 01-01-17	Hoja N°
NOMBRE SISTEMA:	Unidad de rotación	FACILITADOR: José Nayhua	1 de 05

AMEF: ANALISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLAS						
FUNCION	FALLA FUNCIONAL		MODO DE FALLA		EFEECTO DE FALLA	TIPO
Proveer un torque de 6245 Nm a 1300 rpm para una operación continua de 19 horas por día	A	Incapaz de proveer torque.	1	No gira por Fusibles cortocircuitados por Mala calidad de fusibles	Ocasiona riesgo a la producción. Se requiere 2 horas para cambio de fusibles	
			2	No gira por Suministro erróneo de fusibles	Ocasiona riesgo a la producción. Se requiere 2 horas para cambio de fusibles	
			3	No gira por Fusibles en falso contacto por Fusibles mal instalados por Error de montaje	Ocasiona riesgo al personal por contacto con energía eléctrica. Se requieren 30 minutos para detectar y ajustar fusibles	
			4	No gira por Cables cortocircuitados por Cables deteriorados	Ocasiona riesgo al personal por contacto con energía eléctrica. Se requieren 2 horas para detectar y cambiar cables	
			5	No gira por Cables de mala calidad por Suministro erróneo de cables	Ocasiona riesgo al personal por contacto con energía eléctrica. Se requieren 2 horas para detectar y cambiar cables	
			6	No gira por Falso contacto de conectores por Conectores mal instalados por Error de montaje	Ocasiona riesgo al personal por contacto con energía eléctrica. Se requieren 30 minutos para detectar y cambiar conectores	
			7	No gira por por Mala calidad de conectores por Suministro erróneo de conectores	Ocasiona riesgo al personal por contacto con energía eléctrica. Se requieren 30 minutos para detectar y cambiar conectores	
			8	No gira por No llega energía eléctrica	Ocasiona riesgo al personal por contacto con energía eléctrica. Se requieren 30 minutos para detectar y cambiar conectores	
			9	No gira por Lubricante congelado por Mala selección del aceite por Error en el suministro	Ocasiona riesgo al personal por contacto con químicos, al equipo por rajadura de carcasa por incremento de volumen del aceite, contaminación de suelos. Se requieren 3 horas para cambio de aceite	

PROYECTO RCM :	Perforadora Atlas Copco CT20 / Explo Drilling Arequipa	Fecha: 01-01-17	Hoja N°
NOMBRE SISTEMA:	Unidad de rotación	FACILITADOR:	José Nayhua
			2 de 05

AMEF: ANALISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLAS					
FUNCION	FALLA FUNCIONAL		MODO DE FALLA	EFEECTO DE FALLA	TIPO
Proveer un torque de 6245 Nm a 1300 rpm para una operación continua de 19 horas por día	A	Incapaz de proveer torque.	10 No gira por Bajo nivel de aceite por Fuga de aceite	Ocasiona riesgo al personal por contacto con químicos, al ambiente por contaminación de suelos. Se requieren 6 horas para corregir fuga y rellenar aceite	
			11 No gira por Filtro de aceite saturado por Mala calidad por Error en el suministro	Ocasiona riesgo al personal por contacto con químicos, al equipo por desgaste acelerado, al ambiente por contaminación de suelos. Se requieren 2 horas para cambio de filtros	
			12 No gira por filtro de aceite deformado por Golpes	Ocasiona riesgo al personal por contacto con químicos, al equipo por desgaste acelerado, al ambiente por contaminación de suelos. Se requieren 2 horas para cambio de filtros	
			13 No gira por Fuga hidráulica externa por Mangueras rotas por Suministro erróneo	Ocasiona riesgo al personal por contacto con químicos, al componente por cavitación, contaminación de suelos. Se requieren 4 horas para corregir fuga y rellenar aceite	
			14 No gira por Fuga hidráulica externa por Conectores sueltos por error de montaje	Ocasiona riesgo al personal por contacto con químicos, al componente por cavitación, contaminación de suelos. Se requieren 4 horas para corregir fuga y rellenar aceite	
			15 No gira por Carcasa rajada o rota por Mala calidad	Ocasiona riesgo al personal por contacto con químicos, contaminación de suelos. Se requieren 36 horas para cambio de unidad de rotación	
			16 No gira por Carcasa rajada por Golpes con herramientas, tuberías, etc)	Ocasiona riesgo al personal por contacto con químicos, contaminación de suelos. Se requieren 36 horas para cambio de unidad de rotación	
			17 No gira por Fuga hidráulica interna por componentes internos por desgaste	Ocasiona riesgo al componente Se requieren 36 horas para cambio de unidad de rotación	
			18 No gira por Fuga hidráulica interna por Por componentes internos por mala calidad	Ocasiona riesgo al componente Se requieren 36 horas para cambio de unidad de rotación	
			19 No gira por Fuga hidráulica interna por sellos Rotos por mala calidad	Ocasiona riesgo al componente Se requieren 36 horas para cambio de unidad de rotación	

PROYECTO RCM :	Perforadora Atlas Copco CT20 / Explo Drilling Arequipa	Fecha: 01-01-17	Hoja N°
NOMBRE SISTEMA:	Unidad de rotación	FACILITADOR:	José Nayhua
			3 de 05

AMEF: ANALISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLAS						
FUNCION	FALLA FUNCIONAL		MODO DE FALLA		EFEECTO DE FALLA	TIPO
Proveer un torque de 6245 Nm a 1300 rpm para una operación continua de 19 horas por día	A	Incapaz de proveer torque.	20	No gira por Vibración por Pernos de fijación sueltos por Error de montaje	Ocasiona riesgo al equipo por rotura de soportes o pernos de montaje. Se requieren 30 minutos para ajustar pernos del soporte	
			21	No gira por vibración por Pernos de fijación rotos por Perno desgastado	Ocasiona riesgo al equipo por rotura de soportes y caída de la unidad de rotación. Se requieren 2 horas para cambio de pernos del soporte	
			22	No gira por vibración por Pernos de fijación rotos por error de suministro	Ocasiona riesgo al equipo por rotura de soportes y caída de la unidad de rotación. Se requieren 2 horas para cambio de pernos del soporte	
	B	Provee torque por debajo de lo esperado.	23	Perdida de potencia por Filtro de aceite saturado por Mala calidad por Error en el suministro	Ocasiona riesgo al equipo por contaminación de aceite y desgaste acelerado del componente. Se requieren 2 hora para cambio de filtros	
			24	Perdida de potencia por Filtro de aceite saturado por Desgaste por Falta de mantenimiento	Ocasiona riesgo al equipo por contaminación de aceite y desgaste acelerado del componente. Se requieren 2 hora para cambio de filtros	
			25	Perdida de potencia por Filtro de aceite saturado por Deformado por Golpes	Ocasiona riesgo al equipo por contaminación de aceite y desgaste acelerado del componente. Se requieren 2 hora para cambio de filtros	
			26	Perdida de potencia por Fuga hidráulica externa por Mangueras rotas por Suministro erróneo	Ocasiona riesgo al personal por contacto con químicos, contaminación de suelos. Se requieren 4 horas corregir fuga y rellenar aceite	
			27	Perdida de potencia por Fuga hidráulica externa por conectores sueltos por Error de montaje	Ocasiona riesgo al personal por contacto con químicos, contaminación de suelos. Se requieren 4 horas corregir fuga y rellenar aceite	
			28	Perdida de potencia por Fuga hidráulica externa por Conectores sueltos por Suministro erróneo	Ocasiona riesgo al personal por contacto con químicos, contaminación de suelos. Se requieren 4 horas corregir fuga y rellenar aceite	
			29	Perdida de potencia por Fuga hidráulica externa por Carcasa rajada por Mala calidad	Ocasiona riesgo al acomponente Se requieren 36 horas para cambio de unidad de rotación	
			30	Perdida de potencia por Fuga hidráulica externa por Carcasa rajada o rota por Golpes	Ocasiona riesgo al acomponente Se requieren 36 horas para cambio de unidad de rotación	
			31	Perdida de potencia por Vibración por Pernos de fijación sueltos por Error de montaje	Ocasiona riesgo al equipo por rotura de soportes o pernos de montaje. Se requieren 30 minutos para ajustar pernos del soporte	

PROYECTO RCM :	Perforadora Atlas Copco CT20 / Explo Drilling Arequipa	Fecha: 01-01-17	Hoja N°
NOMBRE SISTEMA:	Unidad de rotación	FACILITADOR:	José Nayhua
			4 de 05

AMEF: ANALISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLAS					
FUNCION	FALLA FUNCIONAL		MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA	TIPO
Proveer un torque de 6245 Nm a 1300 rpm para una operación continua de 19 horas por día	B	Provee torque por debajo de lo esperado.	32	Perdida de potencia por Fuga hidráulica interna por componentes internos por Por desgaste	Ocasiona riesgo al personal por contacto con químicos, a la producción, al ambiente por contaminación de suelos. Ocasiona riesgo al a componente Se requiere 36 horas para cambio de componente
			33	Perdida de potencia por Fuga hidráulica interna por Por componentes internos por Mala calidad	Ocasiona riesgo al personal por contacto con químicos, a la producción, al ambiente por contaminación de suelos. Ocasiona riesgo al a componente Se requiere 36 horas para cambio de componente
			34	Perdida de potencia por Fuga hidráulica interna por Por sellos por Rotos por mala calidad	Ocasiona riesgo al personal por contacto con químicos, a la producción, al ambiente por contaminación de suelos. Ocasiona riesgo al a componente Se requiere 36 horas para cambio de bomba
			35	Perdida de potencia por Fuga hidráulica interna por sellos por Desgastados	Ocasiona riesgo al personal por contacto con químicos, al ambiente por contaminación de suelos. Ocasiona riesgo al a componente Se requiere 36 horas para cambio de componente
			36	Perdida de potencia por Bajo caudal de aceite por Error de calibración o montaje por	Ocasiona riesgo al equipo y a la producción. Se requiere 3 horas para corregir caudal
			37	Perdida de potencia por Baja presión de aceite por Error de calibración o montaje por	Ocasiona riesgo al equipo y a la producción. Se requiere 3 horas para corregir presión
			38	Perdida de potencia por Empaquetaduras con fuga por Horas de servicio por	Ocasiona riesgo al personal por contacto con químicos, al ambiente por contaminación de suelos. Ocasiona riesgo al a componente Se requiere 36 horas para cambio del componente

4.11.3 Efectos de falla conjunto de bombas hidráulicas

PROYECTO RCM :	Perforadora Atlas Copco CT20 / Explo Drilling Arequipa	Fecha: 01-01-17	Hoja N°
NOMBRE SISTEMA:	Sistema hidráulico	FACILITADOR: José Nayhua	1 de 05

AMEF: ANALISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLAS							
FUNCION		FALLA FUNCIONAL		MODO DE FALLA		EFEECTO DE FALLA	TIPO
Proveer 310 bar 295 l/min en la Bomba primaria, 200 bar 145 l/min en la bomba secundaria y 215 bar 55 l/min en la bomba auxiliar para una operación continua de 19 horas por día	A	Incapaz de proveer presión y caudal en la bomba primaria, secundaria y auxiliar.	1	No giran por Fusibles cortocircuitados por Suministro erróneo	Ocasiona riesgo a la producción. Se requiere 2 horas para cambio de fusibles		
			2	No giran por Fusibles en falso contacto por Fusibles mal instalados por Error de montaje	Ocasiona riesgo a la producción. Se requiere 2 horas para cambio de fusibles		
			3	No giran por Cables cortocircuitados por Cables deteriorados por Suministro erróneo	Ocasiona riesgo al personal por contacto con energía eléctrica. Se requieres 2 horas para detectar y cambiar cables		
			4	No giran por Falso contacto de conectores por Conectores mal instalados por Error de montaje	Ocasiona riesgo al personal por contacto con energía eléctrica. Se requieres 30 minutos para detectar y cambiar conectores		
			5	No giran por Lubricante congelado por Mala selección del aceite por Error en el suministro	Ocasiona riesgo al personal por contacto con químicos, al equipo por rajadura de carcasa por incremento de volumen del aceite, contaminación de suelos. Se requieres 4 horas para cambio de aceite		
			6	No giran por Bajo nivel de aceite por falta de inspección.	Ocasiona riesgo al personal por contacto con químicos, al ambiente por contaminación de suelos. Se requieres 2 horas para rellenar aceite		
			7	No giran por Filtro de aceite saturado por Deformado por Golpes	Ocasiona riesgo al personal por contacto con químicos, al equipo por desgaste acelerado, al ambiente por contaminación de suelos. Se requieres 2 horas para cambio de filtros		
			8	No giran por Fuga hidráulica externa por Mangueras rotas por Error de montaje	Ocasiona riesgo al personal por contacto con químicos, al componente por cavitación, contaminación de suelos. Se requieres 4 horas para corregir fuga y rellenar aceite		
			9	No giran por por Conectores sueltos por Error de montaje	Ocasiona riesgo al personal por contacto con químicos, al componente por cavitación, contaminación de suelos. Se requieres 4 horas para corregir fuga y rellenar aceite		

PROYECTO RCM :	Perforadora Atlas Copco CT20 / Explo Drilling Arequipa	Fecha: 01-01-17	Hoja N°
NOMBRE SISTEMA:	Sistema hidráulico	FACILITADOR:	José Nayhua
			2 de 05

AMEF: ANALISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLAS					
FUNCION	FALLA FUNCIONAL		MODO DE FALLA	EFFECTO DE FALLA	TIPO
Proveer 310 bar 295 l/min en la Bomba primaria, 200 bar 145 l/min en la bomba secundaria y 215 bar 55 l/min en la bomba auxiliar para una operación continua de 19 horas por día	A	Incapaz de proveer presión y caudal en la bomba primaria, secundaria y auxiliar.	10	No giran por Carcasa de bomba rajada o rota por Golpes	Ocasiona riesgo al personal por contacto con químicos, al ambiente por contaminación de suelos. Ocasiona riesgo al a componente Se requiere 36 horas para cambio de bomba
			11	No giran por Carcasa de bomba rajada o rota por error en suministro	Ocasiona riesgo al personal por contacto con químicos, al ambiente por contaminación de suelos. Ocasiona riesgo al a componente Se requiere 36 horas para cambio de bomba
			12	No giran por Fuga hidráulica interna por componentes internos por desgaste	Ocasiona riesgo al personal por contacto con químicos, al ambiente por contaminación de suelos. Ocasiona riesgo al a componente Se requiere 36 horas para cambio de bomba
			13	No giran por Fuga hidráulica interna por sellos Rotos desgastados	Ocasiona riesgo al personal por contacto con químicos, al ambiente por contaminación de suelos. Ocasiona riesgo al a componente Se requiere 36 horas para cambio de bomba
			14	No giran por Fuga hidráulica interna por sellos desgastados	Ocasiona riesgo al personal por contacto con químicos, al ambiente por contaminación de suelos. Ocasiona riesgo al a componente Se requiere 36 horas para cambio de bomba
			15	No giran por Fuga hidráulica interna por error en el montaje	Ocasiona riesgo al personal por contacto con químicos, al ambiente por contaminación de suelos. Ocasiona riesgo al a componente Se requiere 36 horas para cambio de bomba
			16	No giran por Filtro de aceite saturado por falta de mantenimiento	Ocasiona riesgo al personal por contacto con químicos, al equipo por desgaste acelerado, al ambiente por contaminación de suelos. Se requiere 2 horas para cambio de filtros
			17	Por Filtro de aceite saturado por error de montaje	Ocasiona riesgo al personal por contacto con químicos, al equipo por desgaste acelerado, al ambiente por contaminación de suelos. Se requiere 2 horas para cambio de filtros
			18	No giran por Pernos de fijación sueltos por Error de montaje	Ocasiona riesgo al personal y al componente Se requiere 3 horas para ajustar pernos
			19	No giran por Pernos de fijación rotos por Error en suministro	Ocasiona riesgo al personal y al componente Se requiere 5 horas para cambiar pernos

PROYECTO RCM :	Perforadora Atlas Copco CT20 / Explo Drilling Arequipa	Fecha: 01-01-17	Hoja N°
NOMBRE SISTEMA:	Unidad de rotación	FACILITADOR:	José Nayhua
			3 de 05

AMEF: ANALISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLAS					
FUNCION	FALLA FUNCIONAL		MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA	TIPO
Proveer un torque de 6245 Nm a 1300 rpm para una operación continua de 19 horas por día	B	Provee presión y caudal en la bomba primaria, secundaria y auxiliar por debajo de lo esperado.	20	Perdida de potencia por Vibración por Pernos de fijación sueltos	Ocasiona riesgo al equipo por rotura de soportes o pernos de montaje. Se requieren 30 minutos para ajustar pernos del soporte
			21	Perdida de potencia por Filtro de aceite saturado por Error de suministro	Ocasiona riesgo al equipo por contaminación de aceite y desgaste acelerado del componente. Se requieren 2 hora para cambio de filtros
			22	Perdida de potencia por Filtro de aceite saturado por Deformado por Golpes	Ocasiona riesgo al equipo por contaminación de aceite y desgaste acelerado del componente. Se requieren 2 hora para cambio de filtros
			23	Perdida de potencia por Fuga hidráulica externa por Mangueras rotas	Ocasiona riesgo al personal por contacto con químicos, contaminación de suelos. Se requieren 4 horas corregir fuga y rellenar aceite
			24	Perdida de potencia por Fuga hidráulica externa por Conectores sueltos por Error de montaje	Ocasiona riesgo al personal por contacto con químicos, contaminación de suelos. Se requieren 4 horas corregir fuga y rellenar aceite
			25	Perdida de potencia por Fuga hidráulica externa por Carcasa rajada o rota por Golpes	Ocasiona riesgo al personal por contacto con químicos, contaminación de suelos. Se requieren 36 horas para cambiar bomba
			26	Perdida de potencia por Fuga hidráulica interna por Por componentes internos por Por desgaste	Ocasiona riesgo al personal por contacto con químicos, contaminación de suelos. Se requieren 36 horas para cambiar bomba
			27	Perdida de potencia por Fuga hidráulica interna por sellos por Desgastados	Ocasiona riesgo al personal por contacto con químicos, contaminación de suelos. Se requieren 36 horas para cambiar bomba
			28	Perdida de potencia por Bajo caudal de aceite por Error de calibración o montaje por	Ocasiona riesgo al equipo y a la producción. Se requieren 3 horas para corregir caudal
			29	Perdida de potencia por Baja presión de aceite por Error de calibración o montaje por	Ocasiona riesgo al equipo y a la producción. Se requieren 3 horas para corregir presión

4.12 Evaluación de las consecuencias de falla

Según John Moubray, “Una vez establecidos los Modos de Falla y los Efectos, se procede a averiguar las consecuencias de las fallas de tal forma que logre establecer una clasificación adecuada, ello en base a las consecuencias de las fallas.

La metodología consiste en realizar la separación y clasificación de las fallas que serán evidentes y las que son ocultas, luego se ordenan las consecuencias de las fallas evidentes en un orden de importancia creciente. Para desarrollar este procedimiento se ha utilizado una hoja RCM la cual está dividida por columnas y rubros que permiten el análisis RCM como es el caso de los sistemas, componentes, partes, modos de falla, efectos y tareas, las siglas H, S, E, O y N son utilizadas para registrar las respuestas a las preguntas concernientes a las consecuencias de cada modo de falla.

Las nominaciones H1/S1/O1/N1 son utilizadas para registrar si se pudo encontrar una tarea a condición apropiada para anticipar el modo de falla a tiempo como para evitar las consecuencias.

Las nominaciones H2/S2/O2/N2 son utilizadas para registrar si se pudo encontrar una tarea de reacondicionamiento cíclico apropiada para prevenir las fallas.

Las nominaciones H3/S3/O3/N3 son utilizadas para registrar si se pudo encontrar una tarea de sustitución cíclica para prevenir las fallas.

Para que una tarea sea técnicamente factible y merezca la pena realizarla, debe ser posible dar una respuesta positiva a todas las preguntas, que se aplican a esta categoría de tareas, y la tarea debe responder al criterio de “merece la pena ser realizada” Si la respuesta a cualquiera de estas preguntas es negativa o se desconoce, entonces se rechaza la tarea totalmente.

La selecciona una tarea, se registra su descripción con el suficiente detalle y precisión para que quede claro la ejecución y la frecuencia con la que debe ser realizada (Ver Anexo 6)

4.13 Implementación de las tareas de mantenimiento

4.13.1 Implementación de las tareas de mantenimiento unidad de potencia

PROYECTO RCM:		Perforadora Atlas Copco CT20 / Expro Drilling Arequipa		Fecha: 01-01-17		Hoja N°							
NOMBRE SISTEMA:		Sistema de potencia		FACILITADOR: José Nayhua		1 de 05							
AMEF: ANALISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLAS					SELECCIÓN DE LAS TAREAS DE MANTENIMIENTO								
FUNCION	FALLA FUNCIONAL		MODO DE FALLA	EFFECTO DE FALLA	TIPO	Tipo de mannto	Disciplina	Descripción del mannto	Ejecutante	Frecuencia (h)	HH	Repuestos	
1. Proveer potencia de 224 kW (305 hp) a 2100 RPM, con un consumo de combustible de XX l/h, para una operación continua de 12 horas	A	Incapaz de proveer potencia	1	No arranca por Desgaste de Baterías	Ocasiona riesgo al personal por contacto con químicos. Se requiere 3 horas para cambio de baterías	O3	Sustitución cíclica	Electricidad	Cambiar baterías	Mantenimiento eléctrico	10 000	6	02 Baterías de 24 V
			2	No arranca por Bomes de batería sueltos por Error de montaje	Ocasiona riesgo al personal por contacto con energía eléctrica. Se requiere 15 minutos para ajustar bomes	O2	Reacondicionamiento cíclico	Electricidad	Ajustar Bomes de batería	Mantenimiento eléctrico	250	0.5	
			3	No arranca por Fusibles cortocircuitados por Mala calidad de fusibles	Ocasiona riesgo al personal por contacto con energía eléctrica. Se requiere 30 minutos para detectar y cambiar fusibles	O	Ningún mantenimiento preventivo	Electricidad	Cambiar fusibles	Mantenimiento eléctrico		1	
			4	No arranca por Fusibles en falso contacto por Error de montaje	Ocasiona riesgo al personal por contacto con energía eléctrica. Se requiere 30 minutos para detectar y ajustar fusibles	O	Ningún mantenimiento preventivo	Electricidad	Ajustar fusibles	Mantenimiento eléctrico			
			5	No arranca por Cables cortocircuitados por Cables deteriorados	Ocasiona riesgo al personal por contacto con energía eléctrica. Se requiere 2 horas para detectar y cambiar cables	O2	Reacondicionamiento cíclico	Electricidad	Inspeccionar cables eléctricos	Mantenimiento eléctrico	500	1	
			6	No arranca por Falso contacto de conectores por Error de montaje	Ocasiona riesgo al personal por contacto con energía eléctrica. Se requiere 30 minutos para detectar y cambiar conectores	O2	Reacondicionamiento cíclico	Electricidad	Inspeccionar conectores eléctricos	Mantenimiento eléctrico	500	1	
			7	No arranca por Motor de arranque que no gira la volante del motor por Rodamientos amarrados	Ocasiona riesgo al personal por golpes. Se requiere 24 horas para cambio de motor de arranque	O3	Sustitución cíclica	Electricidad	Cambiar motor de arranque	Mantenimiento eléctrico	5 000	2	Motor de arranque
			8	No arranca por Motor de arranque que no gira la volante del motor por Piñón de arranque no engrana a la volante	Ocasiona riesgo al personal por golpes. Se requiere 3 horas para cambio de motor de arranque	O3	Sustitución cíclica	Electricidad	Cambiar motor de arranque	Mantenimiento eléctrico	5 000	2	Motor de arranque
			9	No arranca por Desgaste de cremallera de la volante	Ocasiona riesgo al personal por lesiones. Se requiere 78 horas para cambio de cremallera de volante de motor	O3	Sustitución cíclica	Mecánica	Cambiar cremallera de volante de motor	Mantenimiento mecánico	20 000	24	cremallera de volante de motor
			10	No arranca por Alternador que no genera energía por Fajas sueltas por Error de montaje	Ocasiona riesgo al personal por contacto con energía térmica. Se requiere 30 minutos para ajustar fajas	O2	Reacondicionamiento cíclico	Mecánica	Ajustar fajas de alternador	Mantenimiento mecánico	250	1	
			11	No arranca por Alternador que no genera energía por Fajas sueltas por Error de montaje	Ocasiona riesgo al personal por contacto con energía eléctrica. Se requiere 30 minutos para cambio de fusibles	O2	Reacondicionamiento cíclico	Mecánica	Ajustar fajas de alternador	Mantenimiento mecánico	250	1	
			12	No arranca por Fajas de ventilador rotas por Desgaste de la faja	Ocasiona riesgo al personal por golpes. Se requiere 2 horas para cambio de fajas	O3	Sustitución cíclica	Mecánica	Ajustar fajas de alternador	Mantenimiento mecánico	2 000	1	Fajas de alternador
			13	No arranca por Bajo nivel de refrigerante por Fuga del refrigerante	Ocasiona riesgo al personal por contacto con químicos, al equipo por recalentamiento de motor, contaminación de suelos. Se requiere 6 horas para corregir fuga y rellenar refrigerante	S2	Reacondicionamiento cíclico	Mecánica	Inspeccionar mangueras y tapas de sistema de refrigerante de motor	Mantenimiento mecánico	250	1	
			15	No arranca por Bajo nivel de aceite por Fuga de aceite por mangueras rotas	Ocasiona riesgo al personal por contacto con químicos, al equipo por recalentamiento de motor, contaminación de suelos. Se requiere 4 horas para corregir fuga y rellenar aceite	S2	Reacondicionamiento cíclico	Mecánica	Inspeccionar mangueras de sistema de lubricación de motor	Mantenimiento mecánico	250	1	
			16	No arranca por Filtros de aceite saturados por Mala calidad	Ocasiona riesgo al personal por contacto con químicos, al equipo por recalentamiento de motor, contaminación de suelos. Se requiere 2 horas para cambio de filtros	S3	Sustitución cíclica	Mecánica	Cambiar filtros de calidad	Mantenimiento mecánico	250	1	Filtros de aceite de motor
			17	No arranca por Bajo nivel de combustible por Fuga de combustible	Ocasiona riesgo al personal por contacto con químicos, al equipo por daños a la unidad de rotación, contaminación de suelos. Se requiere 4 horas para corregir fuga y rellenar combustible	S2	Reacondicionamiento cíclico	Mecánica	Inspeccionar conductos del sistema de combustible de motor	Mantenimiento mecánico	250	1	
			18	No arranca por Filtros de combustible Saturados por Combustible contaminado	Ocasiona riesgo al personal por contacto con químicos, al equipo por daño a inyectores, filtros y recalentamiento de motor, contaminación de suelos. Se requiere 2 horas para cambio de filtros	S3	Sustitución cíclica	Mecánica	Cambiar filtros de calidad	Mantenimiento mecánico	250	1	Filtros de combustible de motor

PROYECTO RCM :	Perforadora Atlas Copco CT20 / Explo Drilling Arequipa	Fecha: 01-01-17	Hoja N°
NOMBRE SISTEMA:	Sistema de potencia	FACILITADOR:	José Nayhua

AMEF: ANALISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLAS					SELECCIÓN DE LAS TAREAS DE MANTENIMIENTO						
FUNCION	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	EFFECTO DE FALLA	TIPO	Tipo de mantto	Disciplina	Descripción del mantto	Ejecutante	Frecuencia	HH	Repuestos
1. Proveer potencia de 224 kW (305 hp) a 2100 RPM, con un consumo de combustible de XX l/h, para una operación continua de 12 horas	B	Provee baja potencia	1. Pérdida potencia por Vibración por Pernos de soporte de motor sueltos por Error de montaje	O2	Reacondicionamiento cíclico	Mecánica	Ajustar pernos de soporte de motor	Mantenimiento mecánico	2 000	2	
			2. Pérdida potencia por Pernos de soporte de motor rotos por Perno defectuoso	O2	Reacondicionamiento cíclico	Mecánica	Ajustar pernos de soporte de motor	Mantenimiento mecánico	20 000	4	Pernos de soporte de motor
			3. Pérdida potencia por Filtros de aire saturados por Desgaste	O2	Reacondicionamiento cíclico	Mecánica	Cambiar filtros de aire	Mantenimiento mecánico	250	1	Filtro de aire
			5. Pérdida potencia por Turbos con desgaste por Sello con fuga de aceite	O2	Reacondicionamiento cíclico	Mecánica	Cambiar turbo	Mantenimiento mecánico	10 000	8	Turbocompresor
			9. Pérdida potencia por Pérdida de compresión por Empaque de culata soplado	O1	Reacondicionamiento cíclico	Mecánica	Cambio de empaque	Mantenimiento mecánico	10 000	4	Empaque de culata
			10. Pérdida potencia por Culata doblada o rajada	O1	Tarea a condición	Mecánica	Monitoreo de compresión de motor	Mantenimiento mecánico	5 000	6	
			11. Pérdida potencia por Monoblock con fisura	O1	Tarea a condición	Mecánica	Monitoreo de aceite de motor	Mantenimiento mecánico	250	0.5	Kit de monitoreo de aceite
			12. Pérdida potencia por Anillos desgastados o rotos	O3	Sustitución cíclica	Mecánica	Cambio de anillos de motor	Mantenimiento mecánico	10 000	4	Kit de anillos de motor
			13. Pérdida potencia por Cilindros desgastados	O3	Sustitución cíclica	Mecánica	Cambio de anillos de motor	Mantenimiento mecánico	10 000	4	Kit de cilindros de motor
			14. Pérdida potencia por Asientos de válvula no sellan por	O3	Sustitución cíclica	Mecánica	Cambio asientos de válvulas	Mantenimiento mecánico	10 000	4	Kit de asientos de válvulas
			15. Pérdida potencia por Guías de válvula desgastadas por	O3	Sustitución cíclica	Mecánica	Cambio de guías de válvulas	Mantenimiento mecánico	10 000	4	Kit de guías de válvulas
			16. Pérdida potencia por Válvulas desgastadas por	O3	Sustitución cíclica	Mecánica	Cambio de válvulas	Mantenimiento mecánico	10 000	4	Kit de válvulas
			17. Pérdida potencia por Inyectores Saturados	O2	Reacondicionamiento cíclico	Mecánica	Limpieza de inyectores	Mantenimiento mecánico	5 000	4	
			19. Pérdida potencia por Sobre calentamiento por fajas del ventilador sueltas	O2	Reacondicionamiento cíclico	Mecánica	Ajustar tensión de fajas de ventilador	Mantenimiento mecánico	500	2	
			19. Pérdida potencia por fuga de refrigerante	S2	Reacondicionamiento cíclico	Mecánica	Inspeccionar conductos y componentes del sistema de refrigeración de motor	Mantenimiento mecánico	250	1	
			20. Pérdida potencia por Radiador en falla	S2	Reacondicionamiento cíclico	Mecánica	Inspeccionar conductos y estructura del radiador de refrigeración de motor	Mantenimiento mecánico	250	1	
			21. Pérdida potencia por Filtros de combustible saturados por Combustible de mala calidad	O3	Sustitución cíclica	Mecánica	Cambiar filtros de combustible	Mantenimiento mecánico	250	1	Filtros de combustible de motor

4.13.2 Implementación de las tareas de mantenimiento unidad de rotación

PROYECTO RCM:		Perforadora Atlas Copco CT20 / Explo Drilling Arequipa			Fecha: 01-01-17		Hoja N°											
NOMBRE SISTEMA:		Unidad de rotación			FACILITADOR: José Nayhua		1 de 05											
AMEF: ANALISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLAS												SELECCIÓN DE LAS TAREAS DE MANTENIMIENTO						
FUNCION	FALLA FUNCIONAL			MODO DE FALLA		EFECTO DE FALLA		TIPO	Tipo de manto	Disciplina	Descripción del manto	Ejecutante	Frecuencia	HH	Repuestos			
Proveer un torque de 6245 Nm a 1300 rpm para una operación continua de 19 horas por día	A	Incapaz de proveer torque.	1	No gira por Fusibles cortocircuitados por Mala calidad de fusibles	Ocasiona riesgo a la producción. Se requiere 2 horas para cambio de fusibles	O	Ningún mantenimiento preventivo	Electricidad	Cambiar fusibles	Mantenimiento eléctrico				1				
			2	No gira por Suministro erróneo de fusibles	Ocasiona riesgo a la producción. Se requiere 2 horas para cambio de fusibles	O	Ningún mantenimiento preventivo	Electricidad	Ajustar fusibles	Mantenimiento eléctrico								
			3	No gira por Fusibles en falso contacto por Fusibles mal instalados por Error de montaje	Ocasiona riesgo al personal por contacto con energía eléctrica. Se requiere 30 minutos para detectar y ajustar fusibles	O	Ningún mantenimiento preventivo	Electricidad	Ajustar fusibles	Mantenimiento eléctrico								
			4	No gira por Cables cortocircuitados por Cables deteriorados	Ocasiona riesgo al personal por contacto con energía eléctrica. Se requiere 2 horas para detectar y cambiar cables	O2	Reacondicionamiento cíclico	Electricidad	Inspeccionar cables eléctricos	Mantenimiento eléctrico	500	1						
			5	No gira por Falso contacto de conectores por Conectores mal instalados por Error de montaje	Ocasiona riesgo al personal por contacto con energía eléctrica. Se requiere 30 minutos para detectar y cambiar conectores	O2	Reacondicionamiento cíclico	Electricidad	Inspeccionar conectores eléctricos	Mantenimiento eléctrico				500	1			
			6	No gira por No llega energía eléctrica	Ocasiona riesgo al personal por contacto con energía eléctrica. Se requiere 30 minutos para detectar y cambiar conectores	O2	Reacondicionamiento cíclico	Electricidad	Megado de cables eléctricos	Mantenimiento eléctrico				500	1			
			7	No gira por Bajo nivel de aceite por Fuga de aceite	Ocasiona riesgo al personal por contacto con químicos, al ambiente por contaminación de suelos. Se requiere 6 horas para corregir fuga y rellenar aceite	S2	Reacondicionamiento cíclico	Mecánica	Inspeccionar mangueras de sistema de lubricación de motor	Operaciones				12	0.2			
			8	No gira por Filtro de aceite saturado por Mala calidad por Error en el suministro	Ocasiona riesgo al personal por contacto con químicos, al equipo por desgaste acelerado, al ambiente por contaminación de suelos. Se requiere 2 horas para cambio de filtros	S3	Sustitución cíclica	Mecánica	Cambiar filtros de calidad	Mantenimiento mecánico				250	1	Filtros de aceite de motor		
			9	No gira por Fuga hidráulica externa por Mangueras rotas por Suministro erróneo	Ocasiona riesgo al personal por contacto con químicos, al componente por cavitación, contaminación de suelos. Se requiere 4 horas para corregir fuga y rellenar aceite	S2	Reacondicionamiento cíclico	Mecánica	Inspeccionar mangueras hidráulicas	Operaciones				12	0.3			
			10	No gira por Fuga hidráulica externa por Conectores sueltos por error de montaje	Ocasiona riesgo al personal por contacto con químicos, al componente por cavitación, contaminación de suelos. Se requiere 4 horas para corregir fuga y rellenar aceite	S2	Reacondicionamiento cíclico	Mecánica	Inspeccionar conectores hidráulicos	Operaciones				12	0.2			
			11	No gira por Carcasa rajada o rota por Mala calidad	Ocasiona riesgo al personal por contacto con químicos, contaminación de suelos. Se requiere 36 horas para cambio de unidad de rotación	S1	Tarea a condición	Mecánica	Análisis de ultrasonido	Mantenimiento mecánico				500	1			
			12	No gira por Fuga hidráulica interna por componentes internos por desgaste	Ocasiona riesgo al a componente Se requiere 36 horas para cambio de unidad de rotación	S3	Sustitución cíclica	Mecánica	Cambio de unidad de rotación	Mantenimiento mecánico				10 000	8	Unidad de rotación		
			13	No gira por Fuga hidráulica interna por sellos Rotos por mala calidad	Ocasiona riesgo al a componente Se requiere 36 horas para cambio de unidad de rotación	S2	Reacondicionamiento cíclico	Mecánica	Reparación de unidad de rotación	Mantenimiento mecánico				5 000	14	Unidad de rotación		
			14	No gira por Vibración por Pernos de fijación sueltos por Error de montaje	Ocasiona riesgo al equipo por rotura de soportes o pernos de montaje. Se requiere 30 minutos para ajustar pernos del soporte	O2	Reacondicionamiento cíclico	Mecánica	Ajustar pernos de montaje	Mantenimiento mecánico				2 000	2			
			15	No gira por vibración por Pernos de fijación rotos por Perno desgastado	Ocasiona riesgo al equipo por rotura de soportes y caída de la unidad de rotación. Se requiere 2 horas para cambio de pernos del soporte	O3	Sustitución cíclica	Mecánica	Cambiar pernos de montaje	Mantenimiento mecánico				20 000	4	Pernos de montaje de la unidad de rotación		

PROYECTO RCM :	Perforadora Atlas Copco CT20 / Explo Drilling Arequipa	Fecha: 01-01-17	Hoja N°
NOMBRE SISTEMA:	Unidad de rotación	FACILITADOR:	José Nayhua
			3 de 05

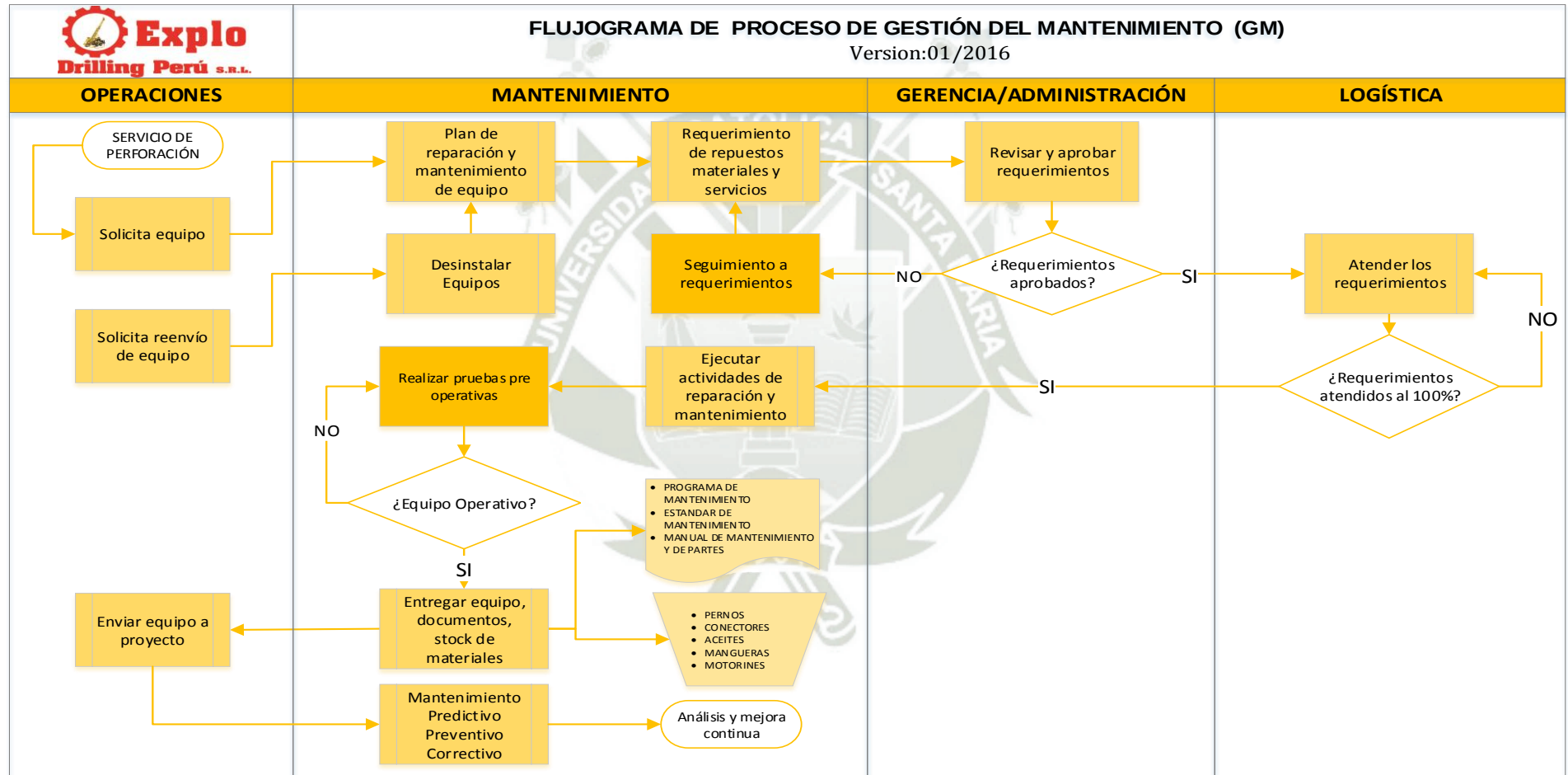
AMEF: ANALISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLAS					SELECCIÓN DE LAS TAREAS DE MANTENIMIENTO						
FUNCION	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	EFFECTO DE FALLA	TIPO	Tipo de mantto	Disciplina	Descripción del mantto	Ejecutante	Frecuencia	HH	Repuestos
Proveer un torque de 6245 Nm a 1300 rpm para una operación continua de 19 horas por día	B Provee torque por debajo de lo esperado.	16 Perdida de potencia por Filtro de aceite saturado por Desgaste por Falta de mantenimiento	Ocasiona riesgo al equipo por contaminación de aceite y desgaste acelerado del componente. Se requieren 2 hora para cambio de filtros	S3	Sustitución ciclica	Mecánica	Cambiar filtro de aceite	Mantenimiento mecánico	500	1	Filtros de aceite de unidad de rotación
		17 Perdida de potencia por Filtro de aceite saturado por Deformado por Golpes	Ocasiona riesgo al equipo por contaminación de aceite y desgaste acelerado del componente. Se requieren 2 hora para cambio de filtros	S2	Reacondicionamiento ciclico	Mecánica	Inspeccionar filtros de unidad de rotación	Mantenimiento mecánico	12	0.2	
		18 Perdida de potencia por Fuga hidráulica externa por Mangueras rotas	Ocasiona riesgo al personal por contacto con químicos, contaminación de suelos. Se requieren 4 horas corregir fuga y rellenar aceite	S2	Reacondicionamiento ciclico	Mecánica	Inspeccionar mangueras de sistema de unidad de rotación	Mantenimiento mecánico	12	0.3	
		19 Perdida de potencia por Fuga hidráulica externa por conectores sueltos por Error de montaje	Ocasiona riesgo al personal por contacto con químicos, contaminación de suelos. Se requieren 4 horas corregir fuga y rellenar aceite	S2	Reacondicionamiento ciclico	Mecánica	Inspeccionar conectores de mangueras de sistema de unidad de rotación	Mantenimiento mecánico	12	0.2	
		20 Perdida de potencia por Fuga hidráulica externa por Carcasa rajada por Mala calidad	Ocasiona riesgo al a componente Se requieren 36 horas para cambio de unidad de rotación	S1	Tarea a condición	Mecánica	Análisis de ultrasonido	Mantenimiento mecánico	500	1	
		21 Perdida de potencia por Fuga hidráulica externa por Carcasa rajada o rota por Golpes	Ocasiona riesgo al a componente Se requieren 36 horas para cambio de unidad de rotación	S2	Reacondicionamiento ciclico	Mecánica	Inspeccionar carcasa de unidad de rotación	Mantenimiento mecánico	12	0.1	
		22 Perdida de potencia por Vibración por Pernos de fijación sueltos por Error de montaje	Ocasiona riesgo al equipo por rotura de soportes o pernos de montaje. Se requieren 30 minutos para ajustar pernos del soporte	O2	Reacondicionamiento ciclico	Mecánica	Ajustar pernos de montaje de unidad de rotación	Mantenimiento mecánico	250	1	
		23 Perdida de potencia por Fuga hidráulica interna por componentes internos por desgaste	Ocasiona riesgo al personal por contacto con químicos, a la producción, al ambiente por contaminación de suelos. Ocasiona riesgo al a componente Se requieren 36 horas para cambio de componente	S3	Sustitución ciclica	Mecánica	Cambio de unidad de rotación	Mantenimiento mecánico	10 000	8	
		24 Perdida de potencia por Fuga hidráulica interna por componentes internos por Mala calidad	Ocasiona riesgo al personal por contacto con químicos, a la producción, al ambiente por contaminación de suelos. Ocasiona riesgo al a componente Se requieren 36 horas para cambio de componente	S1	Tarea a condición	Mecánica	Análisis de aceite	Mantenimiento mecánico	1 000	8	
		25 Perdida de potencia por Fuga hidráulica interna por sellos por Rotos por mala calidad	Ocasiona riesgo al personal por contacto con químicos, a la producción, al ambiente por contaminación de suelos. Ocasiona riesgo al a componente Se requieren 36 horas para cambio de bomba	S2	Reacondicionamiento ciclico	Mecánica	Evaluar potencia de la unidad de rotación	Operaciones	12	0.2	
		26 Perdida de potencia por Bajo caudal de aceite por Error de calibración o montaje	Ocasiona riesgo al equipo y a la producción. Se requieren 3 horas para corregir caudal	O2	Reacondicionamiento ciclico	Mecánica	Calibrar caudal de aceite de la unidad de rotación	Mantenimiento mecánico	1 000	1	
		27 Perdida de potencia por Baja presión de aceite por Error de calibración o montaje por	Ocasiona riesgo al equipo y a la producción. Se requieren 3 horas para corregir presión	O2	Reacondicionamiento ciclico	Mecánica	Calibrar presión de aceite de la unidad de rotación	Mantenimiento mecánico	1 000	1	
		28 Perdida de potencia por Empaquetaduras con fuga	Ocasiona riesgo al personal por contacto con químicos, al ambiente por contaminación de suelos. Ocasiona riesgo al a componente Se requieren 36 horas para cambio del componente	S2	Reacondicionamiento ciclico	Mecánica	Inspeccionar hermeticidad de empaquetaduras de la unidad de rotación	Operaciones	12	0.1	

4.13.3 Implementación de las tareas de mantenimiento bombas hidráulicas

PROYECTO RCM: Perforadora Atlas Copco CT20 / Explo Drilling Arequipa		Fecha: 01-01-17		Hoja N°								
NOMBRE SISTEMA: Sistema hidráulico		FACILITADOR: José Nayhua		1 de 05								
AMEF: ANALISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLAS						SELECCIÓN DE LAS TAREAS DE MANTENIMIENTO						
FUNCION	FALLA FUNCIONAL		MODOS DE FALLA	EFFECTO DE FALLA	TIPO	Tipo de manto	Disciplina	Descripción del manto	Ejecutante	Frecuencia	HH	Repuestos
Proveer 310 bar 295 l/min en la Bomba primaria, 200 bar 145 l/min en la bomba secundaria y 215 bar 55 l/min en la bomba auxiliar para una operación continua de 19 horas por día	Incapaz de proveer presión y caudal en la bomba primaria, secundaria y auxiliar.	1	No giran por Fusibles en falso contacto por Fusibles mal instalados por Error de montaje	Ocasiona riesgo a la producción. Se requiere 2 horas para cambio de fusibles	O	Ningún mantenimiento preventivo	Electricidad	Ajustar fusibles	Mantenimiento eléctrico			
		2	No giran por Cables cortocircuitados por Cables deteriorados por Suministro erróneo	Ocasiona riesgo al personal por contacto con energía eléctrica. Se requieren 2 horas para detectar y cambiar cables	O2	Reacondicionamiento cíclico	Electricidad	Inspeccionar cables eléctricos	Mantenimiento eléctrico	500	1	
		3	No giran por Falso contacto de conectores por Conectores mal instalados por Error de montaje	Ocasiona riesgo al personal por contacto con energía eléctrica. Se requieren 30 minutos para detectar y cambiar conectores	O2	Reacondicionamiento cíclico	Electricidad	Inspeccionar conectores eléctricos	Mantenimiento eléctrico	500	1	
		4	No giran por Bajo nivel de aceite por falta de inspección.	Ocasiona riesgo al personal por contacto con químicos, al ambiente por contaminación de suelos. Se requieren 2 horas para rellenar aceite	S2	Reacondicionamiento cíclico	Mecánica	Inspeccionar nivel de aceite	Operación	12	1	
		5	No giran por Filtro de aceite saturado	Ocasiona riesgo al personal por contacto con químicos, al equipo por desgaste acelerado, al ambiente por contaminación de suelos. Se requieren 2 horas para cambio de filtros	S3	Sustitución cíclica	Mecánica	Cambiar filtros hidráulicos	Mantenimiento mecánico	500	1	Filtros hidráulicos
		6	No giran por Fuga hidráulica externa por Mangueras rotas por Error de montaje	Ocasiona riesgo al personal por contacto con químicos, al componente por cavitación, contaminación de suelos. Se requieren 4 horas para corregir fuga y rellenar aceite	S2	Reacondicionamiento cíclico	Mecánica	Inspeccionar mangueras de sistema hidráulico	Operaciones	12	1	
		7	No giran por Conectores sueltos por Error de montaje	Ocasiona riesgo al personal por contacto con químicos, al componente por cavitación, contaminación de suelos. Se requieren 4 horas para corregir fuga y rellenar aceite	S2	Reacondicionamiento cíclico	Mecánica	Inspeccionar conectores hidráulicos	Operaciones	12	0.2	
		8	No giran por Carcasa de bomba rajada o rota por Golpes	Ocasiona riesgo al personal por contacto con químicos, al ambiente por contaminación de suelos. Ocasiona riesgo al a componente Se requieren 36 horas para cambio de bomba	S2	Reacondicionamiento cíclico	Mecánica	Inspeccionar conjunto de bombas hidráulicas	Operaciones	12	0.2	
		9	No giran por Fuga hidráulica interna por componentes internos por desgaste	Ocasiona riesgo al personal por contacto con químicos, al ambiente por contaminación de suelos. Ocasiona riesgo al a componente Se requieren 36 horas para cambio de bomba	S3	Sustitución cíclica	Mecánica	Cambio de unidad de rotación	Mantenimiento mecánico	10 000	8	Unidad de rotación
		10	No giran por Fuga hidráulica interna por sellos Rotos	Ocasiona riesgo al personal por contacto con químicos, al ambiente por contaminación de suelos. Ocasiona riesgo al a componente Se requieren 36 horas para cambio de bomba	S3	Sustitución cíclica	Mecánica	Cambio de bomba hidráulica	Mantenimiento mecánico	10 000	8	Bomba hidráulica primaria secundaria y auxiliar
		11	No giran por Fuga hidráulica interna por sellos desgastados	Ocasiona riesgo al personal por contacto con químicos, al ambiente por contaminación de suelos. Ocasiona riesgo al a componente Se requieren 36 horas para cambio de bomba	S2	Reacondicionamiento cíclico	Mecánica	Reparación de boma hidráulica	Mantenimiento mecánico	5 000	14	Kit de sellos de Bomba hidráulica primaria secundaria y auxiliar
		12	No giran por Filtro de aceite saturado	Ocasiona riesgo al personal por contacto con químicos, al equipo por desgaste acelerado, al ambiente por contaminación de suelos. Se requieren 2 horas para cambio de filtros	S3	Sustitución cíclica	Mecánica	Cambiar filtros	Mantenimiento mecánico	250	1	Filtros de aceite hidráulico
		13	No giran por Pernos de fijación sueltos por Error de montaje	Ocasiona riesgo al personal y al componente Se requieren 1 horas para ajustar pernos	O2	Reacondicionamiento cíclico	Mecánica	Ajustar pernos de montaje	Mantenimiento mecánico	2 000	1	
		14	No giran por Pernos de fijación rotos por Error en suministro	Ocasiona riesgo al personal y al componente Se requieren 5 horas para cambiar pernos	O3	Reacondicionamiento cíclico	Mecánica	Cambiar pernos de montaje	Mantenimiento mecánico	20 000	6	Pernos de montaje de Bomba hidráulica primaria secundaria y auxiliar
		15	Perdida de potencia por Bajo caudal de aceite por Error de calibración o montaje por	Ocasiona riesgo al equipo y a la producción. Se requieren 3 horas para corregir caudal	O2	Reacondicionamiento cíclico	Mecánica	Calibrar caudal de aceite de la unidad de rotación	Mantenimiento mecánico	1 000	1	
		16	Perdida de potencia por Baja presión de aceite por Error de calibración o montaje por	Ocasiona riesgo al equipo y a la producción. Se requieren 3 horas para corregir presión	O2	Reacondicionamiento cíclico	Mecánica	Calibrar presión de aceite de la unidad de rotación	Mantenimiento mecánico	1 000	1	

4.14 Diseño del proceso de gestión de mantenimiento

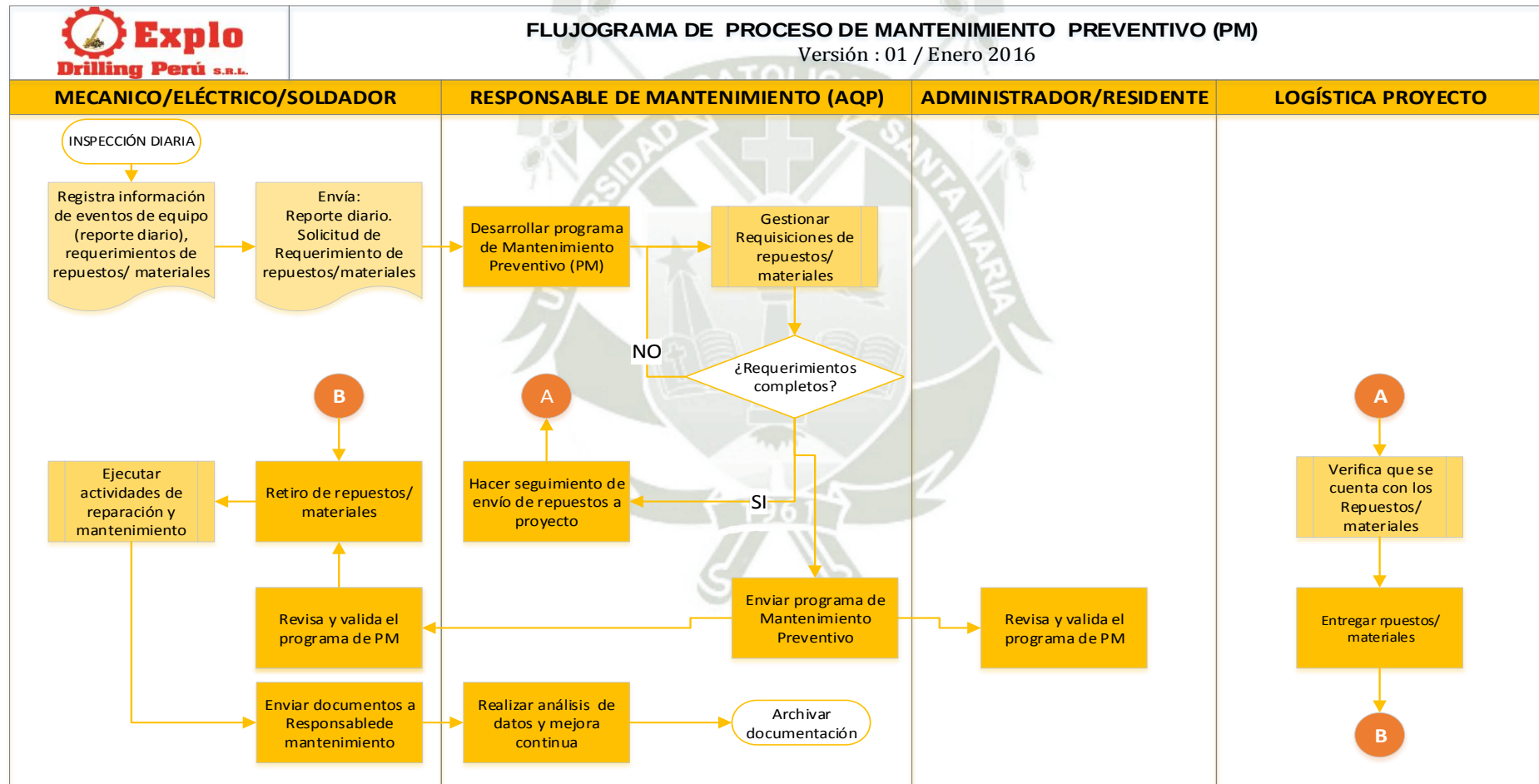
Figura 22: Flujograma de proceso de gestión de mantenimiento



Fuente: Gestión de mantenimiento Explo Drilling Perú

4.14.1 Mantenimiento preventivo

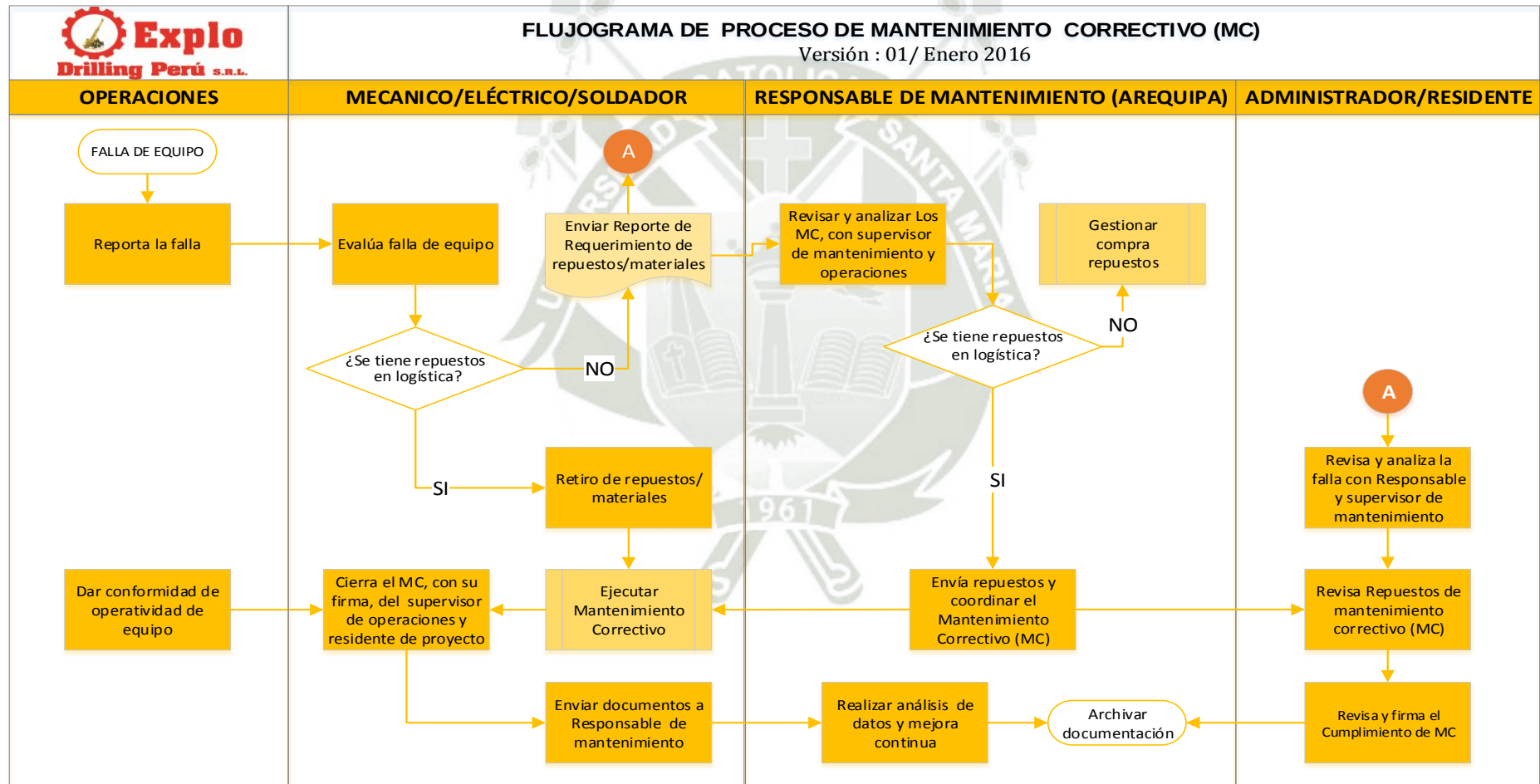
Figura 23: Flujoograma de proceso de mantenimiento preventivo



Fuente: Gestión de mantenimiento Explo Drilling Perú

4.14.2 Mantenimiento correctivo

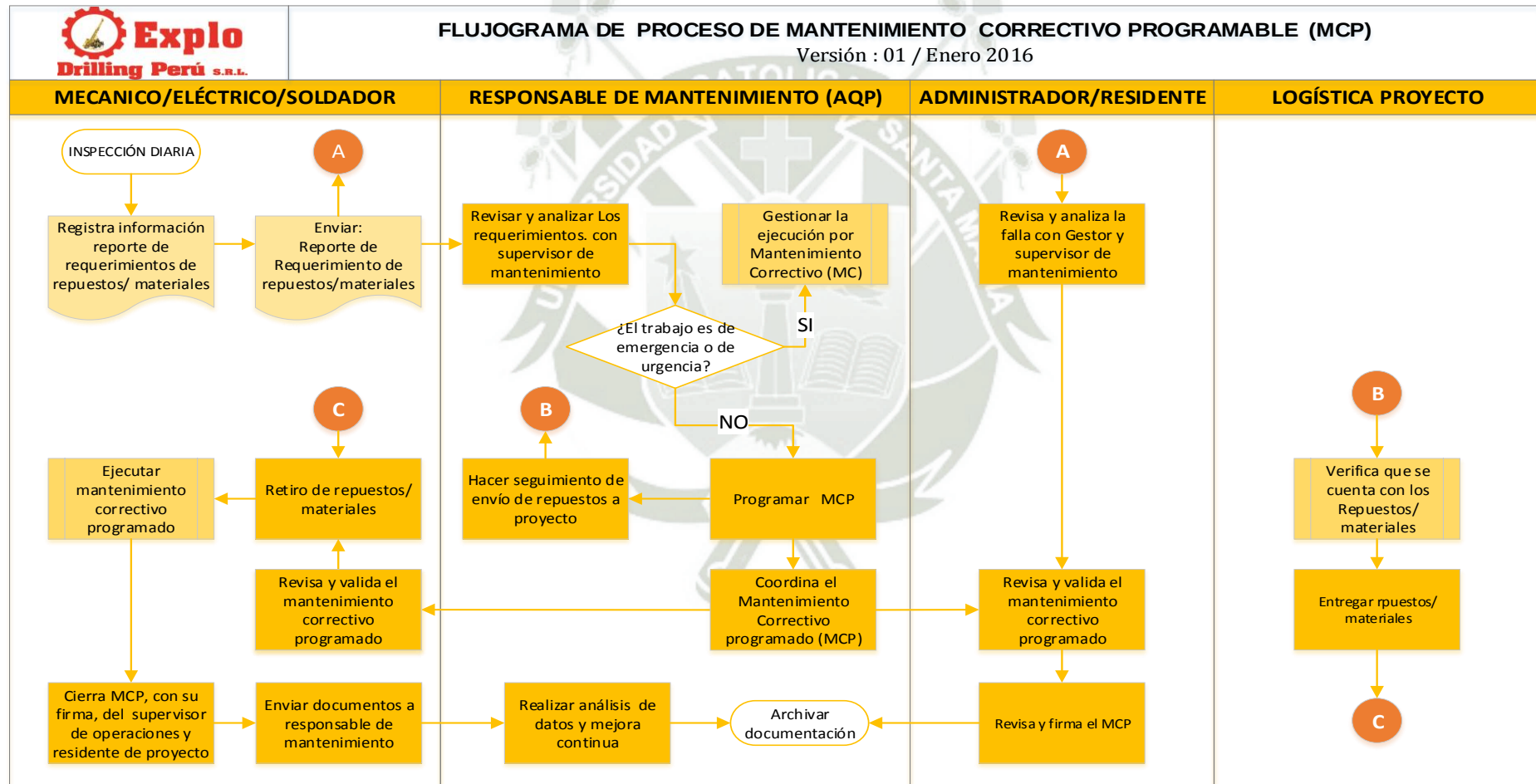
Figura 24: Flujograma de proceso de mantenimiento correctivo



Fuente: Gestión de mantenimiento Explo Drilling Perú

4.14.3 Mantenimiento correctivo programado

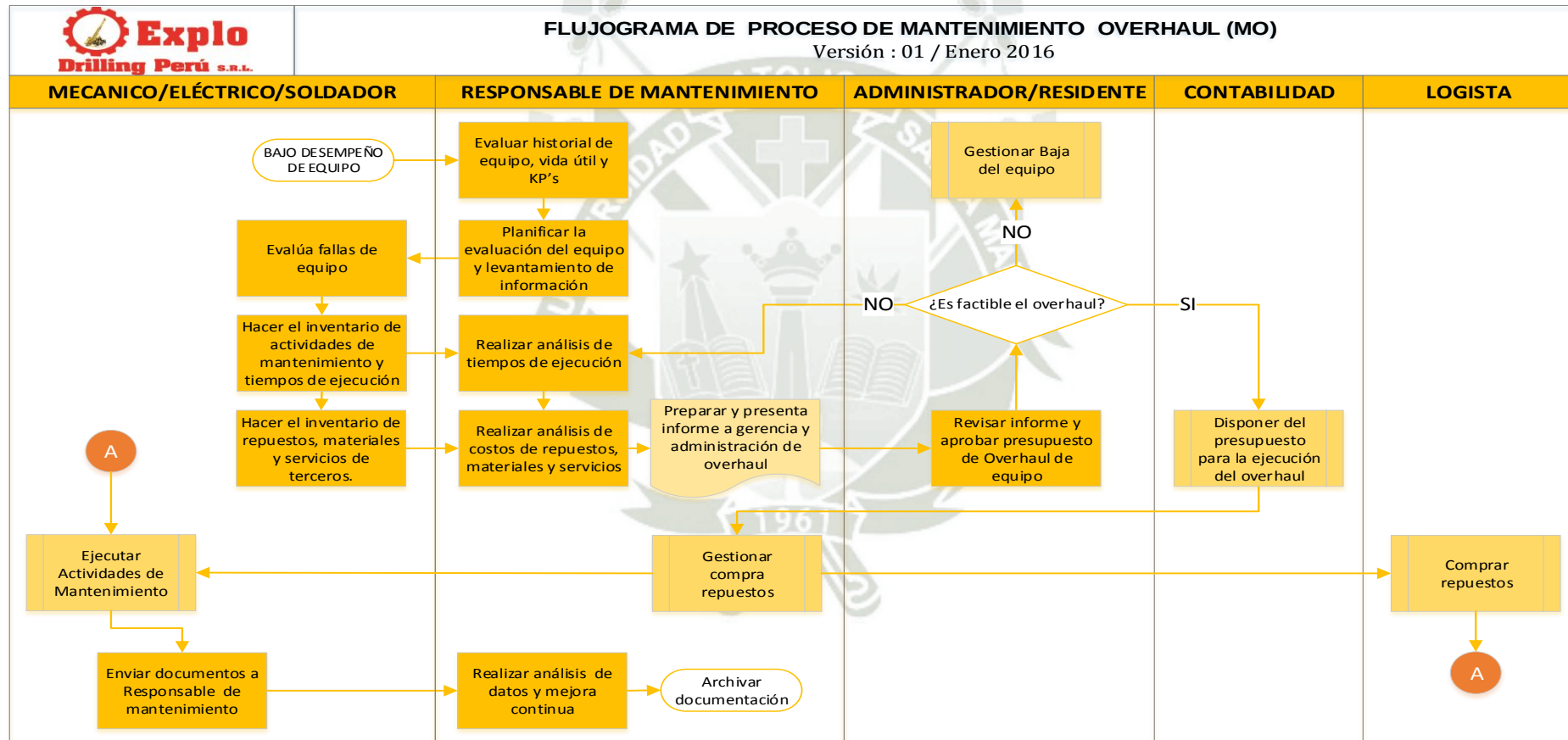
Figura 25: Flujoograma de proceso de mantenimiento correctivo Programable



Fuente: Gestión de mantenimiento Explo Drilling Perú

4.14.4 Mantenimiento mayor

Figura 26: Flujograma de proceso de mantenimiento Overhaul



Fuente: Gestión de mantenimiento Explo Drilling Perú

4.15 Aplicación del plan de mantenimiento bajo el RCM

4.15.1 Diario cada turno de 12 horas

	MANTENIMIENTO PREVENTIVO		INSPECCIÓN	
	RE-PO-002-003		DIARIA	
	Versión : 001/ Enero 2016		12 HORAS	

EQUIPO	CT-20-06	TIME ESTIMADO	1 Horas
MARCA	ATLAS COPCO	MECÁNICO	
INICIO		FECHA	
FIN		HORÓMETRO	

ACTIVIDADES PRELIMINARES AL MANTENIMIENTO		OBSERVACIÓN
1	Llenar ATS	
2	Usar equipo de protección personal	
3	Ubicar equipo de forma estable	
4	Apagar equipo	
5	Realizar bloqueo (candado y tarjeta de bloqueo)	
6	Aplicar bloqueos y/o rótulos individuales a los controles, interruptores, válvulas y otros dispositivos	
7	Acordone el área de trabajo con cinta y conos de seguridad	

MATERIALES E INSUMOS	Código EDP	Número de Parte	Unit	Cantidad (✓)
1 Trapo industrial	ED202000043		Kg	2
2 Grasa	ED204000034	EP-2	lb	

DESARROLLO DE LA ACTIVIDAD	REALIZADO (✓)	V. ENCONTRADO	RECOMENDACIÓN
Unidad de potencia			
1 Revisar Nivel de aceite de motor			
2 Revisar Nivel de refrigerante			
3 Revisar Fajas del ventilador			
4 Revisar mangueras hidráulicas			
Unidad de rotación			
1 Revisar Nivel de aceite de transmisión			
2 Engrasar Retenes de cabezal			
3 Revisar Bomba conexión			
4 Revisar mangueras hidráulicas			
5 Revisar conectores de mangueras			
6 revisar carcasa			
7 Revisar filtros			
8 Evaluar potencia			
9 Revisar sin fugas por sellos o empaques			
Sistema hidráulico			
1 Revisar Fuga de aceite			
2 Revisar Nivel de aceite hidráulico			
3 Revisar mangueras hidráulicas			
4 Revisar conectores de mangueras			
5 revisar carcasas de bombas			
Castillo			
1 Revisar Pernos sueltos			
2 Engrasar Grampa hidráulica			
3 Engrasar Winche principal			
4 Engrasar Winche wire line			
Sistema eléctrico			
1 Revisar Funcionamiento de luces			
2 Revisar Estado de cables aislamiento externo			
3 Revisar Parada de emergencia			
Sistema de agua			
1 Revisar Nivel de aceite			

ACTIVIDADES POSTERIORES AL MANTENIMIENTO	
1 Retirar el rotulado y bloqueos después de terminado el trabajo	
2 Inspeccionar que se instalaron todas las guardas de protección que se retiraron	
3 Verificar ausencia de personal para el arranque del equipo	
4 Inspeccionar y descartar posibles fugas	
5 Llenar la documentación necesaria archivar e informar	

CONTROL AMBIENTAL	
1 Recolectar piezas inservibles en un lugar apropiado, para su posterior desecho.	
2 Levantar y clasificar todos los elementos inflamables	
3 Recuperar el aceite usado en cilindros.	
4 Evitar derrames de aceite.	

OBSERVACIONES			

CARGO	NOBRE Y APELLIDO	CONFORMIDAD	PROYECTO
Operador de equipo			
Mecánico a Cargo del PM			
Residente/Administrador			

4.15.2 PM 1 a las 250 horas

		MANTENIMIENTO PREVENTIVO RE-PO-002-004 Versión : 001 / Enero 2016		PM-1 250 HORAS		
EQUIPO	CT-20-06	TIME ESTIMADO	Horas			
MARCA	ATLAS COPCO	MECÁNICO				
INICIO		FECHA				
FIN		HORÓMETRO				
ACTIVIDADES PRELIMINARES AL MANTENIMIENTO						
1	Llenar ATS					
2	Usar equipo de protección personal					
3	Ubicar equipo de forma estable					
4	Apagar equipo					
5	Realizar bloqueo (candado y tarjeta de bloqueo)					
6	Aplicar bloqueos y/o rótulos individuales a los controles, interruptores, válvulas y otros dispositivos					
7	Acordone el área de trabajo con cinta y conos de seguridad					
MATERIALES E INSUMOS		Código EDP	Número de Parte	Unit	Cantidad	(✓)
1	Trapo industrial	ED202000043		Kg	2	
2	Grasa	ED204000034	EP-2	lb	10	
3	Filtro de combustible	ED045000093	P550774/FF 5580	Pza	1	
4	Filtro separador de agua		WF 2073	Pza	1	
5	Filtro de combustible racor	ED045000068	FS 19728	Pza	1	
6	Filtro de aceite de motor	ED045000002	LF 9009/P-553000	Pza	1	
7	Aceite de motor		15W-40	gl	5	
DESARROLLO DE LA ACTIVIDAD		REALIZADO (✓)	V. ENCONTRADO	RECOMENDACIÓN		
Unidad de potencia						
1	Cambiar Filtro de combustible					
2	Cambiar Filtro separador de agua					
3	Cambiar Filtro de combustible racor					
4	Cambiar Filtro de aceite de motor					
5	Cambiar Aceite de motor					
6	Revisar Nivel de aceite de motor					
7	Revisar Nivel de refrigerante					
8	Revisar Fajas de ventilador					
9	Revisar conductos y radiador					
10	Revisar mangueras hidráulicas					
11	Revisar conductos de combustible					
12	Realizar monitoreo de aceite					
Unidad de rotación						
1	Revisar Nivel de aceite de transmisión					
2	Engrasar Retenes de cabezal					
3	Revisar Pistones deslizamiento lateral					
4	Revisar Bomba conexión					
5	Revisar Presión de bomba de lubricación					
6	Limpiar Filtro unidad de rotación					
6	Ajustar pernos de montaje					
Sistema hidráulico						
1	Revisar Fuga de aceite					
2	Revisar Nivel de aceite hidráulico					
Castillo						
1	Revisar Pernos sueltos					
2	Engrasar Grampa hidráulica					
3	Engrasar Winche wire line					
Sistema eléctrico						
1	Revisar Funcionamiento de luces					
2	Revisar Estado cables aislamiento externo					
3	Revisar Parada de emergencia					
4	Ajustar fajas de alternador					
5	Ajustar bornes de batería					
Sistema de agua						
1	Revisar Nivel de aceite					
2	Engrasar Chamber 435					
ACTIVIDADES POSTERIORES AL MANTENIMIENTO						
1	Retirar el rotulado y bloqueos después de terminado el trabajo					
2	Inspeccionar que se instalaron todas las guardas de protección que se retiraron					
3	Verificar ausencia de personal para el arranque del equipo					
4	Inspeccionar y descartar posibles fugas					
5	Llenar la documentación necesaria archivar e informar					
CONTROL AMBIENTAL						
1	Recolectar piezas inservibles en un lugar apropiado, para su posterior desecho.					
2	Levantar y clasificar todos los elementos inflamables					
3	Recuperar el aceite usado en cilindros.					
4	Evitar y controlar derrames de aceite.					

4.15.3 PM 2 a las 500 horas

		MANTENIMIENTO PREVENTIVO		PM-2		
		RE-PO-002-005				
		Versión : 001 / Enero 2016		500 HORAS		
EQUIPO	CT-20-06	TIME ESTIMADO	Horas			
MARCA	ATLAS COPCO	MECÁNICO				
INICIO		FECHA				
FIN		HORÓMETRO				
ACTIVIDADES PRELIMINARES AL MANTENIMIENTO				OBSERVACIÓN		
1	Llenar ATS					
2	Usar equipo de protección personal					
3	Ubicar equipo de forma estable					
4	Apagar equipo					
5	Realizar bloqueo (candado y tarjeta de bloqueo)					
6	Aplicar bloqueos y/o rótulos a los controles, interruptores, válvulas y otros					
7	Acordone el área de trabajo con cinta y conos de seguridad					
REPUESTOS		Código EDP	Número de Parte	Unit	Cantidad	(✓)
1	Bomba conexión			Pza	1	
2	Kit de reparación de Chamber			Pza	1	
MATERIALES E INSUMOS		Código EDP	Número de Parte	Unit	Cantidad	(✓)
1	Trapo industrial	ED202000043		Kg	2	
2	Grasa	ED204000034	EP-2	lb	10	
3	Filtro de combustible	ED045000093	P550774/FF 5580	Pza	1	
4	Filtro separador de agua		WF 2073	Pza	1	
5	Filtro de combustible racor	ED045000068	FS 19728	Pza	1	
6	Filtro de aceite de motor	ED045000002	LF 9009/P-553000	Pza	1	
7	Aceite de motor		15W-40	gl	5	
8	Aceite de transmisión Unidad Rotación	ED204000031	NEROPA 220	gl	7	
9	Filtro Unidad Rotación	ED045000005	LF-4056 (P559418)	Pza	1	
10	Aceite de bean pump (Chamber)		15W-40	gl	1	
HERRAMIENTAS		Código EDP	Número de Parte	Unit	Cantidad	(✓)
1						
DESARROLLO DE LA ACTIVIDAD		REALIZADO (✓)	V. ENCONTRADO	RECOMENDACIÓN		
Unidad de potencia						
1	Cambiar Filtro de combustible					
2	Cambiar Filtro separador de agua					
3	Cambiar Filtro de combustible racor					
4	Cambiar Filtro de aceite de motor					
5	Cambiar Aceite de motor					
6	Revisar Nivel de aceite de motor					
7	Revisar Nivel de refrigerante					
8	Revisar Fajas					
9	Revisar Fajas de ventilador					
10	Revisar conductos y radiador					
11	Revisar mangueras hidráulicas					
12	Revisar conductos de combustible					
13	Realizar monitoreo de aceite					
Unidad de rotación						
1	Cambiar Aceite de transmisión					
2	Revisar cadena de transmisión					
3	Engrasar Retenes de cabezal					
4	Revisar Baquelita desliza lateral mesa					
5	Revisar Pistones deslizamiento lateral					
6	Cambiar Bomba conexión					
7	Revisar Presión de bomba de lubricación					
8	Cambiar Filtro unidad de rotación					
9	Hcer analisis de ultrasonido					
10	Ajustar pernos de montaje					
Sistema hidráulico						
1	Revisar Fuga de aceite					
2	Revisar Nivel de aceite hidráulico					
8	Hcer analisis de ultrasonido a bombas					
Castillo						
1	Engrasar Rodamiento polea principal izaje					
2	Engrasar Carriles de desplazamiento					
3	Revisar Pernos sueltos					
4	Engrasar Grampa hidráulica					
5	Engrasar Winche wire line					
Sistema eléctrico						
1	Revisar Funcionamiento de luces					
2	Revisar Estado cables y conectores					
3	Megar Cables aislamiento y continuidad					
4	Revisar Parada de emergencia					
5	Ajustar fajas de alternador					
6	Ajustar bornes de batería					
Sistema de agua						
1	Cambiar Aceite de bean pump (Chamber)					
2	Engrasar Chamber 435					
3	Reparar mantenimiento Chamber					

4.15.4 PM 3 a las 1000

		MANTENIMIENTO PREVENTIVO RE-PO-002-006 Versión : 002 / Enero 2016		PM-3 1000 HORAS		
EQUIPO	CT-20-06	TIME ESTIMADO	Horas			
MARCA	ATLAS COPCO	MECÁNICO				
INICIO		FECHA				
FIN		HORÓMETRO				
ACTIVIDADES PRELIMINARES AL MANTENIMIENTO				OBSERVACIÓN		
1 Llenar ATS						
2 Usar equipo de protección personal						
3 Ubicar equipo de forma estable						
4 Apagar equipo						
5 Realizar bloqueo (candado y tarjeta de bloqueo)						
6 Aplicar bloqueo y/o rótulos a controles, interruptores, válvulas y otros dispositivos						
7 Acordone el área de trabajo con cinta y conos de seguridad						
REPUESTOS		Código EDP	Número de Parte	Unit	Cantidad	(✓)
1 Bomba conexión				Pza	1	
2 Motor hidráulico mixer				Pza	1	
3 Rodamiento de polea wire line				Pza	2	
4 Kit de reparación de Chamber				Kit	1	
MATERIALES E INSUMOS		Código EDP	Número de Parte	Unit	Cantidad	(✓)
1 Trapo industrial		ED202000043		Kg	2	
2 Grasa		ED204000034	EP-2	lb	10	
3 Filtro de combustible			FF 5580	Pza	1	
4 Filtro separador de agua			WF 2073	Pza	1	
5 Filtro de combustible racor			FS 19728	Pza	1	
6 Filtro de aceite de motor			LF 9009	Pza	1	
7 Aceite de motor			15W-40	gl	5	
8 Aceite de transmisión Unidad Rotación		ED204000031	NEROPA 220	gl	7	
9 Filtro de unidad de rotación			HF 6056	gl	1	
10 Filtro hidráulico de retorno			8231107948	Pza	1	
11 Aceite de bean pump (Chamber)			15W-40	gl	1	
12 Aceite de winche principal		ED204000031	NEROPA 220	gl	2	
HERRAMIENTAS		Código EDP	Número de Parte	Unit	Cantidad	(✓)
1						
DESARROLLO DE LA ACTIVIDAD		REALIZADO (✓)	V. ENCONTRADO	RECOMENDACIÓN		
Unidad de potencia						
1 Cambiar Filtro de combustible						
2 Cambiar Filtro separador de agua						
3 Cambiar Filtro de combustible racor						
4 Cambiar Filtro de aceite de motor						
5 Cambiar Aceite de motor						
6 Cambiar Filtro de aire primario						
7 Cambiar Filtro de aire secundario						
8 Revisar Nivel de refrigerante						
9 Revisar Fajas de ventilador						
10 Revisar conductos y radiador						
11 Revisar mangueras hidráulicas						
12 Revisar conductos de combustible						
13 Realizar monitoreo de aceite						
Unidad de rotación						
1 Cambiar Aceite de transmisión						
2 Engrasar Retenes de cabezal						
3 Revisar Baquelita desliza lateral mesa						
4 Revisar Pistones deslizamiento lateral						
5 Cambiar Bomba conexión						
6 Revisar Presión de bomba de lubricación						
7 Cambiar Filtro unidad de rotación						
8 Análisis de aceite						
9 Hcer analisis de ultrasonido						
10 Ajustar pernos de montaje						
Sistema hidráulico						
1 Revisar Fuga de aceite						
2 Revisar Nivel de aceite hidráulico						
3 Limpiar Enfriador de aceite						
4 Cambiar Filtro hidráulico de retorno						
5 Cambiar Motor hidráulico mixer						
6 Hcer analisis de ultrasonido a bombas						
Castillo						
1 Engrasar Rodamiento polea principal izaje						
2 Cambiar Rodamiento de polea wire line						
3 Engrasar Carriles de desplazamiento						
4 Cambiar Aceite de winche principal						
5 Revisar Pernos sueltos						
6 Engrasar Grampa hidráulica						
7 Engrasar Winche wire line						
Sistema eléctrico						
1 Revisar Funcionamiento de luces						
2 Revisar Estado cables aislamiento externo						
3 Megar Cables aislamiento y continuidad						
4 Revisar Parada de emergencia						
Sistema de agua						
1 Cambiar Aceite de bean pump (Chamber)						
2 Engrasar Chamber 435						
3 Reparar mantenimiento comp Chamber						

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

4.15.6 PM 5 a las 5000 horas

	MANTENIMIENTO PREVENTIVO		PM-5	
	RE-PO-002-008		5000 HORAS	
	Versión : 002 / Enero 2016			

EQUIPO	CT-20-06	TIME ESTIMADO	Horas
MARCA	ATLAS COPCO	MECÁNICO	
INICIO		FECHA	
FIN		HORÓMETRO	

ACTIVIDADES PRELIMINARES AL MANTENIMIENTO		OBSERVACIÓN
1	Llenar ATS	
2	Usar equipo de protección personal	
3	Ubicar equipo de forma estable	
4	Apagar equipo	
5	Realizar bloqueo (candado y tarjeta de bloqueo)	
6	Aplicar bloqueos y/o rótulos individuales a los controles, interruptores, válvulas y otros dispositivos	
7	Acordone el área de trabajo con cinta y conos de seguridad	

REPUESTOS	Código EDP	Número de Parte	Unit	Cantidad	(✓)
1			Kit	1	
2			Pza	2	
3			Pza	2	
4			Pza	2	
5			Pza	1	
6			Pza	1	
7			Pza	1	
8			Pza	1	
9			Pza	1	
10			Pza	1	
11			Pza	1	
12			Pza	1	
13			Pza	1	
14			Pza	1	
15			Pza	1	
16			Pza	2	
17			Kit	1	

MATERIALES E INSUMOS	Código EDP	Número de Parte	Unit	Cantidad	(✓)
1	ED202000043		Kg	2	
2	ED204000034	EP-2	lb	10	
3		FF 5580	Pza	1	
4		WF 2073	Pza	1	
5		FS 19728	Pza	1	
6		LF 9009	Pza	1	
7		15W-40	gl	5	
8		AF4553M	Pza	1	
9		AF4554M	Pza	1	
10	ED204000031	NEROPA 220	gl	7	
11		HF 6056	Pza	1	
12			Pza	1	
13		8231107948	Pza	1	
14		15W-40	gl	1	
15	ED204000031	NEROPA 220	gl	3	

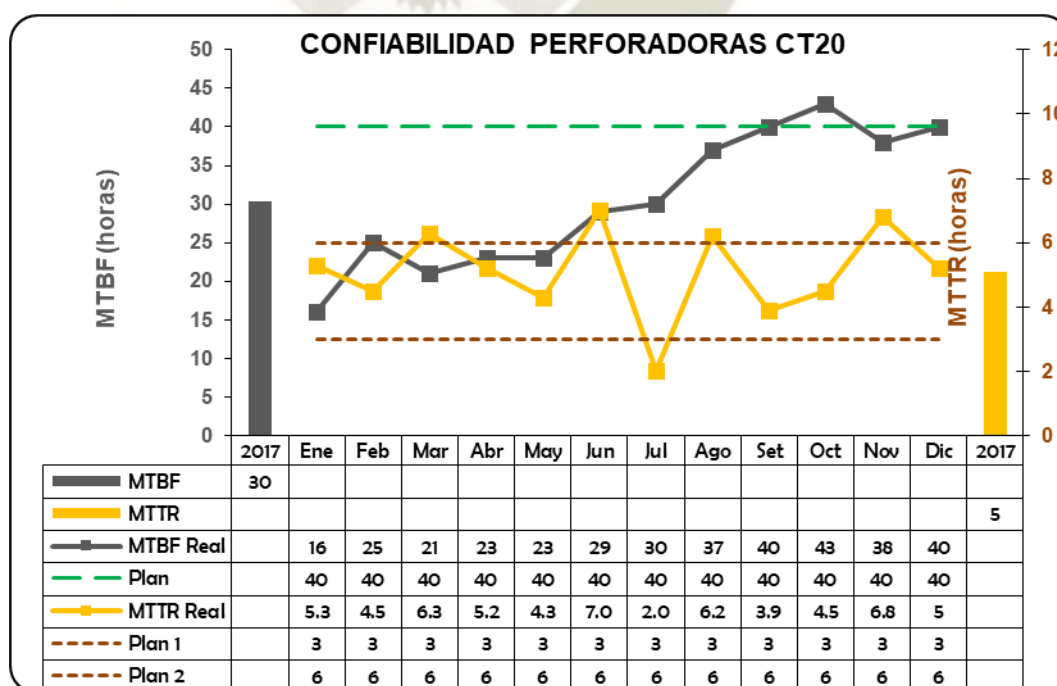
HERRAMIENTAS	Código EDP	Número de Parte	Unit	Cantidad	(✓)
1					

DESARROLLO DE LA ACTIVIDAD	REALIZADO (✓)	V. ENCONTRADO	RECOMENDACIÓN
Unidad de potencia			
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
Unidad de rotación			
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
Sistema hidráulico			
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
Castillo			
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
Sistema eléctrico			
1			
2			
3			
4			
Sistema de agua			
1			
2			
3			
4			

4.16 Resultados

- Se puede apreciar que el tiempo medio entre fallas, aumento de 26 a 30 horas, lográndose aumentar la confiabilidad de la flota de perforadoras Atlas Copco CT20 en 4 horas, que equivale a un incremento del 13% en la confiabilidad.
- Este incremento de 4 horas en promedio del año, tuvo un comportamiento de crecimiento lineal, alcanzando su mejor punto de desempeño en 43 horas de tiempo medio entre fallas, después de transcurrido 12 meses desde el inicio del proyecto.
- Una parte muy importante para conseguir resultados en la implementación de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad es el entrenamiento y capacitación constante al personal de mantenimiento, operaciones, logística y finanzas en los conceptos de la metodología del MCC.
- En la relación de los indicadores MTTR Y MTBF se puede apreciar que se incrementó el MTTR en una hora en promedio y el MTBF en 4 horas en promedio, guardando una relación entre el tiempo de mantenimiento y el aumento de la confiabilidad.

Figura 27: MTBF y MTTR de perforadora Atlas Copco CT20



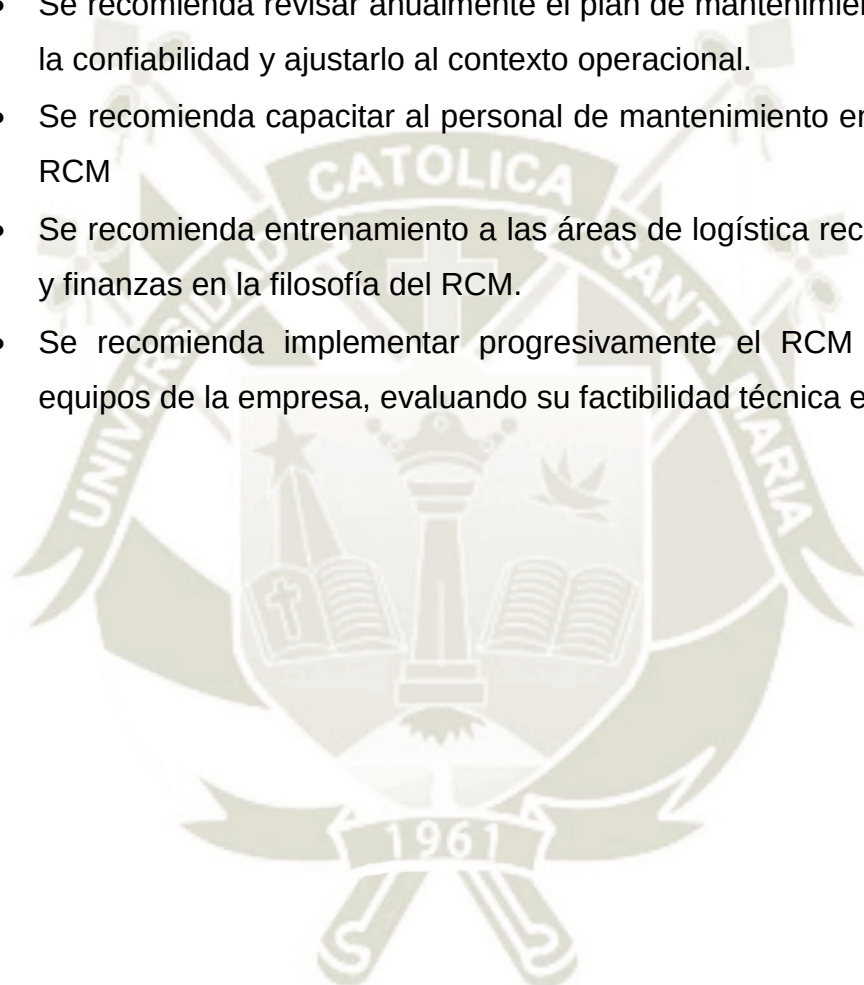
Fuente: Gestión de mantenimiento Explo Drillin Perú

Conclusiones

- Se concluye que al diseñar un plan de mantenimiento usando la filosofía de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad se logra mejorar el MTBF en un 13%, de la flota de perforadoras Atlas Copco CT20 en la empresa Explo Drilling.
- En el diagnóstico de la situación actual del mantenimiento de la flota de perforadora Atlas Copco CT20 de la empresa Explo Drilling, se encontró que el actual plan de mantenimiento no es controlado y está en base a un estándar que no está de acuerdo al contexto operacional y no se cuenta con herramientas especializadas para el diagnóstico y monitoreo de condiciones que prevengan fallas imprevistas, por ello se concluye que la actual línea base del mantenimiento está dada en base a estrategias de mantenimiento correctivo y muy poco en base a estrategias de mantenimiento preventivo y que es necesario realizar un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad que incremente la confiabilidad dada por el MTBF.
- Al determinar la criticidad de los sistemas de la perforadora Atlas Copco CT20 de la empresa Explo Drilling, se encontraron como críticos los sistemas de potencia, sistema de rotación y el sistema hidráulico
- Al realizar el análisis funcional de cada sistema de la perforadora Atlas Copco CT20 de la empresa Explo Drilling, es fundamental para la elaboración del plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad, de ello depende el determinar las funciones principales y funciones secundarias de forma de poder priorizar el monitoreo de condiciones en función al impacto a la seguridad operacional dependiendo de la pérdida parcial o total de la función del sistema o subsistema.
- Al realizar el análisis de modos y efectos de falla modificado FMEAC, de las perforadoras Atlas Copco CT20 para establecer modos de falla importantes, nos permitirá discriminar, priorizar y asignar tareas por especialidad y frecuencia para su atención oportuna de forma de prevenir paradas imprevistas y por ende disminuir las pérdidas.

Recomendaciones

- Se recomienda seguir utilizando el plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad diseñado en este trabajo.
- Se recomienda seguir monitoreando y levantando data de los eventos de falla para controlar la gestión del mantenimiento con el cálculo de los KPI principales.
- Se recomienda revisar anualmente el plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad y ajustarlo al contexto operacional.
- Se recomienda capacitar al personal de mantenimiento en la filosofía del RCM
- Se recomienda entrenamiento a las áreas de logística recursos humanos y finanzas en la filosofía del RCM.
- Se recomienda implementar progresivamente el RCM en los demás equipos de la empresa, evaluando su factibilidad técnica económica.

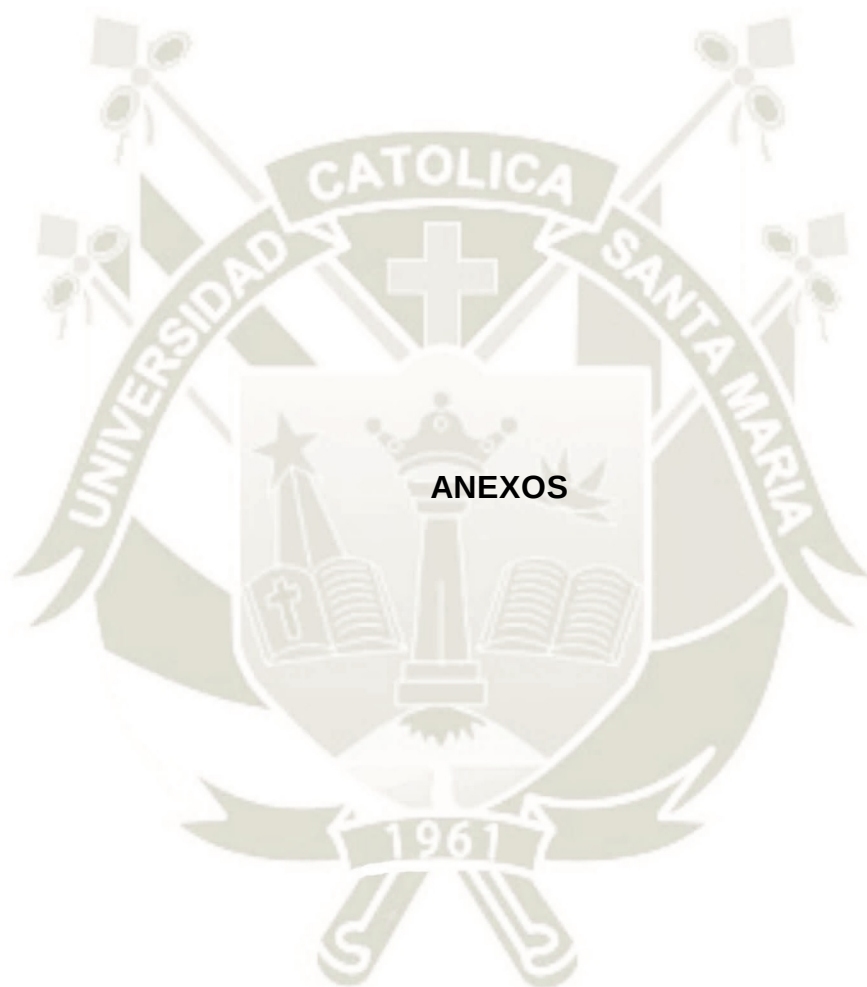


4.17 Fuentes de información

4.17.1 Referencias bibliográficas

- Duffua, Salih. **Sistemas de mantenimiento planeación y control**. Versión 2009. Mexico D.F., Ed. Limusa Wiley, 2009, 420 pp. (Duffua, 2009)
- Parra, Carlos y Crespo, Adolfo. **Ingeniería de Mantenimiento y fiabilidad aplicada a en la gestión de activos**. Sevilla España, Ed. INGEMAN Asociación para el Desarrollo de la Ingeniería de Mantenimiento, 2012, 260 pp.
- Moubray John. **Mantenimiento Centrado en Confiabilidad**. 2^{da} ed. Asheville, North Carolina, USA, Ed. Aladon LLC, 2004, 450 pp.
- Pascual, Rodrigo. **El Arte de Mantener**. 2^{da} Ed. Santiago, Chile, Ed. Dpto. Ing. Mecánica, U. de Chile, octubre 2007, 1203 pp.
- Knezevic, Jezdimir. **Mantenimiento**. Madrid España, Ed. Closas Orcoyen S.L., 1996, 2011 pp.
- Mather, Daryl. **The Maintenance Scorecard Creating Strategic Advantage**. New York Estados Unidos, Ed. Industrial Press, Inc.; Febrero 2005, 258pp.
- Jardine, Andrew y Tsang, Albert **Maintenance, Replacement, and Reliability**. Estados Unidos, Ed. CRC Press, Taylor & Francis Group, 2006, 322 pp.
- Gutiérrez, Humberto y De La Vara, Román. **Control Estadístico De La Calidad Y Seis Sigma**. México, Ed. Edamsa Impresiones S.A. de C.V., 2009, 482 pp.
- Caballero, Alejandro. **Metodología Integral Para Planes Y Tesis**. Lima Perú, Ed. Instituto Metodológico Alen Caro E.I.R.L., 2011, 623 pp.
- D. Marc Gardella González. Tesis Doctoral **Mejora de metodología RCM a partir del AMFEC e Implantación de mantenimiento preventivo y predictivo en plantas De procesos**, España.
- Verónica Cecilia Canchica Corzo. Trabajo de investigación **Diseño de un plan de mantenimiento basado en la metodología del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad para flotas de equipos de carga Palas Hidráulicas O&K de la mina PASO DIABLO DE CARBONES DEL GUASARE SA**, Venezuela.

- Randall Rojas Barahona. Trabajo de investigación **Plan para la implementación del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC) para plantas de concreto en proyectos del ICE**, (Costa Rica).
- Martín Da Costa Burga. Tesis **Aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad a motores a gas de dos tiempos en pozos de alta producción**, Perú.
- SAE JA1011. **Norma para vehículos aeroespaciales y de superficie**, que describe los criterios mínimos que cualquier proceso debe seguir para ser llamado Mantenimiento Centrado en Confiabilidad.
- SAE JA1012. **Guía práctica para para la Norma SAE JA1011 de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC)**. Esta guía amplifica, y donde es necesario clarifica, los conceptos claves y términos, especialmente aquellos que son únicos para MCC.
- PAS 55-2008. **Norma de la ISO 55000** que reúne una serie de requerimientos para la gestión de activos.
- Norma ISO 14224-2004. Petroleum, petrochemical and natural gas industries — Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment
- Norma Europea EN 15341: 2007. Norma de indicadores clave de mantenimiento, España.
- En la norma europea EN 13306, 2011, Norma de terminología de mantenimiento, España.
- Christensen core drilling rig Atlas Copco Exploration Products NSTALLATION, MAINTENANCE AND SERVICE MANUAL. Copyright 2005 PACCAR Winch Division. All rights reserved.
- Christensen core drilling rig Atlas Copco Exploration Products Safety and Operating instructions. © 2011 Atlas Copco Craelius AB | No.6991 5092 01b | 2011-03-23.
- Christensen core drilling rig Atlas Copco Exploration Products CT20 Spare parts list. © 2011 Atlas Copco Craelius AB | No.6991 5093 62 | 2011-05-04.
- Revista de Mantenimiento - Chile - N°32 - Año 2000-ISS0716-8616) Lourival Augusto Tavares”.
- Página Web, Explo Drilling Perú <http://www.explodrillingperu.pe/nuestra-empresa.html>



Anexo 1: Plan de tesis

UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA

ESCUELA DE POST GRADO

ÁREA DE CIENCIAS E INGENIERIAS

MAESTRIA EN INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO



PLAN DE TESIS

**DISEÑO DE UN PLAN MANTENIMIENTO BASADO EN LA
METODOLOGÍA DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA
CONFIABILIDAD PARA PERFORADORAS ATLAS COPCO CT20
PARA LA EMPRESA EXPLODRILLING**

**PRESENTADO POR
INGENIERO JOSÉ ANTONIO NAYHUA GAMARRA**

**PARA OBTAR EL GRADO DE
MAGISTER EN INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO**

AREQUIPA-PERÚ

2016

CAPÍTULO I

1. PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO

1.1 Descripción de la realidad problemática

Explo Drilling es una empresa ubicada en el distrito de Paucarpata, provincia de Arequipa, departamento de Arequipa, dicada a brindar servicios de perforación diamantina para proyectos de exploración minera.

Explo Drilling, inició sus operaciones en el año 2006; realizando trabajos en diferentes unidades mineras del país brindando el servicio con óptimos resultados en la perforación como en los índices de seguridad.

La perforación diamantina permite extraer los testigos que dan la información del yacimiento a distintas profundidades, llegándose a perforar profundidades de hasta 1000 metros. Los testigos se cortan transversalmente (La mitad del testigo por ley es del Estado Peruano y teóricamente debe retornar al Estado cuando suceda el cierre de mina al final de ciclo de vida de las operaciones mineras).

Los resultados de regreso permitirán alimentar la base de datos del proyecto y las conclusiones que se obtengan son las que permiten definir el valor del mismo en el mercado.

Los costos de perforación diamantina en el Perú, varían entre 90 \$/m y 125 \$/m, según la profundidad de perforación, el número de metros totales contratados y de las facilidades operativas o dificultades que el terreno pueda presentar.

Para brindar el servicio de perforación Diamantina, Explo Drilling utiliza múltiples equipos entre ellos, perforadoras Atlas Copco CT20, que resultan ser críticas en el análisis de criticidad y contrata personal de la ciudad de Arequipa y de las comunidades donde se desarrolla la exploración.

Las perforadoras Atlas Copco CT20 trabajan las 24 horas del día los 7 días de la semana. Una perforadora debe perforar 80m/día en promedio.

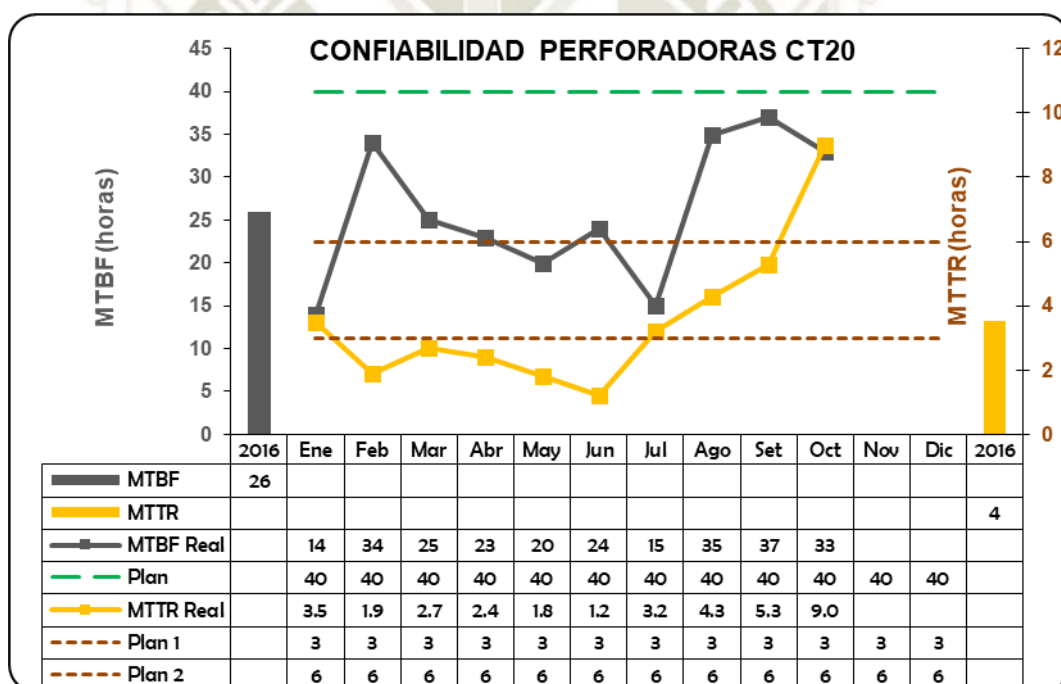
La empresa utiliza Indicadores Clave de desempeño (KPI's) de mantenimiento como se detalla:

- Disponibilidad = 90.7%
- Tiempo medio para reparar (*MTTR Mean Time To Restore*): entre 3 y 6 horas
- Tiempo medio entre fallas (*MTBF Mean Time Between Failures*): 40 horas.

En la evaluación del desempeño de la perforadora Atlas Copco CT20, se pudo observar los siguientes resultados:

- Disponibilidad de 80%.
- Se puede apreciar que el tiempo medio entre fallas es de 26 horas, lo que quiere decir que tienen baja confiabilidad, en promedio los cargadores fallan de forma imprevista cada 26 horas.

Figura 28: MTBF y MTTR de perforadora Atlas Copco CT20



Si no se corrigen pronto estos problemas se podrán agravar y generar:

- Deterioro prematuro de los equipos y sus principales componentes y por ende la disminución de su vida útil.
- Incumplimiento de los mantenimientos programados por atender fallas imprevistas.
- Incremento de los costos por compra de repuestos y contratación de mano de obra

- Incremento de los costos de mantenimiento y por ende los costos operativos.
- Incumplimiento de los niveles de producción por equipos inoperativos.
- Pérdidas económicas por equipos detenidos y operadores, ya que no se les utiliza durante el periodo que dura la falla.
- Disminución de las ganancias de los accionistas, porque no se cumplen las metas de producción.

1.2 Formulación del problema

1.2.1 Problema general

¿Cómo diseñar un plan de mantenimiento usando la metodología de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad para mejorar el MTBF de la flota de perforadoras Atlas Copco CT20 en la empresa Explo Drilling?

1.2.2 Problemas específicos

- ¿Cuál es la situación actual del mantenimiento de la flota de perforadora Atlas Copco CT20 de la empresa Explo Drilling?
- ¿Cómo realizar el análisis funcional de cada sistema de la perforadora Atlas Copco CT20 de la empresa Explo Drilling?
- ¿Cómo determinar la criticidad de los sistemas de la perforadora Atlas Copco CT20 de la empresa Explo Drilling?
- ¿Cómo realizar el análisis de modos y efectos de falla modificado FMEAC?
- ¿De qué manera se establecerán las estrategias de mantenimiento para los sistemas de la perforadora Atlas Copco CT20?

1.3 Objetivo de la investigación

1.3.1 Objetivo general

Diseñar un plan de mantenimiento usando la metodología de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad para mejorar el MTBF de

la flota de perforadoras Atlas Copco CT20 en la empresa Explo Drilling.

1.3.2 Objetivos específicos

- Diagnosticar la situación actual del mantenimiento de la flota de la flota de perforadora Atlas Copco CT20 de la empresa Explo Drilling, para establecer la línea base del mantenimiento.
- Realizar el análisis funcional de cada sistema de la perforadora Atlas Copco CT20 de la empresa Explo Drilling, para establecer las funciones de cada sistema.
- Determinar la criticidad de los sistemas de la perforadora Atlas Copco CT20 de la empresa Explo Drilling, para establecer el orden de prioridad para el diseño de las estrategias de mantenimiento.
- Realizar el análisis de modos y efectos de falla modificado FMEAC, de los sistemas de la perforadora Atlas Copco CT20 para establecer los modos de falla importantes.
- Establecer las estrategias de mantenimiento para los sistemas de la perforadora Atlas Copco CT20 en la empresa Explo Drilling.

1.4 Hipótesis

1.4.1 Hipótesis general

Un plan de mantenimiento usando la metodología del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, aumentará el MTBF de la flota de perforadoras Atlas Copco CT20 de la empresa Explo Drilling.

1.4.2 Hipótesis específicas

- El realizar el diagnostico la situación actual del mantenimiento de la flota de perforadoras Atlas Copco CT20 de la empresa Explo Drilling, permitirá establecer la línea base del mantenimiento.
- EL realizar el análisis funcional de cada sistema de la perforadora Atlas Copco CT20 de la empresa Explo Drilling, permitirá establecer las funciones de cada sistema.
- Al determinar la criticidad de los sistemas de la perforadora Atlas Copco CT20 de la empresa Explo Drilling, permitirá establecer el

orden de prioridad para el diseño de las estrategias de mantenimiento.

- El realizar el análisis de modos y efectos de falla modificado FMEAC, de los sistemas de la perforadora Atlas Copco CT20 de la empresa Explo Drilling, permitirá establecer los modos de falla importantes y las estrategias de mantenimiento.

1.5 Variables e Indicadores

1.5.1 Variable Independiente

Plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad.

1.5.2 Variable Dependiente

MTBF de perforadora Atlas Copco CT20 de la empresa Explodrilling.

1.6 Factibilidad de la investigación

1.6.1 Factibilidad económica

El desarrollo se realizará como parte de las actividades propias del cargo en horario de trabajo y en horario fuera de trabajo con costo a cargo del investigador.

Las consultas o participación de los colaboradores del área se realizarán dentro de su horario de trabajo.

Se contará con el material necesario para la investigación ya que son parte de las funciones del área de mantenimiento el analizar interpretar los KPI's dentro del marco de mejora continua.

La investigación resultara viable por no requerir presupuesto adicional al asignado al área, ni apoyo económico externo.

1.6.2 Factibilidad técnica

Para el desarrollo del proyecto se contará con una computadora portátil (*Laptop*) con acceso a internet, en la que se registrará, almacenará y procesará la información obtenida en cada etapa del desarrollo.

Se contará con el software Minitab 16 y el paquete básico de office.

Se recopilará la data del sistema Dispatch que almacena el historial de eventos de la flota con lo cual se validó los indicadores actuales.

Todas estas necesidades técnicas serán cubiertas ya que son parte del puesto de trabajo, por lo que técnicamente la investigación resultará viable.

1.7 Justificación en importancia de la investigación

1.7.1 Justificación

Se justifica esta investigación por que se espera con el diseño de del plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad, dar solución a la baja confiabilidad de la flota de perforadora Atlas Copco CT20 de la empresa Explo Drilling, impactando positivamente en la disponibilidad.

1.7.2 Importancia

Es importante porque con el diseño del plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad se busca mejorar la disponibilidad de las perforadoras Atlas Copco CT20 y con ello:

- Eliminar el deterioro prematuro de los equipos, sus principales componentes y aumentar su vida útil.
- Cumplir con los mantenimientos programados.
- Disminuir los costos mantenimiento en compra de repuestos y contratación de mano de obra y por ende reducir los costos operativos.
- Cumplir con los niveles de producción planificados por la compañía.
- Reducir las pérdidas económicas por que se disminuirá los tiempos de equipos detenidos y operadores, por la disminución de fallas imprevistas.
- Aumentar las ganancias de los accionistas, porque se cumplen las metas de producción.

1.8 Tipo y Nivel de la Investigación

1.8.1 Tipo de investigación

El tipo de investigación es aplicada. Se utilizó conocimiento pre existente en cuanto a eventos de falla y data histórica registrada en los sistemas de gestión de mantenimiento y operaciones.

1.8.2 Nivel de investigación

El nivel de investigación es correlacional, se busca aceptar o rechazar la hipótesis del efecto de una variable independiente sobre una dependiente.

1.9 Método y diseño de la investigación

1.9.1 Diseño de la investigación

No experimental transversal, con registro de datos que ocurrieron en el pasado y uso de información ya existente.

1.10 Técnicas e instrumentos de recolección de información

1.10.1 Técnicas.

Se utilizó la inspección de registros, análisis documental y entrevistas grupales, como técnica para la recopilación de datos las cuales ayudaron a asegurar la investigación.

1.10.2 Instrumentos.

Eventos de fallas y órdenes de trabajo, reportes de indicadores clave de desempeño (KPI's) de la flota y estadística descriptiva.

Para el procesamiento de datos se utilizó estadística descriptiva.

1.11 Cobertura de Estudio

1.11.1 Universo

Estuvo dado por los equipos que se utiliza en la empresa Explo Drilling para brindar el servicio de perforación Diamantina.

1.11.2 Muestra

Se eligieron las unidades maestras teniendo en cuenta criterios de selección por inclusión, donde quedan incluidas en la muestra, todos los equipos que en el análisis de criticidad hayan sido calificados como equipos con alta criticidad. Por tanto, la muestra estará dada por la flota de perforadoras Atlas Copco CT20.

1.12 Cronograma y Presupuesto:

1.12.1 Cronograma.

Tabla 22: Cronograma de actividades

Actividades	Plan de tesis			Desarrollo del Trabajo de Tesis		
	Tiempo (Meses)					
	1	2	3	4	5	6
Búsqueda de información	X					
Definición del tema	X					
Título		X				
Problema		X				
Objetivos		X				
Marco teórico.		X	X			
Presentación del plan de tesis			X			
Aprobación del plan de tesis			X			
Recopilación de datos				X		
Informe final de Tesis				X		
Procesamiento de la información				X		
Análisis y Resultados					X	
Conclusiones					X	
Presentación de tesis						X
Aprobación de tesis						X
Sustentación de tesis						X

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación

2.1.1 D. Marc Gardella González (España)

En su tesis Doctoral “Mejora de metodología RCM a partir del AMFEC e Implantación de mantenimiento preventivo y predictivo en plantas De procesos”, plantea premisas básicas sobre la implantación de Mantenimiento Preventivo y Predictivo en industrias de Proceso, gracias al desarrollo y personalización de la metodología RCM a partir del AMFEC, con objeto de optimizar la fiabilidad de los activos industriales. Se basa en la obra de John Moubray, del RCM en 7 preguntas. Los métodos de cálculo de criticidades, denotan la oportunidad de desarrollo de métodos de cálculo donde se tengan en cuenta multitud de variables.

Su investigación busca definir un protocolo para la implantación de mejoras aportadas a la metodología MCC a través del AMFEC y Mantenimiento Preventivo y Predictivo; estructurar los equipos o activos de estudio por sistemas y grupos de sistemas; desarrollar exhaustivos métodos de cálculo de criticidades, sistematizar la base de datos de modos de fallos para facilitar la realización de AMFEC's; desarrollar un sistema de valoración del riesgo del modo de fallo (NPR) de forma concreta, por tipologías de equipo y además variables en función de cambios en variables técnicas y de operación; diseñar sistemas de medición de frecuencias de fallos por tipologías de equipos; facilitar el diseño del plan de Mantenimiento Preventivo por intervenciones, tipologías de equipos y frecuencias de actuación; y definición de dos nuevos indicadores de gestión, número de incidencias y costes asociados, para controlar la repetición de su aparición en activos de industrias de procesos en Mantenimiento Correctivo.

2.1.2 Verónica Cecilia Canchica Corzo (Venezuela)

En su trabajo de investigación “Diseño de un plan de mantenimiento basado en la metodología del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad para flotas de equipos de carga Palas Hidráulicas O&K de la mina PASO DIABLO DE CARBONES DEL GUASARE SA”, plantea aumentar la disponibilidad de equipos de carguío y mejorar su desempeño en el proceso de extracción de material estéril y con ello una reducción en los costos operativos.

Realiza el análisis funcional de palas y sus sistemas usando diagramas de “Entrada-función-salida” y aunque no define la metodología del análisis de criticidad que realizó, registra variables los criterios que tomo en cuenta para el análisis de criticidad.

2.1.3 Randall Rojas Barahona (Costa Rica)

En su trabajo de investigación “Plan para la implementación del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC) para plantas de concreto en proyectos del ICE”, plantea establecer un plan de implementación del MCC, que sirva como guía a los demás proyectos que utilicen estos activos. En base a las nueve áreas de conocimiento que plantea el PMI, se enfoca en el equipo de trabajo multidisciplinario, información técnica necesaria y juicio experto como factores clave para el éxito del proyecto.

Además, busca elaborar el manual de MCC, donde incluye: listas de chequeo diario para el operador, así como mejorar los instructivos de mantenimiento preventivo actual, lista de repuestos y consumibles.

2.1.4 Martín Da Costa Burga

En su investigación de "Aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad a motores a gas de dos tiempos en pozos de alta producción", contempla no solamente el estudio del equipo como tal sino de los subsistemas que lo conforman y la interacción con el entorno físico que lo rodea.

Anexo N° 02: Matriz de Consistencia

	Problema	Objetivo	Hipótesis	Variables	Métodos	Técnicas	Instrumento
General	¿Cómo diseñar un plan de mantenimiento En base al MCC para aumentar el MTBF de la flota de perforadora Atlas Copco CT20 en la empresa Explo Drilling?	Diseñar un plan de mantenimiento en base al RCM para aumentar el MTBF de la flota de perforadora Atlas Copco CT20 de la empresa Explo Drilling.	El diseño un plan de mantenimiento en base al RCM, aumentará el MTBF de la flota de perforadora Atlas Copco CT20 de la empresa Explo Drilling.				
Específicos	¿Cuál es el diagnóstico de la situación actual del mantenimiento de la flota de perforadora Atlas Copco CT20 de la empresa Explo Drilling?	Diagnosticar la situación actual del mantenimiento de la flota de la flota de perforadora Atlas Copco CT20 de empresa Explo Drilling, para establecer la línea base del mantenimiento.	•El realizar el diagnostico la situación actual del mantenimiento de la flota de la flota de perforadora Atlas Copco CT20 de la empresa Explo Drilling, permitirá establecer la línea base del mantenimiento.	Variable Independiente Diseño de Plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad. Variable dependiente MTBF de la flota de perforadora Atlas Copco CT20.	Diseño de la investigación No experimental transversal, con registro de datos que ocurrieron en el pasado y uso de información ya existente. Tipo de investigación El tipo de investigación es aplicada. Se utilizó conocimiento pre existente en cuanto a eventos de falla y data histórica. Nivel de investigación El nivel de investigación es correlacional, se busca aceptar o rechazar la hipótesis del efecto de una variable independiente sobre una dependiente. Universo Flota de equipo pesado que se utiliza en operaciones en la Empresa Explo Drilling.	Análisis Documental Se utilizó la inspección de registros, análisis documental y entrevistas grupales, como técnica para le recopilación de datos las cuales ayudaron a asegurar la investigación.	Eventos de fallas y órdenes de trabajo Reportes de indicadores clave de desempeño (KPI's) de la flota Para el procesamiento o de datos se utilizó estadística descriptiva.
	¿Cómo realizar el análisis funcional de cada sistema de la perforadora Atlas Copco CT20 de la empresa Explo Drilling?	Realizar el análisis funcional de cada sistema de la perforadora Atlas Copco CT20 de la empresa Explo Drilling, para establecer las funciones de cada sistema.	•EL realizar el análisis funcional de cada sistema de la perforadora Atlas Copco CT20 de la empresa Explo Drilling, permitirá establecer las funciones de cada sistema.				
	¿Cómo determinar la criticidad de los sistemas de la perforadora Atlas Copco CT20 de la empresa Explo Drilling?	Determinar la criticidad de los sistemas de la perforadora Atlas Copco CT20 de la empresa Explo Drilling, para establecer el orden de prioridad para el diseño de las estrategias de mantenimiento.	•Al determinar la criticidad de los sistemas de la perforadora Atlas Copco CT20 de la empresa Explo Drilling, permitirá establecer el orden de prioridad para el diseño de las estrategias de mantenimiento.				
	¿Cómo realizar el análisis de modos y efectos de falla modificado FMEAC?	Estimar la confiabilidad mediante un modelo paramétrico a los sistemas y/o componentes críticos.	•El realizar el análisis de modos y efectos de falla modificado FMEAC, de los sistemas de la perforadora Atlas Copco CT20 de la empresa Explo Drilling, permitirá establecer los modos de falla importantes.				
	¿De qué manera se establecerán las estrategias de mantenimiento para los sistemas de la perforadora Atlas Copco CT20 en la empresa Explo Drilling?	Realizar el análisis de modos y efectos de falla modificado FMEAC, de los sistemas de la perforadora Atlas Copco CT20 para establecer los modos de falla importantes.	•El realizar el análisis de modos y efectos de falla modificado FMEAC, de los sistemas de la perforadora Atlas Copco CT20 de la empresa Explo Drilling, permitirá establecer los modos de falla importantes.				

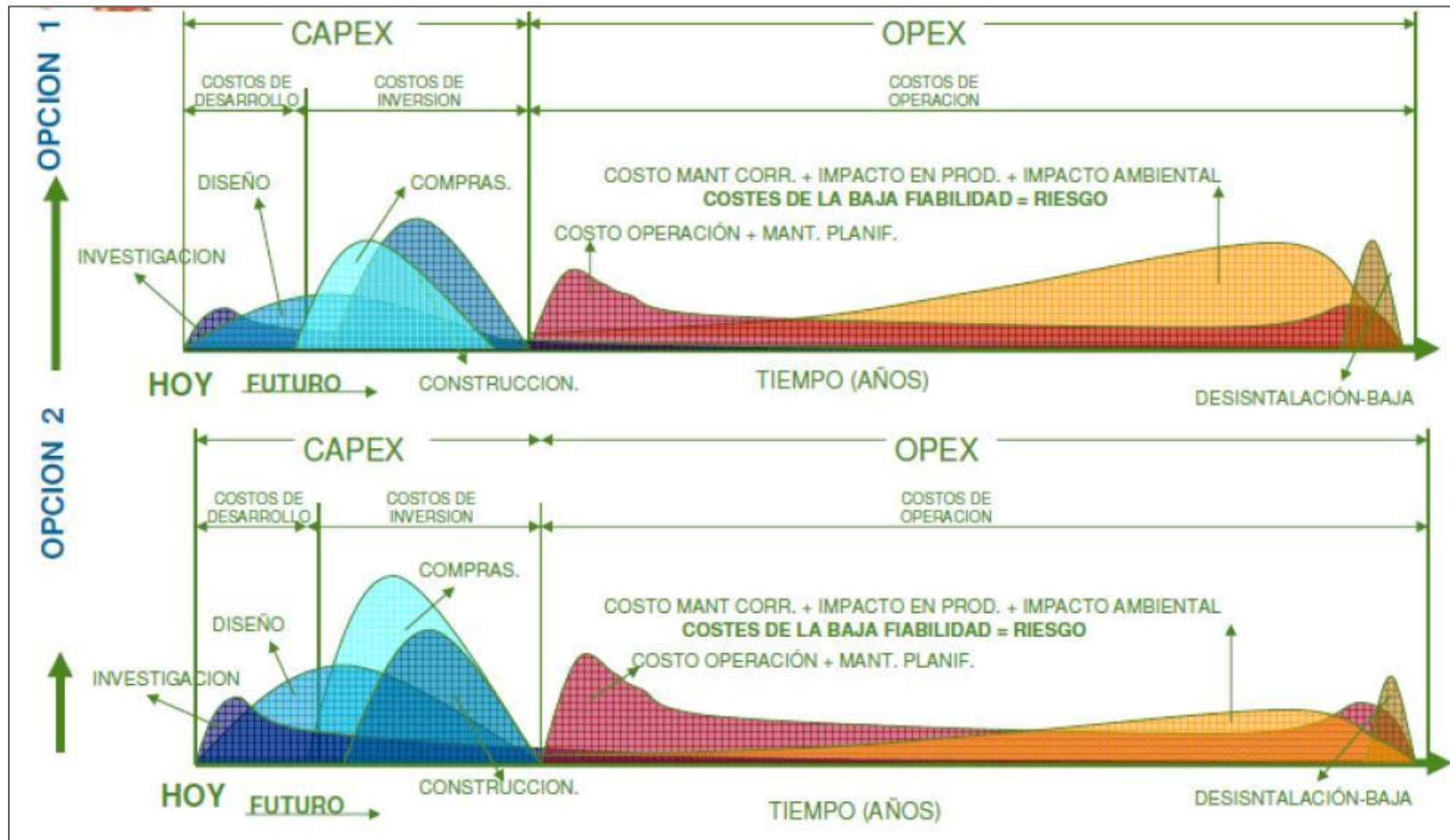
Anexo N° 03: Hoja de información RCM

HOJA DE
INFORMACIÓN
RCMII
© 1998 ALADON LTD

SISTEMA	Turbina a gas de 5MW	SISTEMA N°	216 - 05	Facilitador:	N Smith	Fecha	07 - 07 - 1998	Hoja N°	1
SUBSISTEMA	Sistema de Escape	SUBSISTEMA N°	216 - 05 - 11	Auditor:	P Jones	Fecha	07 - 08 - 1998	de	3

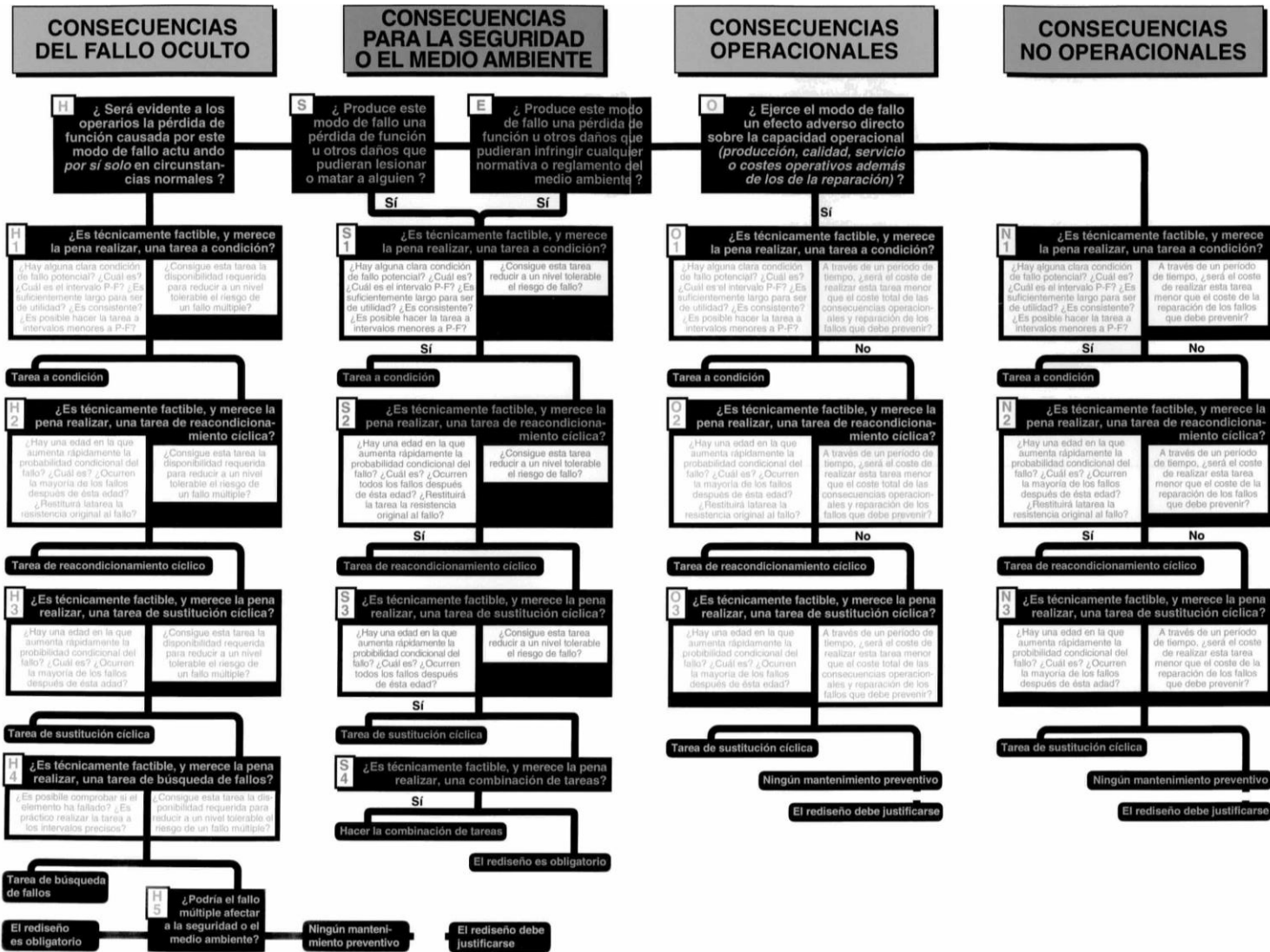
FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL (Pérdida de función)	MODO DE FALLA	EFFECTO DE FALLA (Qué sucede cuando se produce una falla)
1	Conducir sin restricciones todos los gases calientes de la turbina hasta un punto fijado a 10 metros encima del techo de la sala de turbinas.	A. Incapaz de canalizar los gases	1 Montantes del silenciador corroidos	El ensamble del silenciador colapsa y cae al fondo del conducto. La contrapresión hace que la turbina se acelere violentamente y separe a una alta temperatura de escape. Tiempo de parada de máquina para reemplazar el silenciador, hasta cuatro semanas.
		B. Flujo de gases restringido	1 Se desprende parte del silenciador por fatiga	Según la naturaleza del atasco, la temperatura de escape puede subir hasta parar la turbina. Partículas de deshecho sueltas podrían dañar partes de la turbina. Tiempo de parada de máquina para reparar el silenciador, 4 semanas.
		C. No puede contener los gases	1 Se agujerea la junta flexible por corrosión	La junta flexible está dentro de la campana de la turbina, de modo que la mayor parte de la fuga de los gases de escape sería evacuada por el sistema de extracción de la campana. No es probable que los mecanismos existentes de detección de incendio y gases dentro de la campana detecten una fuga de gases de escape, y es improbable que la temperatura suba lo suficiente como para hacer disparar la alarma defectora de fuego. Una pérdida grave puede hacer que se sobrecaliente el separador de partículas sólidas y líquidas en los gases, así como fundir la alarma de control situada cerca de la fuga, con consecuencias imprevisibles. Los equilibrios de presión dentro de la campana son tales que es probable que poco, o ningún, gas pueda escapar por una fuga pequeña, de manera que es posible que no se detecte una fuga pequeña por el olfato o el oído. Tiempo de parada de máquina para reemplazar la junta, hasta 3 días.
			2 Junta del conducto colocada incorrectamente	Los gases se fugan al interior de la sala de turbinas y la temperatura ambiente sube. El sistema de ventilación de la sala de turbinas evacuaría los gases a través de las rejillas a la atmósfera, por lo cual se considera poco probable que la concentración de gases de escape alcance niveles nocivos. Una fuga pequeña en este punto puede ser audible. Tiempo de parada de máquina para reparar, hasta 4 días.
			3 Fuelle superior agujereado por corrosión	Los fuelles superiores están situados fuera de la sala de turbinas, de manera que los gases procedentes de una fuga aquí se dispersarían a la atmósfera. Puede que suba el nivel de ruido del ambiente. Tiempo de parada de máquina para reparar, hasta 1 semana.
			1 Bulones de montaje de la chimenea de escape cortados por oxidación	Probablemente la chimenea comience a inclinarse, y sea sostenida por los cables de anclaje por un tiempo, antes de derumbarse. Si cayera, existe una gran posibilidad de que dañe una estructura ocupada por personas. Tiempo de parada de máquina para reparar, entre varios días y varias semanas.
2	Reducir el nivel de ruido del escape a Nivel de Ruido 30 de ISO, a 50 metros	D. No puede transportar los gases a un punto situado a 10 metros encima del techo	2 Chimenea de escape demorada por vientos fuertes	La estructura del conducto está diseñada para soportar vientos de hasta 350 Km/h, por lo que solo tiene posibilidades de caerse durante una tormenta si los cables de anclaje han sido debilitados, quizá por corrosión. De ocurrir, podría caer sobre un módulo de viviendas. Tiempo de parada de máquina para reparar, hasta varias semanas.
			1 Malla de retención de material del silenciador corroida	La mayoría del material se volaría hacia afuera, pero es posible que parte de él caiga al fondo del conducto y obstruya la salida de la turbina, causando una alta temperatura de gases de escape y posible interrupción en el servicio de la turbina. Los niveles de ruido subirían progresivamente. Tiempo de parada de máquina para reparar, alrededor de 2 semanas.
			2 Fugas del conducto fuera de la sala de turbinas	..., etc.

Anexo N° 04 Ciclo de vida del activo

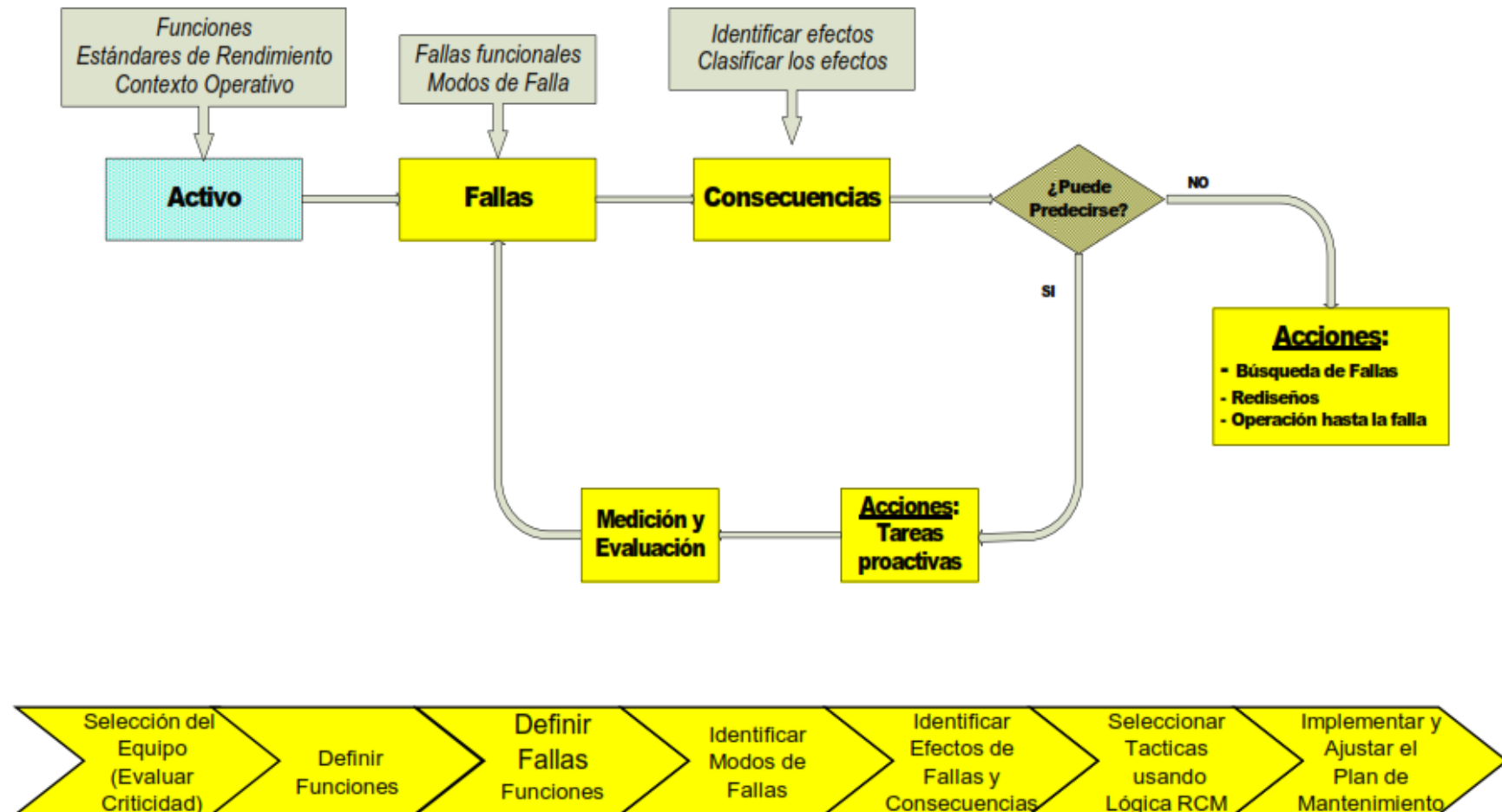


Fuente: Norma ISO 15663-1

Anexo N° 05: Diagrama de decisión RCM



Anexo N° 06: Flujo del proceso de implementación del RCM



Anexo N° 07 Taxonomía del activo

14224

© ISO 2004 — All rights

© ISO 2004 — All rights reserved

ISO/DIS 14224

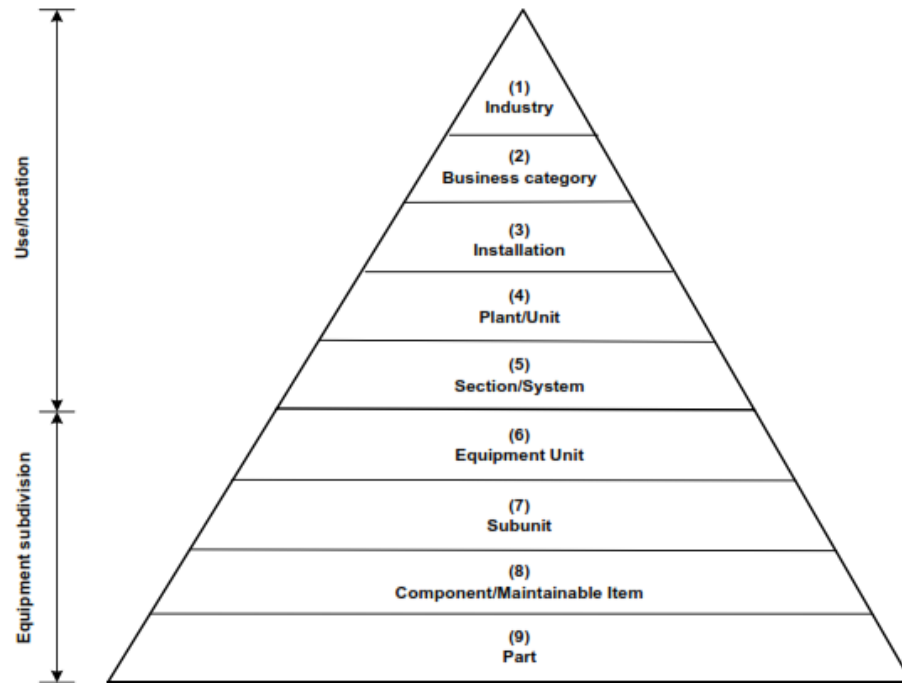


Figure 4 — Taxonomy

Table 2 — Taxonomy examples

Main category	Taxonomy level	Taxonomy hierarchy	Definition	Examples
Use/location data	1	Industry	Type of main industry	Petroleum, Natural gas, Petrochemical
	2	Business category	The type of business or processing stream	Upstream (E&P), Midstream, Downstream (Refining), Petrochemical
	3	Installation category	The type of facility	Oil/gas production, Transportation, Drilling, LNG, Refinery, Petrochemical (see Table A.2)
	4	Plant/Unit category	Type of Plant/Unit	Platform, Semi-submersible, Hydrocracker, Ethylene cracker, Polyethylene, acetic acid plant, methanol plant (see Table A.3)
	5	Section/system	Main section/system of the plant	Compression, Natural Gas, Liquefaction, Vacuum Gas Oil, Methanol Regeneration, Oxidation Section, Reaction System, Distillation Section, Tanker Loading System (see Table A.4)
Equipment subdivision	6	Equipment (class/unit)	Class of similar <i>equipment units</i> . Each equipment class contains <i>equal equipment units</i> (e.g. compressors)	Heat Exchanger, Compressor, Piping, Pump, Boiler, Gas Turbine Extruder, Agitator, Furnace, Xmas-Tree, Blow-out Preventer (see Table A.1)
	7	Subunit	A subsystem necessary for the equipment unit to function.	Lubrication subunit, Cooling subunit, Control & Monitoring, Heating subunit, Pelletising subunit, Quenching subunit, Refrigeration subunit, Reflux subunit, Distributed control subunit
	8	Component/Maintainable Item (MI) ^a	The group of parts of the equipment unit that are commonly maintained (repaired/restored) as a whole.	Cooler, Coupling, Gearbox, Lubrication oil pump, Instrument loop, Motor, Valve, Filter, Pressure sensor, Temperature sensor, Electric circuit
	9	Part ^b	A single piece of equipment	Seal, tube, shell, impeller, gasket, filter plate, bolt, nut, etc

^a For some types of equipment, there may not be a MI. E.g., if the equipment class is Piping, there may be no MI, but the Part could be "Elbow".

^b While this level may be useful in some cases, it is considered optional in this standard.

