

MODELO DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD PARA EL
TALADRO TAPPING MACHINE PTS 3680-4 DE LA EMPRESA
REQUERIMIENTOS TÉCNICOS S.A.S. EN LA CIUDAD DE FUNZA

ANDRÉS FELIPE RAMÍREZ CRUZ

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA

2021

MODELO DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD PARA EL
TALADRO TAPPING MACHINE PTS 3680-4 DE LA EMPRESA
REQUERIMIENTOS TÉCNICOS S.A.S. EN LA CIUDAD DE FUNZA

ANDRÉS FELIPE RAMÍREZ CRUZ

Monografía de grado para optar al título de Especialista en Gerencia de
Mantenimiento

Director

Maria del Pilar Valderrama

MEng. Ingeniería Industrial

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA

2021

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por darme la oportunidad de cumplir con éxito los diferentes logros propuestos y necesarios para optar al título de Especialista en Gerencia de Mantenimiento.

A mis padres, por su incondicional apoyo en los momentos más difíciles, por todos los valores inculcados. Por ser los guías dentro de mi proceso de formación personal y profesional.

A mi familia, por enseñarme a ser trabajador y responsable. Lo que ha contribuido a que sea un mejor ser humano cada día y desarrollar un perfil profesional ético.

A la ingeniera Pilar Valderrama, por el apoyo en la elaboración de este trabajo. Sus conocimientos y experiencia en el desarrollo de la metodología RCM, fueron de gran ayuda durante este tiempo.

A Diego Tautiva, por compartir su conocimiento y experiencia con respecto al mantenimiento de los equipos de Hot Tap.

CONTENIDO

pág.

INTRODUCCIÓN	15
1. CONTEXTUALIZACIÓN	16
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	16
2. OBJETIVOS.....	18
2.1 OBJETIVO GENERAL	18
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	18
3. JUSTIFICACIÓN.....	19
4. LITERATURA COMPILADA.....	21
4.1 MARCO TEÓRICO	21
4.2 MARCO CONCEPTUAL	22
4.2.1 Mantenimiento Centrado En Confiabilidad R.C.M.....	22
4.2.2 Ventajas de implementar RCM	25
4.2.3 Funciones y sus Estándares de Funcionamiento.....	26
4.2.4 Fallas Funcionales	26
4.2.5 Modos de Falla (Causas de Falla)	27
4.2.6 Efectos de las Fallas	27
4.2.7 Consecuencias de las Fallas	28
4.2.8 Consecuencias de las fallas no evidentes	28
4.2.9 Consecuencias en la seguridad y el medio ambiente	28
4.2.10 Consecuencias Operacionales	28
4.2.11 Consecuencias que no son operacionales.....	29

4.3 TAREAS DE MANTENIMIENTO.....	29
4.3.1 Tareas “A Condición”:	30
4.3.2 Tareas de Reacondicionamiento Cíclico y de Sustitución Cíclica:	31
4.3.3. Acciones a “falta de”	32
4.4 ANÁLISIS DE CRITICIDAD	32
5. DESARROLLO DEL PLAN DE TRABAJO.....	34
5.1 SISTEMAS.....	35
5.1.1 Sistema de Transmisión.....	35
5.1.2. Sistema Hidráulico	37
5.1.3 Sistema de Potencia	38
5.2 CONDICIONES OPERACIONALES	39
5.3 APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA RCM PARA EL TALADRO TAPPING MACHINE PTS 3680-4	41
7. CONCLUSIONES	52
BIBLIOGRAFÍA.....	54
ANEXOS	56

LISTA DE CUADROS

	pág.
Cuadro 1. Severidad del efecto.....	49
Cuadro 2. Ocurrencia del efecto	50
Cuadro 3. Probabilidad de detección por control de procesos.....	50

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Diagram de Flujo. Pasos RCM	24
Figura 2. Matriz de Criticidad.	33
Figura 3. Tapping Machine 3680-4	34
Figura 4. Conjunto motriz principal	35
Figura 5. Conjunto motriz de avance y retroceso.....	36
Figura 6. Tornillo sin fin y boring bar	36
Figura 7. Conjunto Hidráulico del taladro (Mandos, Motores).....	37
Figura 8. Unidad de Poder, Motor Diésel.	38
Figura 9. Bomba Hidráulica y Válvula distribuidora.....	39
Figura 10. Condiciones de Operación.....	40
Figura 11. Taxonomía Taladro Tapping Machine PTS 3680-4	43
Figura 12. Estrategia resultante de la matriz de decisión para el Taladro PTS 3680-4.....	44
Figura 13. Diagrama de decisión de consecuencia para RCM	48

LISTA DE ECUACIONES

	pág.
Ecuación 1. Número Prioritario de Riesgo	49

LISTA DE TABLAS

pág.

Tabla 1. Tareas Asignadas para el Taladro Tapping Machine 3680-4.....	44
---	----

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Diagrama de Decisión RCM	56
Anexo B. Evaluación de NPR	58

GLOSARIO

AMEF: Análisis de Modo y Efecto de Falla. Método empleado para evaluar qué tan confiables son los equipos, componentes, partes, de un activo, y de esta forma identificar los efectos, causas y consecuencias de las fallas de los mismos.

BORING BAR: Barra del equipo de Hot Tap, en la cual se acoplan las herramientas de perforación y corte, sobre esta barra esta la función de giro y avance para el corte.

BROCA PILOTO: Herramienta de corte que se instala a la Tapping Machine en la punta del Boring Bar con la cual se hace la perforación guía en un proceso de Hot Tap.

CONFIABILIDAD: Se define como la capacidad de un activo de cumplir la función para la cual fue adquirido durante un tiempo determinado, es decir, que hace lo que queremos que haga en el momento que se requiere el activo.

CORTADOR: Herramienta de corte que se ensambla con la broca piloto, y tiene la función de cortar el cupón de tubería al diámetro que se haya diseñado el Hot Tap.

HOT TAP: Proceso mediante el cual se efectúa una perforación en caliente de diferentes diámetros y ANSI con un equipo Tapping Machine, en líneas de proceso y tanques de servicio para la instalación de una facilidad.

PLAN DE MANTENIMIENTO: Serie de tareas estructuradas y documentadas que incluye las actividades, procedimientos, recursos y la escala de tiempo para llevar a cabo el mantenimiento.

REGISTRO DE MANTENIMIENTO: Parte de la documentación del mantenimiento que contiene toda la información de fallas, defectos y mantenimiento relacionada a un equipo.

SOPORTABILIDAD DE MANTENIMIENTO: Capacidad para sustentar la disponibilidad requerida con un perfil operacional definido y recursos de logística y mantenimiento dados.

TAPPING MACHINE: Taladro Hidráulico y/o manual, empleado para ejecutar el proceso en caliente de Hot Tap en tuberías y recipientes en operación, sin interrupción de la operación.

RESUMEN

TÍTULO: MODELO DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD PARA EL TALADRO TAPPING MACHINE PTS 3680-4 DE LA EMPRESA REQUERIMIENTOS TÉCNICOS S.A.S. EN LA CIUDAD DE FUNZA*

AUTOR: ANDRÉS FELIPE RAMÍREZ CRUZ**

PALABRAS CLAVE: CONFIABILIDAD, RCM, TAPPING MACHINE, MANTENIMIENTO, HOT TAP.

DESCRIPCIÓN:

Con el avance tecnológico el mantenimiento ha sufrido grandes transformaciones. En un principio era visto como actividades correctivas para solucionar fallas, a lo largo de los años ha cambiado, no solo para solucionar las fallas sino de prevenirlas, actuar antes de que se produzca la falla y garantizar eficiencia para evitar los costos por averías. Es por esto que en esta monografía se demuestra el desarrollo de un modelo de mantenimiento basado en RCM para el taladro Tapping Machine PTS 3680-4 de la Empresa Requerimientos Técnicos S.A.S. Para lograr determinar las tareas o actividades que se deben realizar para prevenir las fallas, se respalda en la aplicación de la metodología RCM el cual aumenta la confiabilidad operacional del equipo. La cuál permite satisfacer la necesidad de minimizar los impactos en la operación causados por la falta de disponibilidad y fallas en los sistemas que lo conforman.

La efectividad de esta metodología es soportada por el conocimiento y experiencia del personal que opera y mantiene el equipo. El RCM, a través del diagrama de decisión, nos entregara de forma estructurada, las actividades necesarias para preservar la función del activo. Tomando en consideración, que, si se aplica correctamente, se logra optimizar las actividades de mantenimiento, depurando todas aquellas que no agregan valor. Para que el RCM sea de gran éxito, se debe tener un compromiso en cuanto a la realización de las tareas resultantes del mismo y un seguimiento constante por parte del personal de mantenimiento. Permitiendo lograr los objetivos propuestos a través del tiempo y encontrar las oportunidades de mejora en el modelo planteado que permita incrementar la efectividad del mismo.

*Monografía de grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Especialización Gerencia de Mantenimiento.
Director: Pilar Valderrama. MEng. Ingeniería Industrial

ABSTRACT

TITLE: RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE MODEL FOR THE DRILL TAPPING MACHINE PTS 3680-4 OF THE COMPANY REQUERIMIENTOS TÉCNICOS S.A.S. IN THE CITY OF FUNZA *

AUTHOR: ANDRÉS FELIPE RAMÍREZ CRUZ**

KEY WORDS: RELIABILITY, RCM, TAPPING MACHINE, MAINTENANCE, HOT TAP

DESCRIPTION:

With the technological advance, maintenance has undergone major transformations. At first it was seen as corrective activities to solve failures, over the years it has changed, not only to solve failures but to prevent them, act before failure occurs and guarantee efficiency to avoid costs for breakdowns. This is why this monograph demonstrates the development of a maintenance model based on RCM for the Tapping Machine PTS 3680-4 drill of the Company Requerimientos Técnicos S.A.S. In order to determine the tasks or activities that must be carried out to prevent failures, the application of the RCM methodology is supported, which increases the operational reliability of the equipment. Which allows satisfying the need to minimize the impacts on the operation caused by the lack of availability and failures in the systems that comprise it.

The effectiveness of this methodology is supported by the knowledge and experience of the personnel who operate and maintain the equipment. The RCM, through the decision diagram, will provide us in a structured way, the activities necessary to preserve the function of the asset. Taking into consideration that, if applied correctly, maintenance activities can be optimized, debugging all those that do not add value. For RCM to be highly successful, there must be a commitment to performing the tasks resulting from it and constant monitoring by maintenance personnel. Allowing to achieve the proposed objectives over time and find opportunities for improvement in the proposed model that allows increasing its effectiveness.

*Degree work

**Faculty of Physical-Mechanical Engineering. Maintenance Management Specialization
Director: Pilar Valderrama. MEng. Industrial Engineering

INTRODUCCIÓN

La realización de la monografía tuvo como propósito desarrollar un estudio de mantenimiento centrado en confiabilidad del taladro Tapping Machine PTS 3680-4, el cual busca reducir las actividades de mantenimiento que no agregan valor, y mejorando la disponibilidad del equipo. El taladro Tapping Machine es de gran importancia en la industria de Hidrocarburos, debido a que mediante este se logra perforar tubería sin interrumpir el flujo de crudo, gas o agua. Ya sea para realizar trabajos de mantenimiento en algún tramo de la tubería, o para conectar una nueva derivación.

Para analizar el equipo y desarrollar el estudio de RCM es necesario saber con respecto a las actividades de Hot Tap y Line Stopping, donde se utiliza este taladro y la importancia que implica que este equipo se encuentre disponible y en óptimas condiciones para la realización de los trabajos. Cuando se realizan estas actividades, representan un alto riesgo por las consecuencias que se pueden presentar si el equipo falla.

Factores como un mal mantenimiento, desajuste interno de piezas, mala selección de repuestos, desajustes por movilización del equipo y una mala revisión general de las condiciones del equipo, pueden generar que el taladro al momento de su operación presente fallas, que pueden llegar a ser solucionadas en su momento o por el contrario pueden tener un gran impacto en todo el entorno del trabajo, afectaciones al medio ambiente, a la integridad del operario y demás personas que se encuentren en la actividad.

Un estudio de RCM puede ser de gran ayuda para la Empresa Requerimientos Técnicos S.A.S. permitiendo mejorar la disponibilidad de su equipo y las actividades de mantenimiento.

1. CONTEXTUALIZACIÓN

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En Colombia, el constante movimiento de la industria de petróleo y gas, ha generado que se tenga un mayor número de licitaciones para la realización de trabajos de Hot Tap. La empresa REQUERIMIENTOS TÉCNICOS S.A.S cuenta con gran experiencia a lo largo de estos años en la realización de los mismos, por lo que cuenta actualmente con equipos para realizar HOT TAP, donde el taladro PTS 3680-4 es de gran importancia debido a su disposición para realizar perforaciones en un rango entre 12” a 30”. Hoy día, las empresas, solicitan a los contratistas los documentos donde constaten que tanto la máquina como los demás componentes se encuentran en óptimas condiciones. El método de Hot Tap permite la expansión y modificación de las redes de tubería bajo presión sin ninguna interrupción o parada de la línea. El Hot Tap es una práctica común cuando partes específicas de una línea de tubería han sido dañadas o requieren modificaciones.

Actualmente, el taladro PTS 3680-4 no cuenta con registro de los mantenimientos preventivos o correctivos, por lo que no se tiene un histórico de fallas del equipo, los tiempos entre fallas y los tiempos de reparación. Lo que genera un alto riesgo a la hora de realizar un trabajo. Debido a que si este fallara durante su operación los costos serían de gran magnitud para la empresa y los daños ambientales que también se podrían generar.

La pérdida económica por un Hot Tap de 12”, sería de 40 millones de pesos, con esta referencia si el diámetro a perforar es de 24” las perdidas pueden estar alrededor de los 300 millones de pesos, si es un proyecto donde se requieren varios trabajos, y se tiene estimado a realizar 1 perforación diaria las perdidas

ascenderían a miles de millones debido a que el equipo no estaría disponible. Sin tener en cuenta que, si la máquina llega a fallar durante la perforación y la misma no puede ser retraída, se contempla la parada de la línea que se está interviniendo, lo que generaría una pérdida monetaria inmensa para la empresa, que haría que perdiera credibilidad en los trabajos que realiza y un menor número de licitaciones.

Un mantenimiento centrado en confiabilidad puede ser el medio por el que la Empresa Requerimientos Técnicos S.A.S. podría tener una mejor disponibilidad del equipo, analizando en detalle los efectos y modos de falla. Logrando tener un historial completo de cada tarea de mantenimiento realizada, de acuerdo al RCM. Por esta razón la monografía se convierte en el punto de partida para que la empresa identifique las ventajas cumpliendo con el mantenimiento del equipo, el cuidado y la protección del mismo. A su vez, que la disponibilidad del equipo va aumentar, lo que genera que se pueda usar con mayor frecuencia en los trabajos requeridos.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Generar un estudio de mantenimiento centrado en confiabilidad para el taladro PTS 3680-4 de la empresa Requerimientos Técnicos S.A.S.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar los efectos y modos de falla del taladro PTS 3680-4 de la empresa Requerimientos Técnicos S.A.S a través de un análisis FMEA.
- Evaluar la prioridad de los modos de fallo por medio del número prioritario de riesgo (NPR).
- Definir las tareas de mantenimiento basadas en confiabilidad para el taladro PTS 3680-4 teniendo en cuenta la metodología RCM.

3. JUSTIFICACIÓN

En las actividades de HOT TAP se presentan problemas, debido a que en muchas ocasiones los equipos no se encuentran en óptimas condiciones para el servicio. Por eso es de gran importancia revisar y tener un control del estado en el que se encuentran. Los equipos de la empresa Requerimientos Técnicos S.A.S. se analizan por completo, observando que hayan cumplido con las rutinas de mantenimiento adecuado.

También se revisa que se encuentren en óptimas condiciones para su uso, observando que no presenten averías o fallas que pongan en riesgo la integridad del operador o en su defecto en riesgo el trabajo realizado por causa de una falla durante la operación, lo anterior debido a que el equipo no cumplió con su mantenimiento preventivo. Implicando un incremento en los costos para la ejecución del proyecto y pérdidas para la empresa.

Las condiciones y disponibilidad del equipo se pueden ir encontrando mediante un análisis de criticidad de fallas, el cual permitirá identificar el componente que representa un riesgo alto para fallar en el taladro.

Al realizar la clasificación del equipo por medio del análisis, se pretende tener una disponibilidad completa del equipo en cualquier momento que se necesite, sin que se sufra contratiempos o imprevistos debido a una falla del mismo. Por otra parte, el trabajo representa para la empresa, un beneficio en gran medida debido a que su plan de mantenimiento mejorará en un gran nivel, pues basados en el mantenimiento centrado en confiabilidad, se definirán mejor las actividades de mantenimiento planeadas.

Si el equipo se encuentra en óptimas condiciones durante su operación generaría para la empresa una mayor rentabilidad económica, debido a que no tendría pérdidas económicas por paradas del equipo, no tendría que incurrir en gastos adicionales de transporte para movilizar otro equipo. Tendría un mayor control de los repuestos que en verdad se necesitan, gracias a las hojas de ruta generadas en la metodología RCM. También, permite que la empresa pueda participar en un mayor número de licitaciones de trabajos de Hot Tap, con la confiabilidad de que su equipo responderá de adecuadamente.

4. LITERATURA COMPILADA

4.1 MARCO TEÓRICO

El mantenimiento cambió, quizás mucho más que cualquier otra disciplina de gerenciamiento. El cambio se debe a un enorme incremento en el número y variedad de bienes físicos (plantas, equipos, edificios) que deben de ser mantenidos alrededor del mundo, diseños mucho más complejos, nuevas técnicas de mantenimiento, y cambiante ideología con respecto a la organización y responsabilidades del mantenimiento.

El mantenimiento también responde a expectativas variables. Estas incluyen el hecho de advertir cada vez más el alto grado en el que las fallas en equipos afectan la seguridad y el medioambiente, una conciencia creciente de la conexión entre mantenimiento y calidad del producto, y una presión cada vez mayor de alcanzar un alto rendimiento de las plantas y controlar los costos.¹

El mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM por sus siglas en inglés) es una metodología altamente reconocida y de uso extendido para elaborar planes de mantenimiento que incluyan todo tipo de estrategias de mantenimiento (preventivo, predictivo, búsqueda de fallas, etc.). Esta metodología fue desarrollada inicialmente por la industria comercial de aviación de los Estados Unidos para mejorar la seguridad y confiabilidad de sus equipos, fue definida por los empleados de la United Airlines Stanley Nowlan y Howard Heap en 1978 y ha

¹ MOUBRAY, John. Mantenimiento centrado en confiabilidad. *Gran Bretaña: Aladon Ltda*, 2004.

sido utilizada para determinar estrategias de mantenimiento de activos físicos en casi todas las áreas de trabajo en los países industrializados del mundo.²

El mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) es un método de análisis bien establecido para la planificación del mantenimiento preventivo. Como su nombre indica, la fiabilidad es el principal punto de referencia para la planificación, pero también se evalúan las consecuencias de los fallos. Sin embargo, las incertidumbres y el riesgo se abordan en un grado limitado por el método RCM.³

4.2 MARCO CONCEPTUAL

4.2.1 Mantenimiento Centrado En Confiabilidad R.C.M. El principal objetivo de RCM es reducir los costos de mantenimiento y, al mismo tiempo, aumentar la confiabilidad y la seguridad. Las funcionalidades y la confiabilidad del sistema se destacan como lo indica el concepto de mantenimiento centrado en la confiabilidad. Un aspecto general enfatizado en las referencias anteriores es que el grupo de proyecto RCM debe incluir múltiples disciplinas y crear propiedad del proceso. El grupo del proyecto debe incluir al menos una persona de la función de mantenimiento y una persona de la función de operaciones, además de un especialista en RCM. Y el grupo debe trabajar dinámicamente en el sentido de que la experiencia se rota cuando sea necesario en el análisis.⁴

² SAE, J. A. 1011: 2009 «Evaluation Criteria for Reliability-Centered Maintenance (RCM) Processes». *Surface Vehicle/Aerospace Standard: Society of Automotive Engineers*.

³ SELVIK, Jon T.; AVEN, Terje. A framework for reliability and risk centered maintenance. *Reliability Engineering & System Safety*, 2011, vol. 96, no 2, p. 324-331.

⁴ SELVIK, Jon T.; AVEN, Terje. (2011). Op. Cit.

Antes de aplicar la metodología de RCM es indispensable recopilar la información necesaria del activo que servirá como insumo. Esta información incluye planos, diagramas, manuales, bitácoras de operación/mantenimiento, documentos como el contexto operativo (si existe), también es esencial que se entreviste al personal de operación, producción y mantenimiento para extraer información sobre los requerimientos de desempeño deseados y problemas actuales que se estén presentando. La norma ISO 14224 proporciona una base sólida para la recopilación y estructuración de los datos de confiabilidad y mantenimiento para equipos de instalaciones en industrias de petróleo, gas natural y petroquímica, estos datos sirven para la gestión de los activos durante su ciclo de vida. Debido a que aborda equipos comunes en las instalaciones industriales, esta norma puede ser fácilmente adaptada para su aplicación en cualquier industria que tenga activos físicos en los procesos, de esta forma se puede utilizar esta norma al recopilar la información del activo.⁵

Para poder realizar un análisis eficiente de fallas, la metodología RCM recomienda que se deben responder siete preguntas básicas acerca del activo o sistemas que se va a revisar:

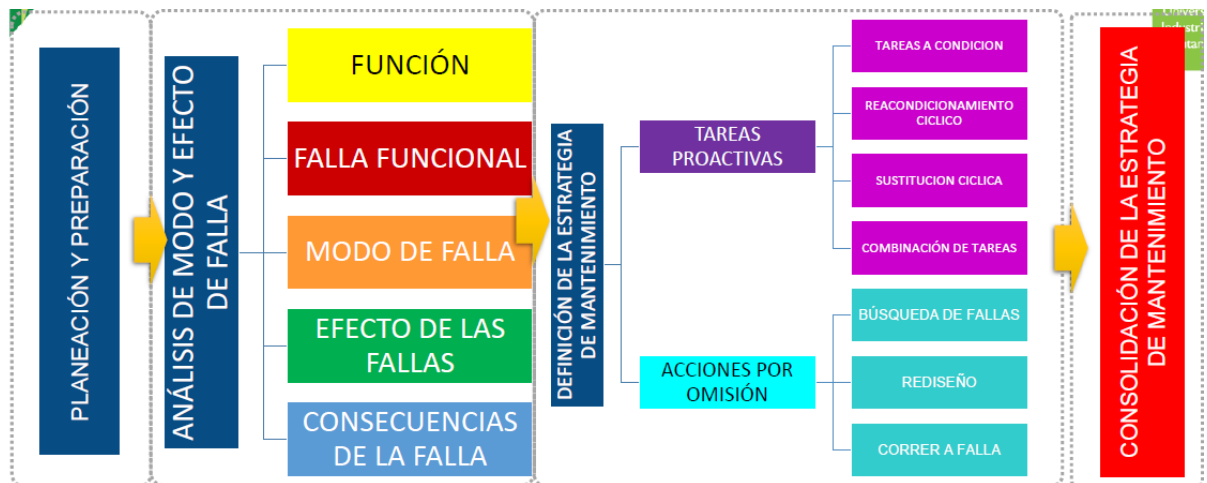
- ¿Cuáles son las funciones y estándares de desempeño deseados del equipo en su contexto operacional (funciones)?
- ¿De qué forma puede fallar y no cumplir con sus funciones (fallas funcionales)?

⁵ CAMPOS-LÓPEZ, Omar, et al. Metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) considerando taxonomía de equipos, base de datos y criticidad de efectos. *Científica*, 2019, vol. 23, no 1, p. 51-59.

- ¿Qué causa cada falla funcional (modos de falla)?
- ¿Qué pasa cuando ocurre cada falla (efectos de falla)?
- ¿En qué forma afecta cada falla (consecuencia de falla)?
- ¿Qué se debe hacer para predecir o prevenir cada falla (tareas proactivas y sus intervalos)?
- ¿Qué se debe hacer si una tarea proactiva no previene la falla (acciones por omisión)?

Para implementar un RCM deben seguirse unos pasos, los cuales se pueden evidenciar en el siguiente diagrama de flujo.⁶

Figura 1. Diagram de Flujo. Pasos RCM



Fuente: Memorias de clase RCM, Especialización en Gerencia de Mantenimiento. Bogotá, 2020.

⁶ VALDERRAMA, Pilar. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad – RCM. Bogotá 2020. Memorias de clase. Universidad Industrial de Santander. Especialización en Gerencia de Mantenimiento.

4.2.2 Ventajas de implementar RCM. La metodología RCM proporciona una serie de ventajas las cuales se enlistan a continuación:

- Reducción de gastos de mantenimiento (comúnmente entre 5-15%).
- Mejora la confiabilidad y disponibilidad, (menos tiempo fuera de servicio asociado con mantenimiento preventivo y menores números de falla).
- Establece una recopilación de experiencia y documenta las justificaciones técnicas para cada decisión en el futuro.
- Balancea los costos de mantenimiento de confiabilidad del servicio.
- Mejora la habilidad para planear el mantenimiento.
- Administración más efectiva de los recursos limitados.
- Define y prioriza los tipos de tareas de mantenimiento necesarias según la función del equipo.
- Enfoca el mantenimiento en escenarios de alta consecuencia de falla del equipo.
- Propicia el trabajo en equipo al interior de los grupos de mantenimiento y su relación con los demás procesos.
- Lenguaje técnico apropiado, para analizar los problemas y tomar decisiones.⁷

⁷ ORTIZ PLATA, 2017 Citado por MANRIQUE OLARTE, Mauricio Andrés y VELA GARCÍA, Luis Carlos. PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD RCM, APLICADO A LAS BOMBAS NATIONAL OIL WELL VARCO DE LOS GENERADORES DE VAPOR. 2018. Monografía. Universidad Industrial de Santander. Especialización en Gerencia de Mantenimiento

4.2.3 Funciones y sus Estándares de Funcionamiento. Cada elemento de los equipos debe de haberse adquirido para unos propósitos determinados. En otras palabras, deberá tener una función o funciones específicas. La pérdida total o parcial de estas funciones afecta a la organización en cierta manera. La influencia total sobre la organización depende de:

- La función de los equipos en su contexto operacional.
- El comportamiento funcional de los equipos en ese contexto.

Como resultado de esto el proceso de RCM comienza definiendo las funciones y los estándares de comportamiento funcional asociados a cada elemento de los equipos en su contexto operacional.

Cuando se establece el funcionamiento deseado de cada elemento, el RCM pone un gran énfasis en la necesidad de cuantificar los estándares de funcionamiento siempre que sea posible. Estos estándares se extienden a la producción, calidad del producto, servicio al cliente, problemas del medio ambiente, costo operacional y seguridad.

4.2.4 Fallas Funcionales. Una vez que las funciones y los estándares de funcionamiento de cada equipo se hayan definido, el paso siguiente es identificar cómo puede fallar cada elemento en la realización de sus funciones. Esto lleva al concepto de una falla funcional, que se define como la incapacidad de un elemento o componente de un equipo para satisfacer un estándar de funcionamiento deseado.

4.2.5 Modos de Falla (Causas de Falla). El paso siguiente es tratar de identificar los modos de falla que tienen más posibilidad de causar la pérdida de una función. Esto permite comprender exactamente qué es lo que puede que se esté tratando de prevenir.

Cuando se está realizando este paso, es importante identificar cuál es la causa origen de cada falla. Esto asegura que no se malgaste el tiempo y el esfuerzo tratando los síntomas en lugar de las causas. Al mismo tiempo, cada modo de falla debe ser considerado en el nivel más apropiado, para asegurar que no se malgasta demasiado tiempo en el análisis de falla en sí mismo.

4.2.6 Efectos de las Fallas. Cuando se identifica cada modo de falla, los efectos de las fallas también deben registrarse (en otras palabras, lo que pasaría si ocurriera). Este paso permite decidir la importancia de cada falla, y por lo tanto qué nivel de mantenimiento (si lo hubiera) sería necesario.

El proceso de contestar sólo a las cuatro primeras preguntas produce oportunidades sorprendentes y a menudo muy importantes de mejorar el funcionamiento y la seguridad, y también de eliminar errores. También mejora enormemente los niveles generales de comprensión acerca del funcionamiento de los equipos.⁸

⁸ MOUBRAY, John. (2004). Op Cit.

4.2.7 Consecuencias de las Fallas. Una vez que se hayan determinado las funciones, las fallas funcionales, los modos de falla y los efectos de los mismos en cada elemento significativo, el próximo paso en el proceso del RCM es preguntar cómo y (cuánto) importa cada falla. La razón de esto es porque las consecuencias de cada falla dicen si se necesita tratar de prevenirlos. Si la respuesta es positiva, también sugieren con qué esfuerzo debemos tratar de encontrar las fallas.

RCM clasifica las consecuencias de las fallas en cuatro grupos:

4.2.8 Consecuencias de las fallas no evidentes. Las fallas que no son evidentes no tienen impacto directo, pero exponen a la organización a otras fallas con consecuencias serias, a menudo catastróficas. Un punto fuerte del RCM es la forma en que trata las fallas que no son evidentes, primero reconociéndolos como tales, en segundo lugar, otorgándoles una prioridad muy alta y finalmente adoptando un acceso simple, práctico y coherente con relación a su mantenimiento.

4.2.9 Consecuencias en la seguridad y el medio ambiente. Una falla tiene consecuencias sobre la seguridad si puede afectar físicamente a alguien. Tiene consecuencias sobre el medio ambiente si infringe las normas gubernamentales relacionadas con el medio ambiente. RCM considera las repercusiones que cada falla tiene sobre la seguridad y el medio ambiente, y lo hace antes de considerar la cuestión del funcionamiento. Pone a las personas por encima de la problemática de la producción.

4.2.10 Consecuencias Operacionales. Una falla tiene consecuencias operacionales si afecta la producción (capacidad, calidad del producto, servicio al cliente o costos industriales en adición al costo directo de la reparación). Estas

consecuencias cuestan dinero, y lo que cuesten sugiere cuanto se necesita gastar en tratar de prevenirlas.

4.2.11 Consecuencias que no son operacionales. Las fallas evidentes que caen dentro de esta categoría no afectan ni a la seguridad ni a la producción, por lo que el único gasto directo es el de la reparación⁹. Si una falla tiene consecuencias significativas en los términos de cualquiera de estas categorías, es importante tratar de prevenirlas. Por otro lado, si las consecuencias no son significativas, entonces no merece la pena hacer cualquier tipo de mantenimiento sistemático que no sea el de las rutinas básicas de lubricación y servicio.

Por eso en este punto del proceso del RCM, es necesario preguntar si cada falla tiene consecuencias significativas. Si no es así, la decisión normal a falta de ellas es un mantenimiento que no sea sistemático. Si por el contrario fuera así, el paso siguiente sería preguntar qué tareas sistemáticas (si las hubiera) se deben de realizar. Sin embargo, el proceso de selección de la tarea no puede ser revisado significativamente sin considerar primero el modo de falla y su efecto sobre la selección de los diferentes métodos de prevención.

4.3 TAREAS DE MANTENIMIENTO

La mayoría de la gente cree que el mejor modo de mejorar al máximo la disponibilidad de la planta es hacer algún tipo de mantenimiento de forma rutinaria. El conocimiento de la Segunda Generación sugiere que esta acción preventiva debe de consistir en una reparación del equipo o cambio de componentes a intervalos fijos.

⁹ Ibíd.

RCM reconoce cada una de las tres categorías más importantes de tareas preventivas, como siguen:

4.3.1 Tareas “A Condición”: La necesidad continua de prevenir ciertos tipos de falla, y la incapacidad creciente de las técnicas tradicionales para hacerlo, han creado los nuevos tipos de prevención de fallas. La mayoría de estas técnicas nuevas se basan en el hecho de que la mayor parte de las fallas dan alguna advertencia de que están a punto de ocurrir. Estas advertencias se conocen como fallas potenciales, y se definen como las condiciones físicas identificables que indican que va a ocurrir una falla funcional o que está en el proceso de ocurrir.

Las nuevas técnicas se usan para determinar cuando ocurren las fallas potenciales de forma que se pueda hacer algo antes de que se conviertan en verdaderas fallas funcionales.¹⁰

Estas técnicas se conocen como tareas a condición, porque los elementos se dejan funcionando a condición de que continúen satisfaciendo los estándares de funcionamiento deseado. Muchas fallas serán detectables antes de que ellas alcancen un punto donde la falla funcional donde se puede considerar que ocurre la falla funcional.

¹⁰ Ibíd.

4.3.2 Tareas de Reacondicionamiento Cíclico y de Sustitución Cíclica: Los equipos son revisados o sus componentes reparados a frecuencias determinadas, independientemente de su estado en ese momento. Si la falla no es detectable con tiempo suficiente para evitar la falla funcional entonces la lógica pregunta si es posible reparar el modo de falla del ítem para reducir la frecuencia (índice) de la falla. Algunas fallas son muy predecibles aún si no pueden ser detectadas con suficiente tiempo. Estas fallas pueden ser difíciles de detectar a través del monitoreo por condición a tiempo para evitar la falla funcional, o ellas pueden ser tan predecibles que el monitoreo para lo evidente no es una garantizado. Si no es práctico reemplazar componentes o restaurar de manera que queden en condición "como nuevos" a través de algún tipo de uso o acción basada en el tiempo entonces puede ser posible reemplazar el equipo en su totalidad.

Una gran ventaja del RCM es el modo en que provee criterios simples, precisos y fáciles de comprender para decidir (si hiciera falta) qué tarea sistemática es técnicamente posible en cualquier contexto, y si fuera así para decidir la frecuencia en que se hace y quien debe de hacerlo. Estos criterios forman la mayor parte de los programas de entrenamiento del RCM. El RCM también ordena las tareas en un orden descendente de prioridad. Si las tareas no son técnicamente factibles, entonces se debe tomar una acción apropiada, como se describe a continuación.

4.3.3. Acciones a “falta de”. Además de preguntar si las tareas sistemáticas son técnicamente factibles, el RCM se pregunta si vale la pena hacerlas. La respuesta depende de cómo reaccione a las consecuencias de las fallas que pretende prevenir. Al hacer esta pregunta, el RCM combina la evaluación de la consecuencia con la selección de la tarea en un proceso único de decisión.¹¹

4.4 ANÁLISIS DE CRITICIDAD

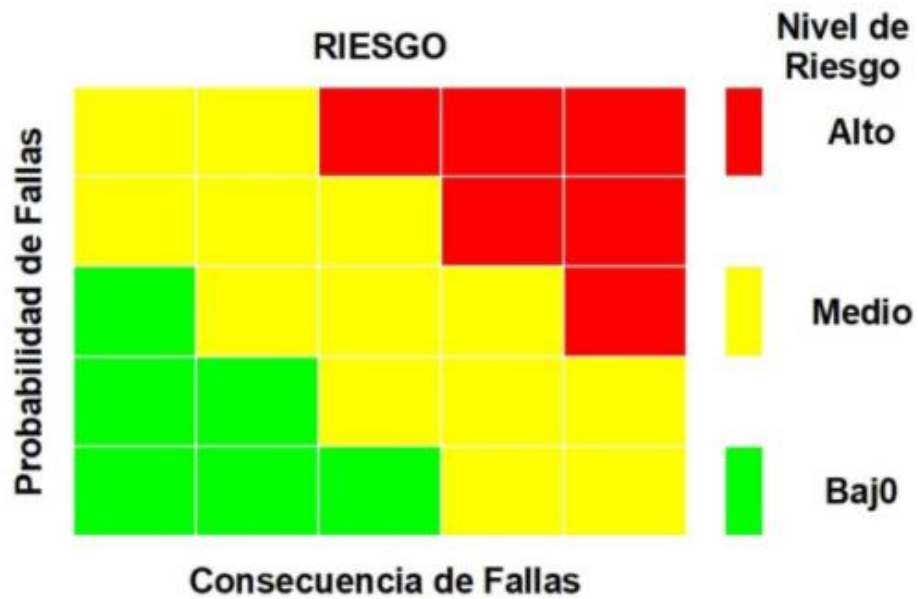
La criticidad es el producto de la probabilidad de ocurrencia de un evento y la magnitud de su respectiva consecuencia. El análisis de criticidad empieza con la descripción de lo que le sucede al equipo que falla o a los equipos en su entorno, de esta manera se puede analizar la importancia de cada falla en el contexto operacional y consecuentemente se definen cuáles modos de falla son los más críticos, es decir los que merecen ser prevenidos con tareas de mantenimiento o rediseños.

Para la tarea de realizar el análisis es de gran importancia tener o gestionar los respectivos criterios y estándares de consecuencia propios de la operación, debido a que para un mismo equipo una falla puede representar una gran pérdida en el contexto operacional y en uno distinto puede no ser tan significativa.¹²

¹¹ *Ibíd.*

¹² GUANUMEN ALMANZA, Jorge Isaías. DESARROLLO DE PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD RCM PARA LA ATRACCIÓN SPLASH DEL PARQUE SALITRE MÁGICO. 2019. Monografía. Universidad Industrial de Santander. Especialización en Gerencia de Mantenimiento

Figura 2. Matriz de Criticidad.



Fuente: <https://esp.reliabilityconnect.com/jerarquizacion-por-criticidad-de-taladros-de-perforacion-y-rehabilitacion-para-pozos-petroleros/>

5. DESARROLLO DEL PLAN DE TRABAJO

Como se ha mencionado antes, el equipo de estudio de este trabajo es el taladro Tapping Machine PTS 3680-4

Figura 3. Tapping Machine 3680-4



5.1 SISTEMAS

5.1.1 Sistema de Transmisión

El sistema de transmisión en este equipo es el que permite transmitir el movimiento del motor hidráulico a la corona principal del tornillo sin fin, el cual, al moverse, permite el avance y retroceso del boring bar.

Figura 4. Conjunto motriz principal



Figura 5. Conjunto motriz de avance y retroceso

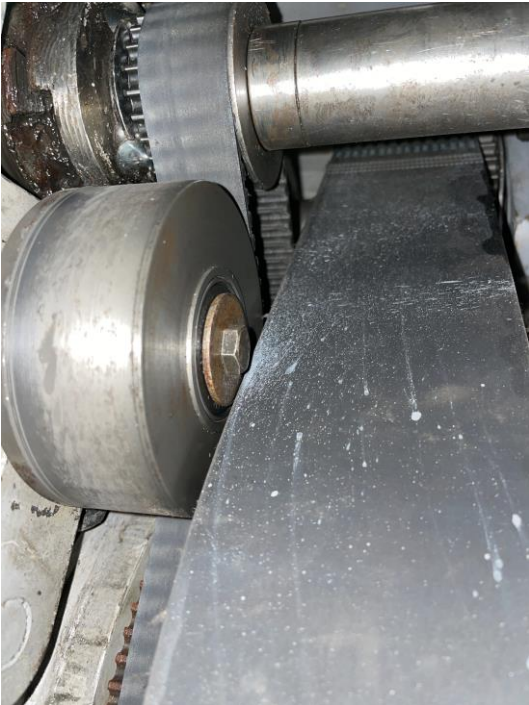


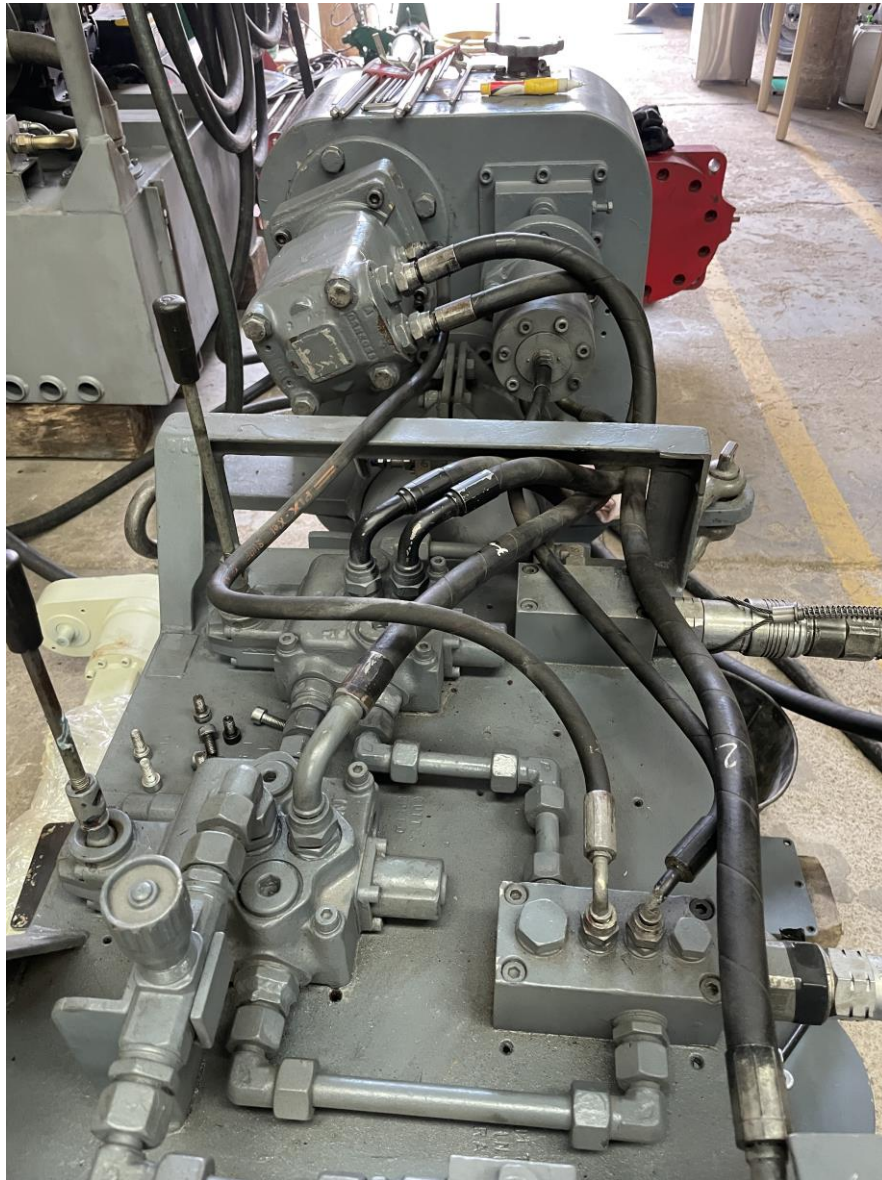
Figura 6. Tornillo sin fin y boring bar



5.1.2. Sistema Hidráulico

El sistema hidráulico se considera el más importante debido a que si este presenta alguna falla, la función principal del taladro, que es la perforación. No se podría realizar debido a que no funcionarían los motores de rotación, avance y retroceso del boring bar.

Figura 7. Conjunto Hidráulico del taladro (Mandos, Motores).



5.1.3 Sistema de Potencia

Consta de un motor diésel el cual permite la activación de la bomba hidráulica, para que el fluido hidráulico circule desde el tanque hasta los motores del taladro por medio de mangueras de alta presión. El paso del fluido es regulado por la válvula de distribución.

Figura 8. Unidad de Poder, Motor Diésel.



Figura 9. Bomba Hidráulica y Válvula distribuidora



5.2 CONDICIONES OPERACIONALES

En la siguiente figura se muestran las condiciones recomendadas por el fabricante para la operación del taladro.

Figura 10. Condiciones de Operación.



MODEL PTS 3680 BALANCED PRESSURE TAPPING MACHINE

Normal Cutter range – 12” – 36”

Factory Test Pressure 3322 PSI (226 Bar) @ 100 Degrees F (38 Degrees C)

Maximum working pressure 2220 PSI (151 Bar) @ 100 Degrees F (38 Degrees C)

Service Packing Operating Temperatures Guide Lines:

-20 Degrees F (-29 Degrees C)

100 Degrees F (38 Degrees C) @ 2220 PSI (151 Bar) Normal Use

400 Degrees F (204 Degrees C) @ 1960 PSI (133 Bar) Intermittent Use

700 Degrees F (371 Degrees C) @ 1800 PSI (122 Bar) Intermittent Use

Refer To Power Technology For Higher Temperatures.

Boring Bar Travel 80”

Rate of Automatic Feed Standard 0.003” in / rev

Manual rate Boring Bar Travel 15 Turns per inch

Housing Specification 6” Class 900 RTJ (R45 Oval Ring)

Weight with built in Skid 1720 Kgs

Fuente. Fabricante

5.3 APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA RCM PARA EL TALADRO TAPPING MACHINE PTS 3680-4

Para alcanzar el plan de mantenimiento del taladro Tapping Machine PTS 3680-4, considerando la ausencia de históricos de falla de años anteriores e incluso considerando modificaciones a que haya tenido lugar por ser un equipo de segunda o tareas de mantenimiento sucedidas en sus años de servicio, se optó por usar el desarrollo del método de análisis modal de fallos y efectos que se usa para establecer las posible fallas y consecuencias de las mismas para finalmente generar las actividades de prevención, predicción y corrección que en conjunto constituyen el plan de mantenimiento.

Para el análisis funcional y efectos de modos de falla, se utilizará una hoja de cálculo de Excel, la cual fue entregada por la Ingeniera Pilar Valderrama en Clases de RCM en la Especialización en Gerencia de Mantenimiento.

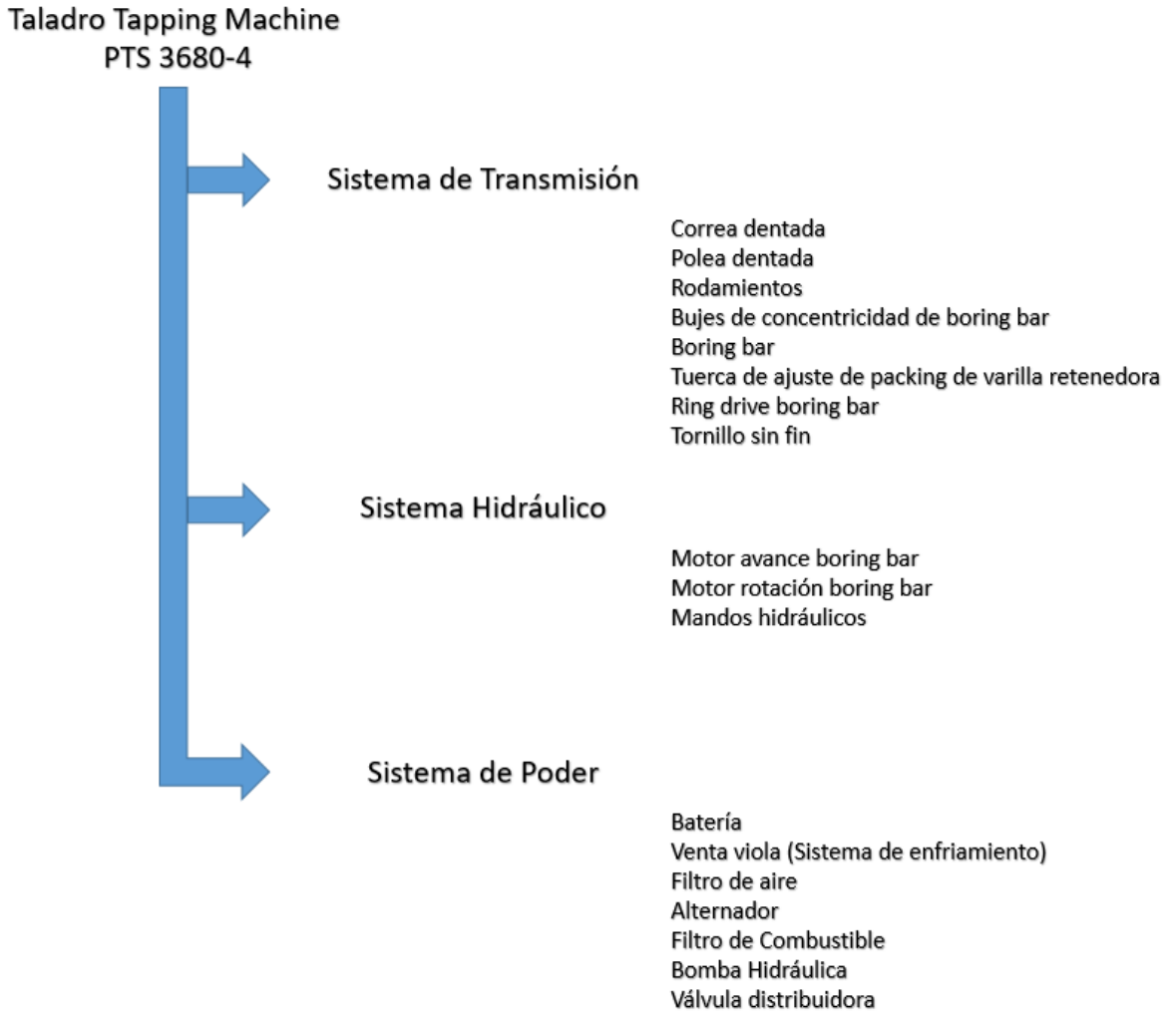
El análisis funcional, evaluación de consecuencias, selección y definición de tareas de cada uno de los modos de falla identificados se presenta en el anexo A.

Para el desarrollo completo de la matriz de decisión, se contó la participación de 2 técnicos operadores de Tapping Machine, uno de ellos trabajador de la empresa Requerimientos Técnicos S.A.S. y el otro, operario independiente, con gran experiencia y conocimiento en la operación y mantenimiento de estos equipos debido a que trabajo en T.D. Williamson que fue de las primeras empresas en el país en realizar trabajos de Hot Tap y Line Stopping. También se contó con la participación del director de operaciones de la empresa. El grupo estuvo conformado por estas 4 personas.

Dentro de las dificultades y retos, que se presentaron durante las reuniones. En primer lugar, estaba, la falta de información del equipo, no se contaba con manuales de mantenimiento, planos operativos e información respecto a repuestos. Se revisaron, los documentos que reposan en la empresa desde que se adquirió el equipo, encontrando que en muchas ocasiones se realizaron mantenimientos, pero de los que no se tiene trazabilidad. Al igual, se encontró que el equipo sufrió fallas durante su operación y estuvo varios meses fuera de servicio, debido a que no había alguien capacitado para intervenir el equipo.

Basados, en la poca información recopilada. Se dio inicio a identificar los sistemas principales con los que cuenta el equipo, para después definir los componentes que integran estos sistemas. Durante esta etapa, se dieron varias discusiones, debido a que cada persona del grupo interdisciplinario, tenía una opinión diferente respecto a los modos y efectos de falla de cada componente. Pero al profundizar en cada uno, se logró un consenso de los mismos. También, fue de gran importancia, escuchar al operario independiente ya que su experiencia con estos equipos le ha permitido conocer más a fondo los diferentes modos de falla que pueden presentar los componentes de estos sistemas.

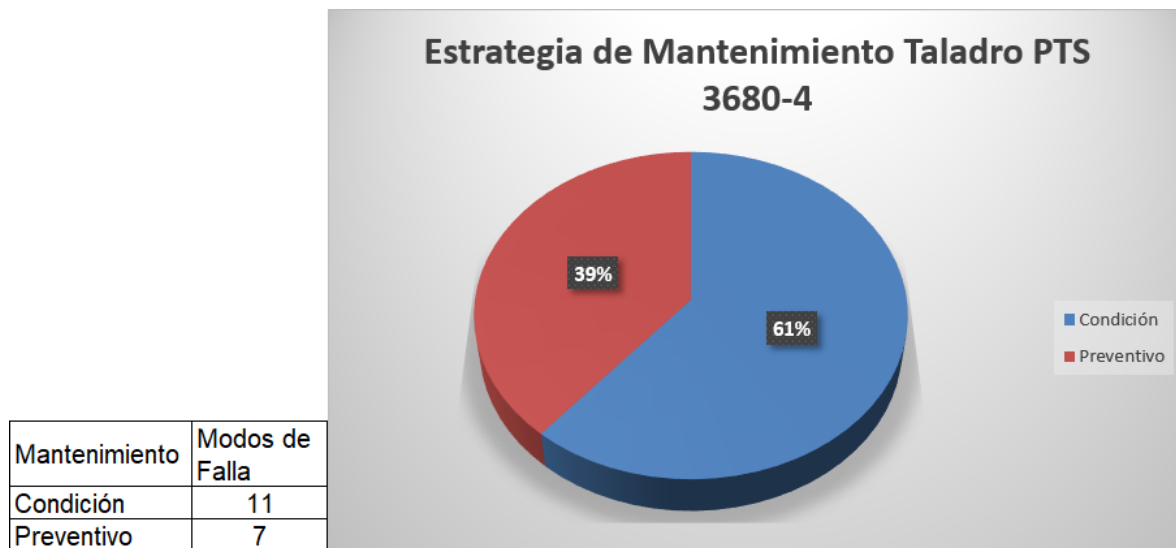
Figura 11. Taxonomía Taladro Tapping Machine PTS 3680-4



Fuente: Autor

Después de realizar la matriz de decisión, se puede evidenciar 18 modos de falla y 2 tipos de mantenimiento, los cuales el 61% corresponde a mantenimiento de condición (Prueba en banco, END, inspección visual de desgaste) y un 39% de mantenimiento preventivo.

Figura 12. Estrategia resultante de la matriz de decisión para el Taladro PTS 3680-4



Fuente: Autor

Después, de haber identificado las actividades de mantenimiento que se requieren para el Taladro Tapping Machine 3680-4. Se procedió a realizar una hoja de ruta de mantenimiento para cada componente basados en los modos de falla.

Tabla 1. Tareas Asignadas para el Taladro Tapping Machine 3680-4

COMPONENTE	MODO DE FALLA	DESCRIPCIÓN DE LA TAREA
Correa dentada	Polea Desgastada Temperaturas Elevadas Desalineación	Cambiar la correa dentada, verificar y monitorear el ajuste y realizar prueba. FRECUENCIA: Cada 2000h, RESPONSABLE: Operario
Polea dentada	Tensión Excesiva Desalineación Desgaste por corrosión Fatiga	Realizar una inspección visual de los dientes de la polea, para verificar el desgaste y asegurar su correcta alineación FRECUENCIA: Después de cada servicio, RESPONSABLE: Operario

Rodamientos	Lubricación Incorrecta Vibraciones Desalineamiento	Cambiar los rodamientos, asegurando su correcta lubricación y alineación FRECUENCIA: Anual, RESPONSABLE: Operario
Bujes de concentricidad de boring bar	Lubricación Incorrecta Desgaste por horas de trabajo	Cambiar el buje de concentricidad, verificar su ajuste y el material de fabricación FRECUENCIA: Cada 2 años, RESPONSABLE: Operario
Boring Bar	Fatiga Golpes Desalineación	Realizar una inspección visual y verificación de centrado con comparador de caratula FRECUENCIA: Después de cada trabajo, RESPONSABLE: Operario
Tuerca de ajuste de packing de varilla retenedora	Exceso de ajuste Desgaste de la rosca Desgaste prematuro del material de la tuerca	Cambiar la tuerca de packing, garantizando que el material sea de bronce y verificando el ajuste FRECUENCIA: Anual, RESPONSABLE: Operario
Ring drive boring bar	Fatiga	Realizar inspección visual y ensayos no destructivos (TINTAS PENETRANTES) para identificar alguna anomalía del componente. FRECUENCIA: Después de cada servicio, RESPONSABLE: Operario/Especialista en END
Tornillo sin fin	Fatiga Lubricación Inadecuada Desgaste por corrosión	Realizar inspección visual y verificar mediante galgas los hilos de la rosca, y concentricidad del eje. FRECUENCIA: Anual, RESPONSABLE: Operario
Motor avance boring bar	Desgastes internos Abrasivos en el fluido hidráulico	Realizar inspección visual y prueba en banco, realizar prueba y garantizar ajuste y correcta instalación FRECUENCIA: Anual, RESPONSABLE: Operario/Empresa de pruebas

Motor rotación de boring bar	Desgastes internos Abrasivos en el fluido hidráulico	Realizar inspección visual y prueba en banco, realizar prueba y garantizar ajuste y correcta instalación FRECUENCIA: Anual, RESPONSABLE: Operario/Empresa de pruebas
Mandos hidráulicos	Desgaste de los sellos o-ring Temperaturas Elevadas	Realizar inspección visual y cambiar el o-ring, verificar ajuste y realizar prueba de funcionamiento FRECUENCIA: Anual, RESPONSABLE: Operario
Batería	Mala conexión de los bornes Desgaste por uso Sobrecarga Fuga térmica	Realizar el cambio de batería y verificar el ajuste de los bornes FRECUENCIA: Anual, RESPONSABLE: Operario
Sistema de enfriamiento (venta viola)	Polea Desgastada Sobretensión de la correa Golpes	Realizar inspección visual y verificar ajuste FRECUENCIA: Después de cada servicio, RESPONSABLE: Operario
Filtro de aire	Deterioro por uso Obstrucción por material contaminante	Cambiar el filtro de aire y verificar el ajuste FRECUENCIA: Cada 240 h, RESPONSABLE: Operario
Alternador	Polea Desgastada Correa Desgastada Desgaste de los rodamientos	Realizar inspección visual y verificar ajuste FRECUENCIA: Después de cada servicio, RESPONSABLE: Operario
Filtro de Combustible	Uso excesivo Acumulación de sedimentos al interior Combustible irregular	Cambiar el filtro de combustible y verificar el ajuste FRECUENCIA: Anual, RESPONSABLE: Operario
Bomba Hidráulica	Vibraciones Cavitación Insuficiente presión	Realizar inspección visual y prueba en banco, realizar prueba y garantizar ajuste y correcta instalación FRECUENCIA: Anual, RESPONSABLE: Operario/Empresa de pruebas
Válvula distribuidora	Golpes Sobrepresión Sobrecalentamiento del sistema	Realizar inspección visual y cambiar el o-ring, verificar ajuste y realizar prueba de funcionamiento FRECUENCIA: Anual, RESPONSABLE: Operario

Fuente: Autor

La decisión de asignar las tareas descritas se tomó en base en costo-beneficio, para las actividades de mantenimiento en la que la frecuencia se estipulo en horas, debido a que, realizando estos mantenimientos preventivos, se mejoraría la disponibilidad y confiabilidad del equipo. Pues, si alguno de estos componentes no se reemplaza en su tiempo definido, puede ocasionar que el equipo presente averías durante su operación lo que generaría un incremento en los costos de operación y retrasos en la ejecución de los trabajos.

De igual forma, las demás tareas se designaron debido a que son técnicamente necesarias, sino se cumple con las rutinas de mantenimiento estipuladas el equipo puede sufrir averías mucho mayores, comprometiendo la integridad del operario, del medio ambiente y el trabajo. Lo que se vería reflejado, en la reputación de la empresa.

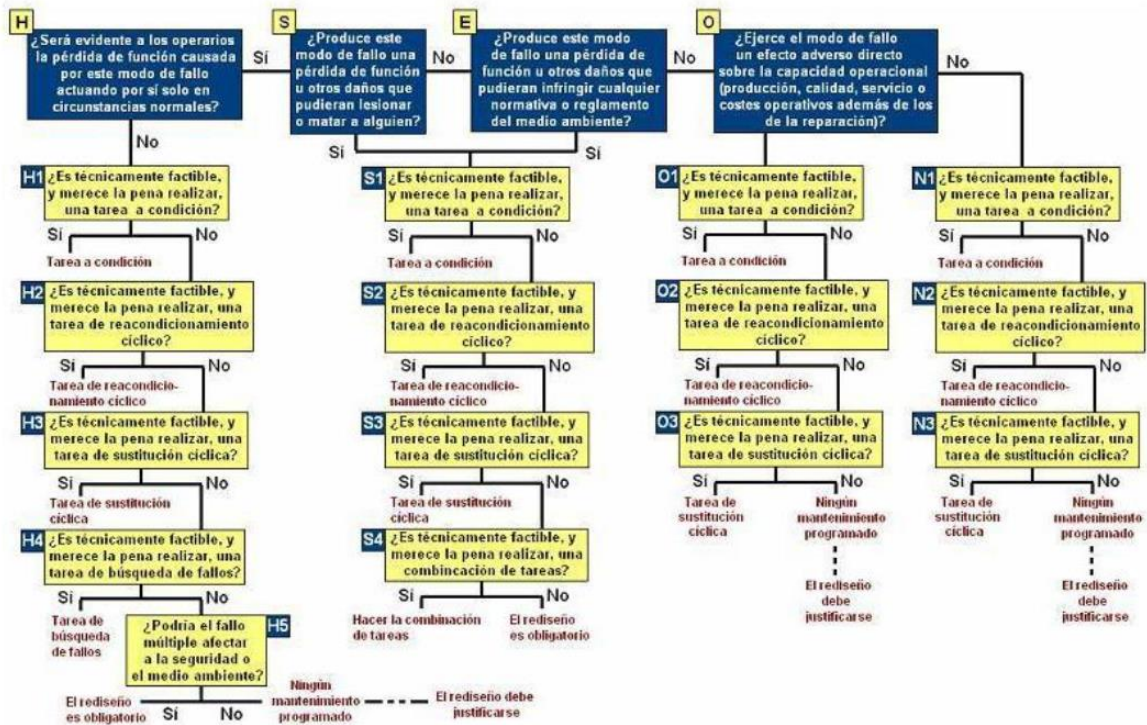
Después de tener identificadas las tareas de mantenimiento a realizar, antes de culminar con el estudio RCM para el taladro Tapping Machine PTS 3680-4, se plantearon varias propuestas en cuanto al mantenimiento de este equipo. Entre ellas se propuso, realizar un mantenimiento completo de todos los componentes del equipo en un periodo de cada 7 años, para garantizar la confiabilidad y disponibilidad del equipo.

También se discutió la idea, de realizar un levantamiento de información, con respecto a todos los componentes del equipo cuando se realice un mantenimiento completo del equipo. Con el fin de generar un plano de la máquina e identificar los diferentes materiales de las piezas internas. Al tener identificadas y ubicadas cada una de las partes del equipo le permitirá a la empresa optimizar los tiempos de parada, identificando de una forma más sencilla y optima las piezas que deben ser reemplazadas por tareas de mantenimiento o las que están próximas para cambio y así gestionar la compra antes de que estas fallen. Pues se evidencio que la

empresa no cuenta con un stock mínimo de repuestos en caso de presentarse una falla.

Para la evaluación de la consecuencia se seguirá el siguiente diagrama de decisión.

Figura 13. Diagrama de decisión de consecuencia para RCM



Fuente: VALDERRAMA, Pilar. Presentación RCM, Especialización Gerencia de Mantenimiento, Bogotá, 2020.

Así mismo, se pudo evaluar la prioridad de los modos de fallo por medio del número prioritario de riesgo (NPR), el cual se calcula por medio de la siguiente ecuación:

Ecuación 1. Número Prioritario de Riesgo

$$NPR = Severidad \times Ocurrencia \times Detección$$

Para lo cual se establecieron los siguientes parámetros:

Cuadro 1. Severidad del efecto

EFEECTO	CRITERIO	NIVEL
Peligroso sin aviso	La falla afecta la operación segura del equipo. Puede poner en peligro al operador. El fallo ocurre sin previo aviso.	10
Peligroso con aviso	El fallo afecta la operación segura del equipo. El fallo ocurre con previo aviso.	9
Muy alto	Interrupción mayor en la línea de producción. El fallo ocurre con previo aviso.	8
Alto	Interrupción menor en la línea. El equipo entra en operación en el siguiente turno.	7
Moderado	Interrupción menor de la línea de producción. El equipo entra en operación en el mismo turno.	6
Bajo	Interrupción menor de la línea de producción. El equipo opera con disminución de algunas funciones.	5
Muy bajo	Interrupción menor de la línea de producción. El equipo entra en operación en poco tiempo.	4
Menor	Interrupción menor de la línea de producción. El equipo entra en operación en muy poco tiempo.	3
Muy menor	Sin interrupción de la línea de producción. Baja la eficiencia del equipo.	2
Ninguno	El modo de fallo no tiene efecto	1

Fuente. LOPEZ, de la Calle Iñaki Elexpuru, Proyecto final de carrera, "Mantenimiento FMEA del sistema de alimentación del motor Wartsila 50DF-12V", Universidad del País Vasco, Escuela Técnica Superior de Náutica y Maquinas navales, Septiembre 2017

Cuadro 2. Ocurrencia del efecto

OCURRENCIA DEL FALLO	FRECUENCIA	NIVEL
Muy alta. Muy repetitiva	Promedio mayor o igual a 10 por año	5
Alta: Fallo repetitivo	Promedio mayor a 6 y menor a 10	4
Media. Fallo ocasional	Promedio mayor a 3 y menor a 6	3
Baja. Pocos fallos	Promedio mayor a 1 y menor a 3	2
Muy baja. Muy pocos fallos	Promedio menor a 1 fallo por año	1

Fuente. LOPEZ, de la Calle Iñaki Elexpuru, Proyecto final de carrera, "Mantenimiento FMEA del sistema de alimentación del motor Wartsila 50DF-12V", Universidad del País Vasco, Escuela Técnica Superior de Náutica y Maquinas navales, Septiembre 2017

Cuadro 3. Probabilidad de detección por control de procesos

DETECCION	CRITERIO	NIVEL
Casi imposible	No existen controles conocidos para detectar el modo de fallo o la causa.	10
Muy remota	Probabilidad muy remota de que los controles vigentes detecten el modo de fallo o la causa.	9
Remota	Probabilidad muy remota que los controles vigentes detectaran el modo de fallo o la causa.	8
Muy baja	Probabilidad muy baja de que los controles vigentes detecten el modo de fallo o la causa.	7
Baja	Probabilidad baja que los controles detecten el modo de fallo	6
Moderada	Probabilidad moderada que los controles detecten el modo de fallo	5
Moderadamente alta	Probabilidad moderadamente alta de que los controles detecten el modo de fallo o la causa.	4
Alta	Probabilidad alta de que se detecte el modo de fallo o la causa.	3
Muy alta	Probabilidad alta que los controles detecten el fallo o la causa. 2	2
Detectable	Los controles detectarán el modo de fallo. Detección muy fiable	1

Fuente. LOPEZ, de la Calle Iñaki Elexpuru, Proyecto final de carrera, "Mantenimiento FMEA del sistema de alimentación del motor Wartsila 50DF-12V", Universidad del País Vasco, Escuela Técnica Superior de Náutica y Maquinas navales, Septiembre 2017

En los siguientes parámetros se establece el nivel de riesgo:

$250 \leq \text{NPR} \leq 500$ Alto.

$125 \leq \text{NPR} \leq 249$ Medio.

$1 \leq \text{NPR} \leq 124$ Bajo.

En el anexo B. Se realiza la evaluación de NPR.

7. CONCLUSIONES

Debido a la falta de mantenimiento en el taladro, se ve afectada la productividad de la empresa, por los sobrecostos, calidad, incumplimiento en los trabajos, entre otros. Por lo anterior el mantenimiento de los equipos es la base fundamental de todo proceso. Se pudo llegar a las siguientes conclusiones para este caso de estudio.

- Dentro del diagrama de decisión de RCM, se evidenció que es necesario tener un stock mínimo de repuestos, sin embargo, las piezas más críticas son de importación, lo que implica una logística mayor de planeación y gestión de recursos, por lo que se recomienda realizar un estudio de confiabilidad basada en repuestos.
- Para el manejo de información se requiere actualizar el sistema de trazabilidad del mantenimiento realizado al equipo, en Excel o un software de mantenimiento como SAP que optimice el análisis, mejore la gestión del mantenimiento y la toma de decisiones. A su vez, para mantener actualizado el MTBF se requiere incluir las horas acumuladas de falla del equipo.
- El análisis de modos de fallos, que se realizó en este trabajo. Corresponde a un grupo interdisciplinario de la empresa, por lo que se cumplió con uno de los pasos fundamentales del RCM. El análisis fue realizado por dos operarios, con un alto conocimiento técnico del equipo, el director de operaciones y el ingeniero residente de la empresa, que aportó parte de su conocimiento en campo con el equipo.

- La falta de información del equipo, genera que no se pueda profundizar a fondo en el análisis, dependiendo de los conocimientos de personas expertas en el mantenimiento y operación del equipo.

BIBLIOGRAFÍA

MOUBRAY, John. Mantenimiento centrado en confiabilidad. Gran Bretaña: Aladon Ltda, 2004.

SAE, J. A. 1011: 2009 «Evaluation Criteria for Reliability-Centered Maintenance (RCM) Processes». Surface Vehicle/Aerospace Standard: Society of Automotive Engineers.

SELVIK, Jon T.; AVEN, Terje. A framework for reliability and risk centered maintenance. Reliability Engineering & System Safety, 2011, vol. 96, no 2, p. 324-331.

CAMPOS-LÓPEZ, Omar, et al. Metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) considerando taxonomía de equipos, base de datos y criticidad de efectos. Científica, 2019, vol. 23, no 1, p. 51-59.

VALDERRAMA, Pilar. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad – RCM. Bogotá 2020. Memorias de clase. Universidad Industrial de Santander. Especialización en Gerencia de Mantenimiento.

ORTIZ PLATA, 2017 Citado por MANRIQUE OLARTE, Mauricio Andrés y VELA GARCÍA, Luis Carlos. PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD RCM, APLICADO A LAS BOMBAS NATIONAL OIL WELL VARCO DE LOS GENERADORES DE VAPOR. 2018. Monografía. Universidad Industrial de Santander. Especialización en Gerencia de Mantenimiento

GUANUMEN ALMANZA, Jorge Isaías. DESARROLLO DE PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD RCM PARA LA ATRACCIÓN SPLASH DEL PARQUE SALITRE MÁGICO. 2019.Monografía.

ANEXOS

Anexo A. Diagrama de Decisión RCM

TAXONOMÍA				ANÁLISIS FUNCIONAL			
SISTEMA	SUBSISTEMA	COMPONENTE	SUB-COMPONENTE	FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA (Causa de la falla)	EFFECTOS DE LAS FALLAS (Qué sucede cuando falla)
Sistema de Transmisión		Correa dentada		Transmitir el movimiento del motor hidráulico a la corona principal del boring bar	No transmite movimiento al boring bar	Polea Desgastada Temperaturas Elevadas Desalineación	Se detiene por completo el equipo Puede generar daños en otros sistemas del equipo
		Polea dentada		Permitir la transmisión entregada por la correa al boring bar	No transmite movimiento al boring bar	Tensión Excesiva Desalineación Desgaste por corrosión Fatiga	Se detiene por completo el equipo.
		Rodamientos		Permitir el libre movimiento del tensor de la correa dentada	Se frena el tensor	Lubricación Incorrecta Vibraciones Desalineamiento	Se calienta la correa Se destensiona la correa
		Bujes de concentricidad de boring bar		Centrar el boring bar y mantener la lubricación en el mismo	Impide el centrado de las herramientas de corte	Lubricación Incorrecta Desgaste por horas de trabajo	Desgaste prematuro y consecuencias al boring bar Se puede detener el equipo por atascamiento o frenado.
		Boring Bar		Transmitir toda la potencia hidráulica a las herramientas de corte, permitiendo hermeticidad desde el interior hasta el exterior del equipo	No permite transmitir la potencia hidráulica	Fatiga Golpes Desalineación	No hay sello al momento de la operación Deformación Se detiene por completo la máquina
		Tuerca de ajuste de packing de vanilla retenedora		Comprimir los sellos para garantizar la hermeticidad del equipo	No genera hermeticidad del equipo	Exceso de ajuste Desgaste de la rosca Desgaste prematuro del material de la tuerca	Deja pasar producto de la línea al equipo Daños a la integridad del operador Impactos ambientales
		Ring drive boring bar		Soportar y proteger los mecanismos internos del par torsional generado hidráulicamente hacia el accesorio porta herramienta	No transmite el par torsional a la herramienta de corte	Fatiga	Parada de la herramienta de corte Fractura del pin retenedor del boring bar
		Tomillo sin fin		Permitir el avance y retroceso del boring bar	No permite el avance y retroceso del boring bar	Fatiga Lubricación Inadecuada Desgaste por corrosión	Parada del avance hidráulico Afectación a otras piezas de la máquina Parada de la operación
Sistema Hidráulico		Motor avance boring bar		Permitir el avance y retroceso del boring bar	No permite el desplazamiento del boring bar	Desgastes internos Abrasivos en el fluido hidráulico	Parada del equipo Deformación del sin fin
		Motor rotación de boring bar		Permitir la rotación del boring bar	No permite la rotación del boring bar	Desgastes internos Abrasivos en el fluido hidráulico	Parada del equipo Deformación del sin fin
		Mandos hidráulicos		Direccionar el flujo hidráulico a los motores de avance y rotación	No direcciona el flujo hidráulico a los motores de avance y rotación	Desgaste de los sellos o-ring Temperaturas Elevadas	Cruce de señales hidráulicas Daños durante la operación
Sistema de Potencia		Batería		Suministrar energía eléctrica al sistema de precalentamiento y arranque del motor, permite visualizar los testigos del tablero de instrumentación	No suministra energía eléctrica al sistema de precalentamiento	Mala conexión de los bornes Desgaste por uso Sobrecarga Fuga térmica	No enciende la unidad de poder Puede generar un corto circuito
		Sistema de enfriamiento (venta viola)		Mantener un temperatura controlada en las camisas de alojamiento de los pistones	No mantiene la temperatura de las camisas	Polea Desgastada Sobretensión de la correa Golpes	Aumenta la temperatura del motor Reducción del nivel de aceite Parada del equipo
		Filtro de aire		Limpiar el aire de admisión hacia la recámara de compresión	Permite el libre paso de las partículas abrasivas	Deterioro por uso Obstrucción por material contaminante	Daños internos en el motor Ruptura de piezas
		Alternador		Mantener la energía eléctrica de la batería	No mantiene la energía eléctrica	Polea Desgastada Correa Desgastada Desgaste de los rodamientos	No genera corriente eléctrica hacia la batería No permite encendido de la unidad de poder
		Filtro de Combustible		Proteger el sistema de inyección de sedimentos y partículas extrañas en el combustible, evitar impurezas que contiene el diesel	No protege el sistema de inyección	Uso excesivo Acumulación de sedimentos al interior Combustible irregular	Impide el paso de combustible al sistema de inyección
		Bomba Hidráulica		Suministrar fluido hidráulico a la tapping machine, generando presión y caudal hidráulico	No suministra fluido hidráulico	Vibraciones Cavitación Insuficiente presión	No permite el funcionamiento de la tapping machine Cavitación
		Valvula distribuidora		Direccionar el fluido hidráulico de conexión de trabajo y retorno de fluido a tanque	No direcciona el fluido hidráulico	Golpes Sobrepresión Sobrecalentamiento del sistema	No permite el funcionamiento de la tapping machine

Continuación Anexo A Diagrama de Decisión RCM

EVALUACIÓN DE CONSECUENCIAS					SELECCIÓN DE TAREAS (solo una aplica)						Descripción de la tarea propuesta	Frecuencia	Responsable
EVIDENTE				Oculta	Tareas a condición	Tareas de reacondicionamiento cíclico	Tareas de sustitución cíclica	Tarea de búsqueda de fallas	Comer a falla (Ningún mantenimiento preventivo)	El rediseño debe justificarse			
Salud	Seguridad	Ambiente	Operacional										
			x				x				Cambio de correa dentada	Cada 2000 h	Operario
			x		x						Inspección visual y ajuste	Despues de cada servicio	Operario
			x				x				Cambio de rodamientos	Anual	Operario
			x				x				Cambio de buje de concentricidad	Cada 2 años	Operario
			x		x						Inspección visual y verificación de centrado con comparador de caratula	Despues de cada trabajo	Operario
x							x				Cambio de tuerca de packing en material de bronce	Anual	Operario
			x		x						Inspección visual y ensayos no destructivos (Tritas Penetrantes)	Despues de cada servicio	Operario/Especialista en END
			x		x						Inspección visual y verificación de los hilos de la rosca, y concentricidad del eje	Anual	Operario
			x		x						Inspección visual y prueba en banco	Anual	Empresa tercerizada
			x		x						Inspección visual y prueba en banco	Anual	Empresa tercerizada
			x		x						Inspección visual y cambio de o-ring	Anual	Operario
			x				x				Cambio de batería	Anual	Operario
			x		x						Inspección visual y ajuste	Despues de cada servicio	Operario
			x				x				Cambio de filtro de aire	Cada 240 h	Operario
			x		x						Inspección visual y ajuste	Despues de cada servicio	Operario
			x				x				Cambio de filtro de combustible	Cada 240 h	Operario
			x		x						Inspección visual y prueba en banco	Anual	Empresa tercerizada
			x		x						Inspección visual y ajuste	Anual	Operario

Anexo B. Evaluación de NPR

SISTEMA	SUBSISTEMA	COMPONENTE	SUB-COMPONENTE	FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA (Causa de la falla)	EFECTOS DE LAS FALLAS (Qué sucede cuando falla)	S	O	D	NPR
Sistema de Transmisión		Correa dentada		Transmitir el movimiento del motor hidráulico a la corona principal del boring bar	No transmite movimiento al boring bar	Polea Desgastada Temperaturas Elevadas Desalineación	Se detiene por completo el equipo Puede generar daños en otros sistemas del equipo	4	3	2	24
		Polea dentada		Permitir la transmisión entregada por la correa al boring bar	No transmite movimiento al boring bar	Tensión Excesiva Desalineación Desgaste por corrosión Fatiga	Se detiene por completo el equipo.	7	2	2	28
		Rodamientos		Permitir el libre movimiento del tensor de la correa dentada	Se frena el tensor	Lubricación Incorrecta Vibraciones Desalineamiento	Se calienta la correa Se destensiona la correa	7	2	2	28
		Bujes de concentricidad de boring bar		Centrar el boring bar y mantener la lubricación en el mismo	Impide el centrado de las herramientas de corte	Lubricación Incorrecta Desgaste por horas de trabajo	Desgaste prematuro y consecuencias al boring bar Se puede detener el equipo por atascamiento o frenado.	9	2	8	144
		Boring Bar		Transmitir toda la potencia hidráulica a las herramientas de corte, permitiendo hermeticidad desde el interior hasta el exterior del equipo	No permite transmitir la potencia hidráulica	Fatiga Golpes Desalineación	No hay sello al momento de la operación Deformación Se detiene por completo la máquina	9	1	8	72
		Tuerca de ajuste de packing de varilla retenedora		Comprimir los sellos para garantizar la hermeticidad del equipo	No genera hermeticidad del equipo	Exceso de ajuste Desgaste de la rosca Desgaste prematuro del material de la tuerca	Deja pasar producto de la línea al equipo Daños a la integridad del operador Impactos ambientales	10	1	9	90
		Ring drive boring bar		Soportar y proteger los mecanismos internos del par torsional generado hidráulicamente hacia el accesorio porta herramienta	No transmite el par torsional a la herramienta de corte	Fatiga	Parada de la herramienta de corte Fractura del pin retenedor del boring bar	9	1	9	81
		Tomillo sin fin		Permitir el avance y retroceso del boring bar	No permite el avance y retroceso del boring bar	Fatiga Lubricación Inadecuada Desgaste por corrosión	Parada del avance hidráulico Afectación a otras piezas de la máquina Parada de la operación	10	1	9	90
Sistema Hidráulico		Motor avance boring bar		Permitir el avance y retroceso del boring bar	No permite el desplazamiento del boring bar	Desgastes internos Abrasivos en el fluido hidráulico	Parada del equipo Deformación del sin fin	10	2	9	180
		Motor rotación de boring bar		Permitir la rotación del boring bar	No permite la rotación del boring bar	Desgastes internos Abrasivos en el fluido hidráulico	Parada del equipo Deformación del sin fin	10	2	9	180
		Mandos hidráulicos		Direccionar el flujo hidráulico a los motores de avance y rotación	No direcciona el flujo hidráulico a los motores de avance y rotación	Desgaste de los sellos o-ring Temperaturas Elevadas	Cruce de señales hidráulicas Daños durante la operación	4	2	3	24
Unidad de Poder		Batería		Suministrar energía eléctrica al sistema de precalentamiento y arranque del motor, permite visualizar los testigos del tablero de instrumentación	No suministra energía eléctrica al sistema de precalentamiento	Mala conexión de los bornes Desgaste por uso Sobrecarga Fuga térmica	No enciende la unidad de poder Puede generar un corto circuito	4	2	9	72
		Sistema de enfriamiento (ventaviola)		Mantener una temperatura controlada en las camisas de alojamiento de los pistones	No mantiene la temperatura de las camisas	Polea Desgastada Sobretensión de la correa Golpes	Aumenta la temperatura del motor Reducción del nivel de aceite Parada del equipo	2	1	9	18
		Filtro de aire		Limpieza el aire de admisión hacia la recámara de compresión	Permite el libre paso de las partículas abrasivas	Deterioro por uso Obstrucción por material contaminante	Daños internos en el motor Ruptura de piezas	1	2	8	16
		Alternador		Mantener la energía eléctrica de la batería	No mantiene la energía eléctrica	Polea Desgastada Correa Desgastada Desgaste de los rodamientos	No genera corriente eléctrica hacia la batería No permite encendido de la unidad de poder	4	1	8	32
		Filtro de Combustible		Proteger el sistema de inyección de sedimentos y partículas extrañas en el combustible, evitar impurezas que contiene el diesel	No protege el sistema de inyección	Uso excesivo Acumulación de sedimentos al interior Combustible irregular	Impide el paso de combustible al sistema de inyección	4	2	9	72
		Bomba Hidráulica		Suministrar fluido hidráulico a la tapping machine, generando presión y caudal hidráulico	No suministra fluido hidráulico	Vibraciones Cavitación Insuficiente presión	No permite el funcionamiento de la tapping machine Cavitación	5	1	9	45
		Valvula distribuidora		Direccionar el fluido hidráulico de conexión de trabajo y retorno de fluido a tanque	No direcciona el fluido hidráulico	Golpes Sobrepresión Sobrecalentamiento del sistema	No permite el funcionamiento de la tapping machine	5	1	9	45