

**FORMULACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO FUNDAMENTADO EN LA
METODOLOGÍA DEL RCM PARA EL SISTEMA DE LUBRICACIÓN
CENTRALIZADO DE LA EXCAVADORA HITACHI EX3600-6 QUE OPERAN EN
COMPLEJO MINERO DRUMMOND LTD., LOMA – CESAR.**

**JASIR JAVIER CAMARGO LANZA
NÉSTOR ROMERO CASSIANI**

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

2018

**FORMULACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO FUNDAMENTADO EN LA
METODOLOGÍA DEL RCM PARA EL SISTEMA DE LUBRICACIÓN
CENTRALIZADO DE LA EXCAVADORA HITACHI EX3600-6 QUE OPERAN EN
COMPLEJO MINERO DRUMMOND LTD., LOMA – CESAR.**

**JASIR JAVIER CAMARGO LANZA
NÉSTOR ROMERO CASSIANI**

**Monografía de grado presentada como requisito para obtener el título de
Especialista en Gerencia de Mantenimiento**

Director

**LOBSANG GERMÁN RODRÍGUEZ PEÑARANDA
Especialista en Evaluación y Gerencia de Proyectos**

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

2018

CONTENIDO

	Pag.
INTRODUCCIÓN	13
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	15
2. OBJETIVOS.....	17
2.1 OBJETIVO GENERAL.....	17
2.2 OBJETIVO ESPECÍFICOS.....	17
3. JUSTIFICACIÓN.....	18
4. ALCANCE	19
5. ANÁLISIS DE LA LITERATURA RECOPIADA	20
5.1 MARCO TEÓRICO	20
5.1.1 Evolución del Mantenimiento.....	20
5.1.2 Mantenimiento Centrado en Confiabilidad.....	28
5.1.2.1 Funciones de los activos	29
5.1.2.2 Fallas funcionales	30
5.1.2.3 Modos de falla	30
5.1.2.4 Efectos de falla	31
5.1.2.5 Consecuencias de falla.....	31
5.1.2.6 Tareas proactivas e intervalos de tareas	32
5.1.2.7 Hoja de información del RCM.....	33
5.1.2.8 Diagrama de decisión del RCM	34
5.1.2.9 Hoja de decisión del RCM	35
5.1.3 Los objetivos del RCM.....	36
5.1.4 Ventajas y desventajas en el RCM.....	36

5.1.4.1 Ventajas.....	36
5.1.4.2 Desventajas	36
5.2 DESCRIPCIÓN DE LA EXCAVADORA HITACHI MODELO EX3600-6	37
5.2.1 Aditamento o accesorio frontal	39
5.2.2 Corona de giro o cojinete de rotación	43
5.2.3 Sistema de lubricación centralizado	45
5.2.3.1 Bomba de grasa	49
5.2.3.2 Válvula de venteo	52
5.2.3.3 Las regletas de inyectores de grasa	53
5.2.3.3.1 Ciclo de carga y descarga de un inyector SL-1	54
5.2.3.4 Control del sistema de lubricación automática centralizado	55
6. ANÁLISIS RCM DEL SISTEMA DE LUBRICACIÓN CENTRALIZADO DE LA EXCAVADORA HITACHI EX3600-6.....	60
6.1 HOJA DE INFORMACIÓN DE RCM.....	60
6.2 HOJA DE DECISIÓN DE RCM.....	69
6.3 LISTAS DE CHEQUEO	73
7. CONCLUSION	75
BIBLIOGRAFÍA.....	76

LISTA DE FIGURAS

	Pag.
Figura 1. Evolución de la expectativa del mantenimiento.	22
Figura 2. Curva de patrón de falla de punto de vista tradicional	24
Figura 3. Curva de los 6 patrones de falla	25
Figura 4. Curva de intervalo P-F	27
Figura 6. Ilustración de la Excavadora Hitachi EX3600-6	38
Figura 7. Ilustración del Cilindro de la Excavadora Hitachi EX3600-6	40
Figura 8. Ilustración del Boom Excavadora Hitachi EX3600-6.....	40
Figura 9. Ilustración del Brazo Excavadora Hitachi EX3600-6.....	41
Figura 10. Ilustración del Brazo Excavadora Hitachi EX3600-6.....	41
Figura 11. Ilustración del Accesorio Frontal Excavadora Hitachi EX3600-6	42
Figura 12. Ilustración Superestructura, Corona de giro y Tren inferior, Excavadora Hitachi EX3600-6	43
Figura 13. Ilustración sección de la Corona de giro, Excavadora Hitachi EX3600-6	44
Figura 14. Bomba y depósito de grasa, Excavadora Hitachi EX3600-6.....	46
Figura 15. Panel de lubricación, Excavadora Hitachi EX3600-6.....	47
Figura 16. Regleta de inyectores de la corona de giro, Excavadora Hitachi EX3600-6.....	47
Figura 17. Pistola para engrase manual, Excavadora Hitachi EX3600-6.....	48
Figura 18. Esquema de la bomba de grasa Lincoln modelo 85482	50
Figura 19. Ilustración de la bomba grasa y depósito de grasa de la retroexcavadora EX3600-6.....	51
Figura 20. Ilustración de la válvula de venteo	52
Figura 21. Ilustración de regleta de 4 inyectores de grasa serie SL-1 Lincoln.....	53
Figura 22. Ilustración de las 4 etapas del ciclo de carga y descarga de un inyector de grasa serie SL-1 Lincoln	54
Figura 23. Ilustración del circuito para control de lubricación automática	57

Figura 24. Ilustración del circuito para control de lubricación manual.....59

LISTA DE TABLAS

	Pag.
Tabla 1. Hoja de información del RCM	33
Tabla 2. Diagrama de decisión del RCM	34
Tabla 3. Hoja de decisión del RCM.....	35
Tabla 4. Parámetros de rendimiento de la bomba Lincoln modelo 85482	50
Tabla 5. Lista de chequeo para los operadores	73
Tabla 6. Lista de chequeo para mantenimiento	74

RESUMEN

TÍTULO:

FORMULACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO FUNDAMENTADO EN LA METODOLOGÍA DEL RCM PARA EL SISTEMA DE LUBRICACIÓN CENTRALIZADO DE LA EXCAVADORA HITACHI EX3600-6 QUE OPERAN EN COMPLEJO MINERO DRUMMOND LTD., LOMA – CESAR.¹

AUTORES:

JASIR JAVIER CAMARGO LANZA

NÉSTOR ROMERO CASSIANI²

PALABRAS CLAVES:

Confiabilidad, disponibilidad, lubricación centralizada, RCM.

CONTENIDO:

El presente proyecto formula un plan de mantenimiento bajo la metodología del RCM para el sistema de lubricación centralizado de la excavadora HITACHI modelo EX3600-6 como estrategia para aumentar la confiabilidad y disponibilidad de éste sistema, impactando de manera positiva también en la confiabilidad y disponibilidad en la flota de éstas excavadoras que operan en el complejo minero de Drummond Ltd.

Para su consecución, inicialmente describe de forma general la excavadora Hitachi modelo EX3600-6, como está compuesta estructuralmente, luego una descripción del funcionamiento del sistema de lubricación central de la máquina y componentes que lo conforman, definiendo su función principal y sus funciones secundarias. El siguiente paso se identifican las fallas funcionales y los modos de fallas asociados a cada falla funcional, se describen los efectos que causan los modos de falla en la seguridad, operación y medio ambiente; y al final con la ayuda del diagrama de decisión del RCM se definen las tareas estrictamente necesarias del plan de mantenimiento para el sistema de lubricación centralizado de la excavadora Hitachi EX3600-6.

Luego ilustra dos listas de chequeo (una para el operador y otra para el departamento de mantenimiento) donde se listan las tareas del plan de mantenimiento.

¹ Monografía de especialización

² Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Especialización en Gerencia de Mantenimiento. Director: Ing. Lobsang Rodríguez.

ABSTRACT

TITULE:

FORMULATION OF THE PLAN MAINTENANCE BASIS IN THE METHODOLOGY RCM FOR THE CENTRALIZED LUBRICATION SISTEM OF THE EXCAVATOR HITACHI EX3600-6 WITH OPERATION IN THE COMPLEX MINIG DRUMMOND LTD., LOMA – CESAR.

AUTHOR:

JASIR JAVIER CAMARGO LANZA
NESTOR JAVIER ROMERO CASSIANI

KEYWORDS:

Reliability, Availability, Centralized Lubrication, RCM.

CONTENTS:

The present project formulates a maintenance plan basis in the methodology RCM for the centralized lubrication system of the excavator HITACHI MODEL EX3600-6 as strategy for increment the reliability and availability in this system, affecting positively in productivity and availability all the excavators from the complex mining DRUMMOND LTD.

Firstly, we describe generally the excavator HITACHI 3600-6, next the description functioning centralized lubrication system and the components, defining principal and secondary functions. After that we examine the function failures and modes failures associated with each functional failure, describe the effects origin the modes failure in the operation, security and environment; last of all with help's diagram of decision of RCM are explains the job of the maintenance plain for centralized lubrication system of excavator HITACHI 3600-6.

It then illustrates two checklists (one for the operator and one for the maintenance department) where the tasks of the maintenance plan are listed.

INTRODUCCIÓN

Los activos físicos en cualquier sector industrial cumplen un papel fundamental, el tiempo de parada de ellos afecta su capacidad de producción, aumentan los costos operacionales y en la mayoría de los casos se ve afectado el servicio al cliente. Por esto todo departamento de producción tiene la necesidad de contar con activos físicos disponibles y confiables para alcanzar las metas establecidas.

A medida que adquirimos conciencia de la importancia de los activos en un negocio, es mayor el interés en mantenerlos de la mejor manera para que sigan realizando su función. Todo activo físico es puesto en marcha porque alguien desea que haga algo. De esto surge que cuando mantenemos un activo, el estado en el cual deseamos conservarlo debe ser aquél en el cual continúe haciendo lo que quienes lo utilizan desean que haga. Esto a su vez implica que debemos prestar atención en mantener lo que el activo hace, más que en lo que el activo es.

Anteriormente en la industria se desarrollaban políticas genéricas de mantenimiento para la mayoría de los activos, es decir, los planes de mantenimiento eran diseñados y aplicados generalmente para todos aquellos activos físicos idénticos. Este paradigma ha cambiado, hoy en día los planes de mantenimiento sólo deben aplicarse en activos físicos idénticos cuya función y contexto operacional sean idénticos.

Los planes de mantenimiento no es más que una serie de tareas que de manera planeada y programadas se deben realizar a un activo físico o sistema productivo con una frecuencia determinada. El plan de mantenimiento influye de manera notable en la confiabilidad de un activo, ya que si es certero, adecuado y justificado está constituido por las tareas absolutamente necesarias, es decir, no más de las

actividades requeridas y no menos de las mismas³. El resultado de ejecutar estas tareas de mantenimiento es asegurar que los activos físicos continúen haciendo lo que sus usuarios quieren que haga⁴.

Los planes de mantenimiento centrado en confiabilidad, enfocados bajo la técnica del RCM (Reliability-centred Maintenance), contienen una serie de tareas que aseguran la disponibilidad y confiabilidad del activo preservando sus funciones teniendo en cuenta su contexto operacional actual.

En todo sector industrial la técnica del RCM se está volviendo fundamental para la custodia responsable de los activos. No existe ninguna otra técnica comparable para determinar la cantidad mínima segura de tareas que deben ser hechas para preservar las funciones de los activos físicos⁵.

³<https://reliabilityweb.com/sp/articles/entry/definicion-de-las-frecuencias-para-un-plan-de-mantenimiento>

⁴ MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad RCM II ed. Español. Asheville: Aladon, 2004. Pág. 7

⁵ MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad RCM II ed. Español. Asheville: Aladon, 2004. Pág. 7

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El complejo minero de Drummond Ltd., es una mina a cielo abierto que en la década de los 90 inicia sus operaciones de exploración, explotación y exportación de carbón mineral localizado en el departamento del Cesar - Colombia, específicamente entre los municipios de El Paso, La Jagua de Ibirico y Chiriguaná.

Entre los diversos equipos utilizados para llevar a cabo sus operaciones se encuentran cuatro excavadoras marca HITACHI modelo EX3600-6. Ésta es una máquina con un peso en servicio de 360 toneladas, con una altura de 7.83 metros, un ancho de 9.42 metros y un radio de acción de 24.39 metros.

La excavadora EX3600-6 está conformada por una estructura inferior o tren de rodaje que le permite autopropulsarse, una estructura superior o superestructura que está acoplada al tren de rodaje a través de un cojinete de rotación conocido también como corona de giro, el cojinete de rotación hace posible que la superestructura realice giros hasta de 360°. Está conformada por un aditamento o accesorio frontal que va acoplado a la superestructura, el accesorio frontal se divide en tres componentes: Boom, Brazo y balde, cada uno de estos componentes tiene dos cilindros que son accionados hidráulicamente y se encargan de transmitir el movimiento. La combinación adecuada de movimientos de estos tres componentes es lo que logra realizar las tareas de excavación.

Ésta excavadora se encuentra equipada con un sistema de lubricación centralizado que se encarga de mantener engrasado los rodamientos que conforman la corona de giro, como también los pasadores y bujes que van en las articulaciones de los componentes del accesorio frontal.

El presente proyecto formula un plan de mantenimiento bajo la metodología del RCM para éste sistema de lubricación, como estrategia para mejorar la

disponibilidad de la flota de excavadoras Hitachi modelo EX3600-6 en la mina de Drummond Ltd.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Formular un plan de mantenimiento fundamentado en la metodología del RCM para el sistema de lubricación centralizado de la excavadora Hitachi EX3600-6 que operan en complejo minero Drummond Ltd., Loma – Cesar.

2.2 OBJETIVO ESPECÍFICOS

2.2.1 Estudiar y entender la norma SAE JA1011 para asegurar la aplicación correcta del plan de mantenimiento a la metodología RCM.

2.2.2 Interpretar la norma SAE JA1012 para aplicar al plan de mantenimiento las técnicas del RCM.

2.2.3 Definir la función principal y funciones secundarias del sistema de lubricación centralizado de la excavadora Hitachi EX3600-6.

2.2.4 Identificar las fallas funcionales del sistema de lubricación centralizado de la excavadora Hitachi EX3600-6.

2.2.5 Definir cada modo de falla para cada una de las fallas funcionales del sistema de lubricación centralizado de la excavadora Hitachi EX3600-6.

2.2.6 Describir los efectos que causan los modos de falla en la seguridad, medio ambiente y operación.

2.2.7 Implementar el diagrama de decisión del RCM para definir las tareas del plan de mantenimiento del sistema de lubricación centralizado de la excavadora.

3. JUSTIFICACIÓN

La lubricación en la excavadora Hitachi EX3600-6 es fundamental para su operación, cuando el sistema de lubricación centralizado se encuentra fuera de servicio inmediatamente la máquina sale de producción y se le entrega al departamento de mantenimiento para realizar el correctivo. Una lubricación eficiente en los rodamientos de la corona de giro, en pasadores y bujes del accesorio frontal evita el desgaste prematuro y sobrecalentamiento de éstos componentes producto de la fricción de metal con metal, alcanzando así su vida útil para la cual fueron diseñados.

En la actualidad las fallas del sistema de lubricación centralizado representan un 40% del total de las fallas de la máquina, afectando significativamente la disponibilidad de la flota. Se realizan son mantenimientos correctivos, no se cuenta con un plan de mantenimiento bien estructurado para este sistema.

Por lo expuesto anteriormente, se formula un plan de mantenimiento bajo la metodología del RCM para el sistema de lubricación centralizado de las excavadoras Hitachi EX3600-6, que tiene como objetivo aumentar su disponibilidad y confiabilidad, impactando de manera positiva la disponibilidad de la flota.

4. ALCANCE

Los autores se comprometen a Formular un plan de mantenimiento fundamentado en la metodología del RCM para el sistema de lubricación centralizado de la excavadora Hitachi EX3600-6 que operan en complejo minero Drummond Ltd., Loma – Cesar.

Para llevarlo a cabo se comienza definiendo las funciones principales y secundarias de este sistema, identificando las fallas funcionales y los modos de fallas asociados a éstas fallas funcionales, describiendo los efectos que causan los modos de falla en la seguridad, medio ambiente y operación; todo esto con el objetivo de definir las tareas del plan de mantenimiento mínimas requeridas para asegurar que el sistema de lubricación central de la excavadora Hitachi EX3600-6 mejore en disponibilidad y sea más confiable.

5. ANÁLISIS DE LA LITERATURA RECOPIADA

5.1 MARCO TEÓRICO

5.1.1 Evolución del Mantenimiento: Antes de hablar como se ha venido desarrollando el mantenimiento a lo largo del tiempo primero hablemos de su significado.

Los diccionarios más importantes definen *mantener* como: *causar que continúe* (Oxford), o *conservar su estado existente* (Webster), o *conservar cada cosa en su ser* (Real Academia Española)⁶. Esto sugiere que “mantenimiento” significa preservar algo.

Según estos conceptos podemos decir que una de las definiciones del mantenimiento es: un conjunto de actividades desarrolladas con el fin de asegurar que cualquier activo continúe desempeñando las funciones deseadas o de diseño⁷. Entiéndase por activo todo aquello que tiene valor potencial o real para una organización, ejemplo: Planta, instalación, maquinaria, edificios, vehículos, etc.

El inicio del mantenimiento data del periodo que se va hasta principios de la segunda Guerra Mundial. En aquel entonces los procesos en las industrias eran muy dependientes de la cantidad de personas que laboraban y poco mecanizado, por tal motivo a los tiempos de paradas de las máquinas se le restaba importancia. Esto llevó a que los gerentes no tenían como prioridad la prevención de las fallas en los equipos. A su vez no se contaba con maquinaria de alta complejidad, y la mayoría estaban sobredimensionados. Esto hacía las labores de mantenimiento mucho más

⁶ MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad RCM II ed. Español. Asheville: Aladon, 2004. Pág. 6

⁷ Salazar López, Bryan. Mantenimiento Industrial. Colombia. [En línea] Disponible en: <https://www.ingenieriaindustrialonline.com/herramientas-para-el-ingeniero-industrial/mantenimiento/>

simples y confiables. Por consiguiente, no se requería de un mantenimiento exhaustivo ni con un gran plan de ejecución y solo necesitaba de una buena rutina de limpieza, servicio y lubricación. No se necesitaba contar con grandes habilidades de mantenimiento a diferencia de nuestra época actual.

Durante la segunda guerra mundial se presentaron cambios significativos. En los tiempos de guerra creció la demanda de todo bien, a su vez que decrecía el número de trabajadores en la industria. Esto conllevó a aumentar la producción por mecanizado. Cerca de 1950 se presentó un aumento en la productividad en los equipos (cantidad) volviéndolos con el tiempo mucho más complejos. El sector industrial se volvía cada vez más dependiente de ellas.

Al ser cada vez más evidente esta dependencia, se empezó a dar importancia en los tiempos que la máquina duraba en condiciones no operativas, esto llevó a la idea que las fallas en los equipos podían y debían prevenirse, lo que dio lugar a la creación del *mantenimiento preventivo*.

El costo del mantenimiento comenzó a crecer rápidamente en consideración a otros costos operacionales. Esto llevó al desarrollo de *sistemas de planeamiento y control del mantenimiento*. Estos ciertamente ayudaron a tener el mantenimiento bajo control y han sido establecidos como parte de la práctica del mantenimiento.

La tercera etapa del mantenimiento se da a mediados de los setenta, la industria se sintió impulsada hacer cambio en sus procesos, cambios que permitieran llevar estos procesos de una manera más organizada, cambios de paradigmas. No solamente disponibilidad de activos y costos. Surgen nuevas expectativas, nuevas investigaciones y nuevas técnicas.

La figura 1 muestra cómo se han venido presentando los cambios de expectativa en cuanto al mantenimiento se refiere.

Figura 1. Evolución de la expectativa del mantenimiento.



Fuente: MOUBRAY, Jhon. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad RCM II ed. Español. Asheville: Aladon, 2004. Pág.3

Los tiempos de paradas de máquinas siempre han afectado la capacidad productiva de los activos físicos limitando los volúmenes de producción, aumentando los costos operativos e interfiriendo con el servicio a clientes. En la década de los setenta esto ya preocupaba en los sectores de minería, manufactura y transporte. En manufactura, los efectos de tiempos de paro se agravan con el advenimiento mundial de los sistemas “just-in-time”, implicando que los reducidos stocks de material en proceso hagan altamente probable que hoy, aún fallos menores, ya conlleven la posibilidad de parar toda una planta. En tiempos recientes, la mayor mecanización y automatización ha traído consigo que la confiabilidad y disponibilidad se han transformado en cuestiones clave en sectores tan diversos como la atención de salud, procesamiento de datos, telecomunicaciones y administración de edificios.

Los costos de mantenimiento también han venido jugando un papel importante durante varias décadas, tanto que pasó a ser prioridad en el control de costo en las industrias. En algunas organizaciones es hoy el segundo elemento de costo en incidencia. Esto obedece al gran auge de la automatización en la industria, que trajo consigo más tecnología, innovación, etc. Entre más complejas las máquinas

conlleven a planes de mantenimiento más complejos por ende mayores tareas de mantenimiento.

La importancia de estos dos aspectos de la administración de los activos físicos (tiempos de paradas y costos de mantenimiento), hace que muchos gerentes y jefes de mantenimiento sigan considerándolos como los únicos objetivos significativos de mantenimiento.

Sin embargo, esto ha dejado de ser cierto. La función de mantenimiento hoy tiene un espectro amplio de objetivos adicionales.

El mayor nivel de automatización implica que más y más fallos afecten nuestra habilidad de alcanzar y mantener niveles de calidad satisfactorios. Esto se relaciona tanto con estándares de servicio como con la calidad de los productos. Así, por ejemplo, los fallos de los equipos que afectan el control de temperatura en un edificio o una red de transporte, interfieren tanto como la consecución permanente de la especificación de tolerancias de producción.

Otro resultado del incremento de automatización es el aumento de la cantidad de fallos que tienen serias consecuencias sobre la seguridad o el medio ambiente, cuando simultáneamente las exigencias respecto de estas variables están creciendo rápidamente. En muchos lugares del mundo se ha llegado al punto en que las organizaciones, o bien se adaptan a las expectativas de la sociedad respecto de seguridad y medio ambiente, o son clausuradas. Esta realidad agrega una nueva dimensión a nuestra dependencia de la integridad de los activos físicos: va más allá de los costos para transformarse en una cuestión de sobre vivencia de ciertas empresas.

Al mismo tiempo que crece nuestra dependencia de los activos físicos, también crece su costo. Costo de operarlos y costo de tenerlos. Para asegurar el máximo

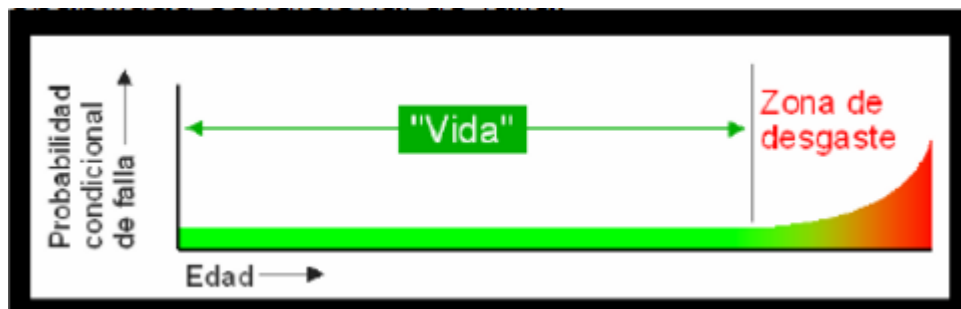
retorno sobre la inversión que significan, deben ser mantenidos en condiciones de operación eficiente durante todo el tiempo que sus usuarios así lo deseen.

Estos desarrollos significan que el mantenimiento actual desempeña un rol que se desplaza crecientemente hacia los objetivos de preservar todos los aspectos de la salud física, financiera y competitiva de la empresa. Esto a su vez implica que los profesionales del mantenimiento se deben a sí mismos y a sus empleadores el equiparse con las herramientas necesarias para resolver estas cuestiones en forma continua, proactiva y directa y no manejarlas “ad-hoc” cuando el tiempo lo permite.

Con las nuevas investigaciones se cambia el paradigma que se tenía de que los activos son más propensos a fallar cuando van envejeciendo, actualmente se tiene certeza de que la mayoría de los fallos de los activos no son más probables cuando el equipo envejece.

Durante décadas se pensó que las fallas en los activos obedecían a un patrón como se muestra en la figura 2.

Figura 2. Curva de patrón de falla de punto de vista tradicional

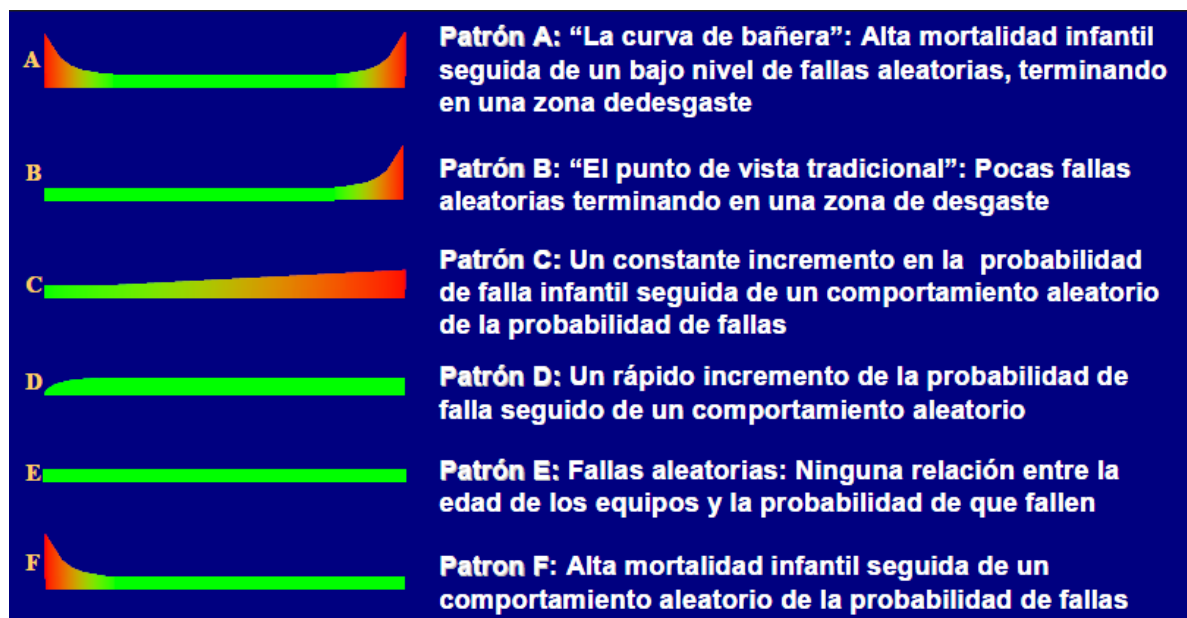


Fuente: <https://reliabilityweb.com/sp/articles/entry/mantenimiento-el-nuevo-paradigma>, revisado junio 15 de 2017

La probabilidad de falla es mayor a medida que el tiempo en servicio del activo aumenta, llevando trazabilidad a los componentes se obtenían datos históricos de su vida útil, cuando el componente se acerca a la zona de desgaste (Zona donde aumenta la probabilidad de falla) se ejecutan acciones preventivas, realizando tareas de reacondicionamiento, denominado también como tareas de mantenimiento cíclicas.

Debido a la complejidad de los activos físicos, las nuevas investigaciones llevaron a concluir que no sólo existe un patrón de fallas, existen 6 patrones que se muestran en la figura 3.

Figura 3. Curva de los 6 patrones de falla



Fuente: <https://es.slideshare.net/avanzado2/5-las-fallas>, revisado junio 15 de 2017

Analizando los patrones de fallas, encontramos que en los activos físicos gobernados por los patrones A, B y C, el incremento de probabilidad de falla está relacionada con la edad, es decir, sólo en estos activos puede implementarse el reacondicionamiento o mantenimiento cíclico. El patrón D muestra un bajo

incremento de la probabilidad de falla seguido de un comportamiento aleatorio, mientras el patrón E muestra una probabilidad constante a cualquier edad, es decir, fallas aleatorias. El patrón F comienza con una alta probabilidad de mortalidad infantil para decaer a una probabilidad falla aleatoria.

Los estudios realizados en la aviación civil mostraron que 4% de los componentes tienen un comportamiento acorde patrón A, 2% con el B, 5% con el C, 7% con el D, 14% con el E y nada menos que 68 % con el F. (La distribución de estos patrones en la aviación, no necesariamente es la misma que en la industria. Pero a medida que los equipos se tornan más complejos, más y más componentes se comportan de acuerdo con los patrones de fallo E y F).

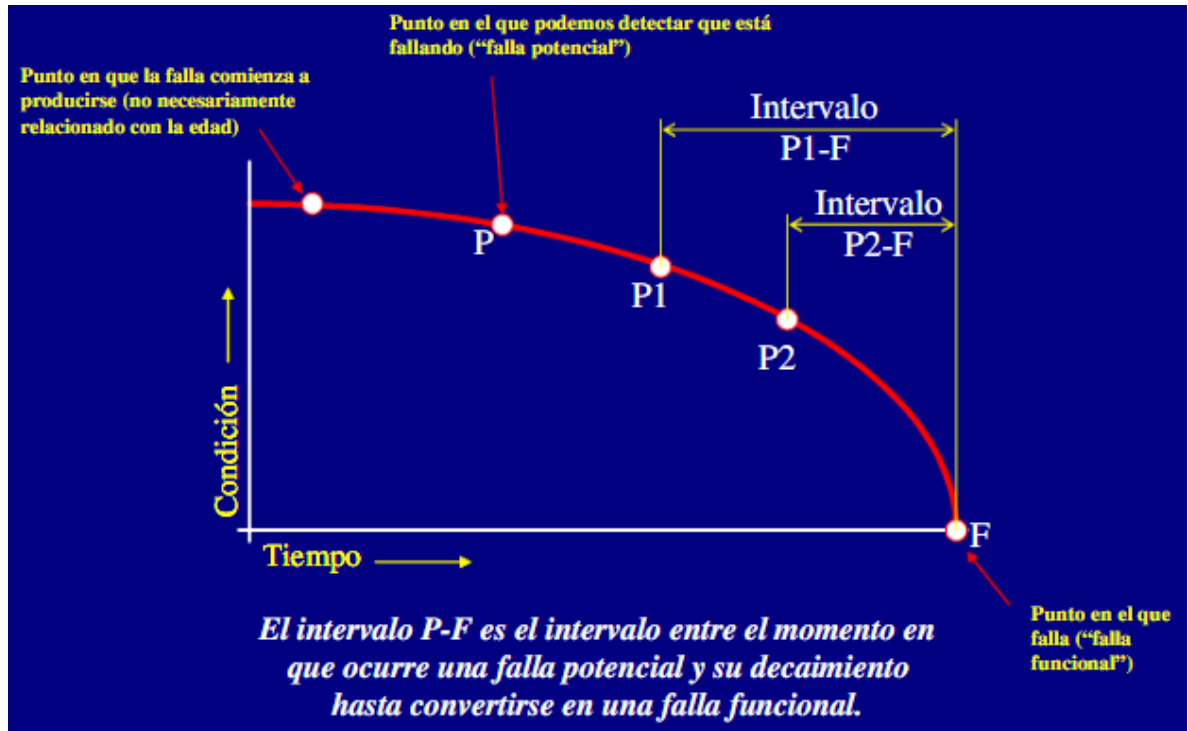
De acuerdo a estos estudios la mayoría de los componentes tienen una probabilidad de falla acorde al patrón F, es decir, no tienden a ocurrir a medida que pasa el tiempo, la probabilidad de falla es aleatoria, por lo tanto, no sería eficaz aplicar reacondicionamiento o sustitución cíclica.

En éste punto se da otro cambio de paradigma, de realizar tareas de mantenimiento cíclicas se pasa a realizar tareas de mantenimiento predictivas o inspecciones programadas. La frecuencia con que se realizan estas tareas de inspecciones programadas deben basarse en la duración del periodo de desarrollo de la falla”, también conocido como “tiempo de demora hasta la falla” o intervalo P-F.

La figura 4 muestra las tres fases de una falla, hay un punto donde la avería comienza (no necesariamente relacionada con la edad), luego la falla sigue incrementándose hasta llegar a un punto P (Punto de falla potencial), es en éste punto donde la falla se puede detectar físicamente, a partir del punto P la falla crece a un ritmo más acelerado hasta llegar al punto F (Punto de falla funcional). El tiempo que transcurre desde el punto P al punto F es conocido como intervalo P-F.

El intervalo P-F define la frecuencia con la que se deben realizar las tareas de mantenimiento predictivo y se puede medir en diferentes unidades, ya sea de tiempo (medición más frecuente), número de paradas, unidades producidas, etc.

Figura 4. Curva de intervalo P-F



Fuente: <https://reliabilityweb.com/sp/articles/entry/mantenimiento-el-nuevo-paradigma>, revisado junio 15 de 2017

El intervalo de las inspecciones programadas debe ser menor que el intervalo P-F con el fin de detectar la falla potencial a tiempo, un retraso en las inspecciones se podría no estar descubriendo el punto P1 de la figura 4 si no el punto P2 que está más cercano a la falla funcional y, por lo tanto, al tener un intervalo P-F menor, será menor el tiempo que se tiene para evitar o disminuir las consecuencias de las fallas o en su defecto ya no habrá tiempo para evitar la falla.

5.1.2 Mantenimiento Centrado en Confiabilidad: El mantenimiento basado en confiabilidad (RCM) por las siglas en inglés Reliability centred Maintenance; es una metodología que sirve como guía para la elaboración o modificación de un plan de mantenimiento de los activos físicos de una organización de cualquier sector industrial, para tomar decisiones acertadas en cuanto a la intervención oportuna de los equipos y así prevenir las consecuencias críticas por fallos.

La primera industria en aplicar RCM a sus activos físicos fue la industria de la aviación. El elemento crucial que provocó esta reacción, fue el darse cuenta que se debe dedicar tanto esfuerzo en asegurarse que se están realizando las tareas correctamente como en asegurarse que se están haciendo las tareas correctas. El darse cuenta de esto dio lugar al desarrollo de procesos de tomas de decisión comprensivos que se conocieron dentro de la industria aeronáutica con el nombre de MSNG3 y fuera de esta como Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad o RCM⁸.

En la actualidad la técnica del RCM se está volviendo fundamental para la custodia responsable de los activos físicos de una organización. No existe ninguna otra técnica comparable para determinar la cantidad mínima segura de tareas que deben realizarse para preservar las funciones de los activos físicos, especialmente en situaciones críticas o peligrosas. El reciente reconocimiento mundial del papel fundamental que juega ésta técnica para la formulación de las estrategias de administración de activos y la importancia de aplicarla correctamente, condujo a la American Society of Automotive Engineers a publicar la norma SAE JA 1011: “Criterio de Evaluación del Proceso de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM)”⁹.

⁸ Fuente: MOUBRAY, Jhon. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad RCM II ed. Español. Asheville: Aladon, 2004. Pág.6

⁹ Fuente: MOUBRAY, Jhon. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad RCM II ed. Español. Asheville: Aladon, 2004. Pág.6

La norma SAE JA 1011 surge en el año 1999, luego en el 2012 sale la norma SAE JA 1012. Tal como lo anuncia la introducción de ambas normas, no intentan ser un manual ni una guía de procedimientos, sino que simplemente establecen unos criterios mínimos que debe satisfacer una metodología para que pueda llamarse RCM¹⁰.

Según la norma SAE JA 1011 cualquier proceso RCM debe asegurarse de responder satisfactoriamente las siguientes 7 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)?

5.1.2.1 Funciones de los activos: Según la norma SAE JA 1011 se deben definir todas las funciones de los activos físicos dentro de su contexto operacional, entendiéndose por contexto operacional las condiciones bajo las cuales el activo o sistema trabaja u opera.

Las funciones se categorizan en primarias y secundarias. Las primarias son aquellas que constituyen la razón principal por la cual el activo físico fue adquirido.

¹⁰ <http://rcm3.org/la-norma-sae-ja-1011>

Las secundarias son las que el activo tiene que cumplir aparte de sus funciones primarias, tales como aquellas que se necesitan para cumplir con los requerimientos regulatorios y aquellas a las cuales conciernen los problemas de protección, control, contención, confort, apariencia, eficiencia de energía e integridad estructural¹¹.

Estas funciones deben estar claramente definidas por un verbo, objeto y un estándar de desempeño. Estos estándares de desempeño son definidos por los dueños de los activos, deben ser cuantificados en la medida de las posibilidades.

5.1.2.2 Fallas funcionales: Las fallas son todas aquellas situaciones que ocurren y que conllevan a que el activo físico deje de hacer lo que sus usuarios quieren que haga, sacan al activo de su estándar de funcionamiento.

En el mundo del RCM, los estados de falla se conocen como fallas funcionales porque ocurren cuando el activo no puede cumplir una función de acuerdo al parámetro de funcionamiento que el usuario considera aceptable¹².

Las fallas pueden ser evidentes u ocultas. Las fallas evidentes cuando ocurren son visibles para el personal operativo, es decir, activan una alarma sonora o lumínica, etc... Las fallas ocultas no son evidentes para el personal de operaciones en el momento de su ocurrencia. Cabe resaltar que con tareas de ingeniería las fallas ocultas se pueden convertir en fallas evidentes.

5.1.2.3 Modos de falla: Los modos de fallas son condiciones que al presentarse en los activos físicos ocasionan una falla funcional de éste. Se deben identificar

¹¹ SAE JA1011. Evaluations criteria for reliability-centered maintenance (RCM) processes. Society of Automotive Engineer, Inc. 1999.

¹² MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad RCM II ed. Español. Asheville: Aladon, 2004. Pág. 9

todos los modos de fallas posibles, para esto se debe ser lo más razonablemente posible, es importante tener claro las funciones primarias y secundarias del activo.

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 operacional¹³.

5.1.2.4 Efectos de falla: Los efectos de las fallas describen claramente lo que sucede en el activo cuando ocurre un modo de falla. Describir los efectos de las fallas viene hacer el cuarto paso en el proceso del RCM.

Los efectos de falla deben incluir toda la información necesaria para apoyar la evaluación de las consecuencias de la falla, tales como¹⁴:

1. ¿Qué evidencia (si existe alguna) que la falla a ocurrido
2. ¿De qué modo representa una amenaza para la seguridad o el medio ambiente (si la representa)
3. ¿De qué manera afecta a la producción o las operaciones (si las afecta)
4. ¿Qué daños físicos (si los hay) han sido causados por la falla
5. ¿Qué debe hacerse para reparar la falla

5.1.2.5 Consecuencias de falla: Las consecuencias de la falla es el resultado de la ocurrencia de los modos de falla, es la afectación que producen estos modos de falla al activo, impacto en la operación, seguridad y medio ambiente, además se especifican los costos que se generan por la parada del activo (lo que deja de

¹³ SAE JA1011. Evaluations criteria for reliability-centered maintenance (RCM) processes. Society of Automotive Engineer, Inc. 1999.

¹⁴ MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad RCM II ed. Español. Asheville: Aladon, 2004. Pág. 10.

producir el activo) y los costos de mantenimiento, es decir, cuánto cuesta colocar el equipo disponible y confiable.

La valoración de las consecuencias de falla se debe llevar a cabo como si ninguna tarea específica se esté considerando actualmente con el objetivo de anticipar, prevenir o detectar la falla¹⁵.

5.1.2.6 Tareas proactivas e intervalos de tareas: Después de describir las consecuencias de falla el siguiente paso es encontrar una tarea proactiva que sea físicamente posible de realizar y que reduzca estas consecuencias de falla al punto que sea tolerable para el dueño o el usuario del activo. Si se puede encontrar dichas tareas, se dice que es técnicamente factible. Si una tarea es técnicamente factible se entra a analizar si dicha tarea reduce las consecuencias de la falla a un punto que justifique los costos directos e indirectos de hacerlos. Entiéndase por costos directos los costos por la labor o de los materiales necesarios para hacer la tarea y para cualquier otro trabajo de reparación asociado; costos indirectos incluye los costos de todo tiempo muerto necesario para realizar la tarea¹⁶.

¹⁵ SAE JA1011. Evaluations criteria for reliability-centered maintenance (RCM) processes. Society of Automotive Engineer, Inc. 1999.

¹⁶ MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad RCM II ed. Español. Asheville: Aladon, 2004. Pág. 95.

5.1.2.7 Hoja de información del RCM: Después de realizar el análisis de modos de falla y efectos (AMFE) para cada falla funcional, la información obtenida se relaciona en la hoja de información del RCM. Ver tabla 1.

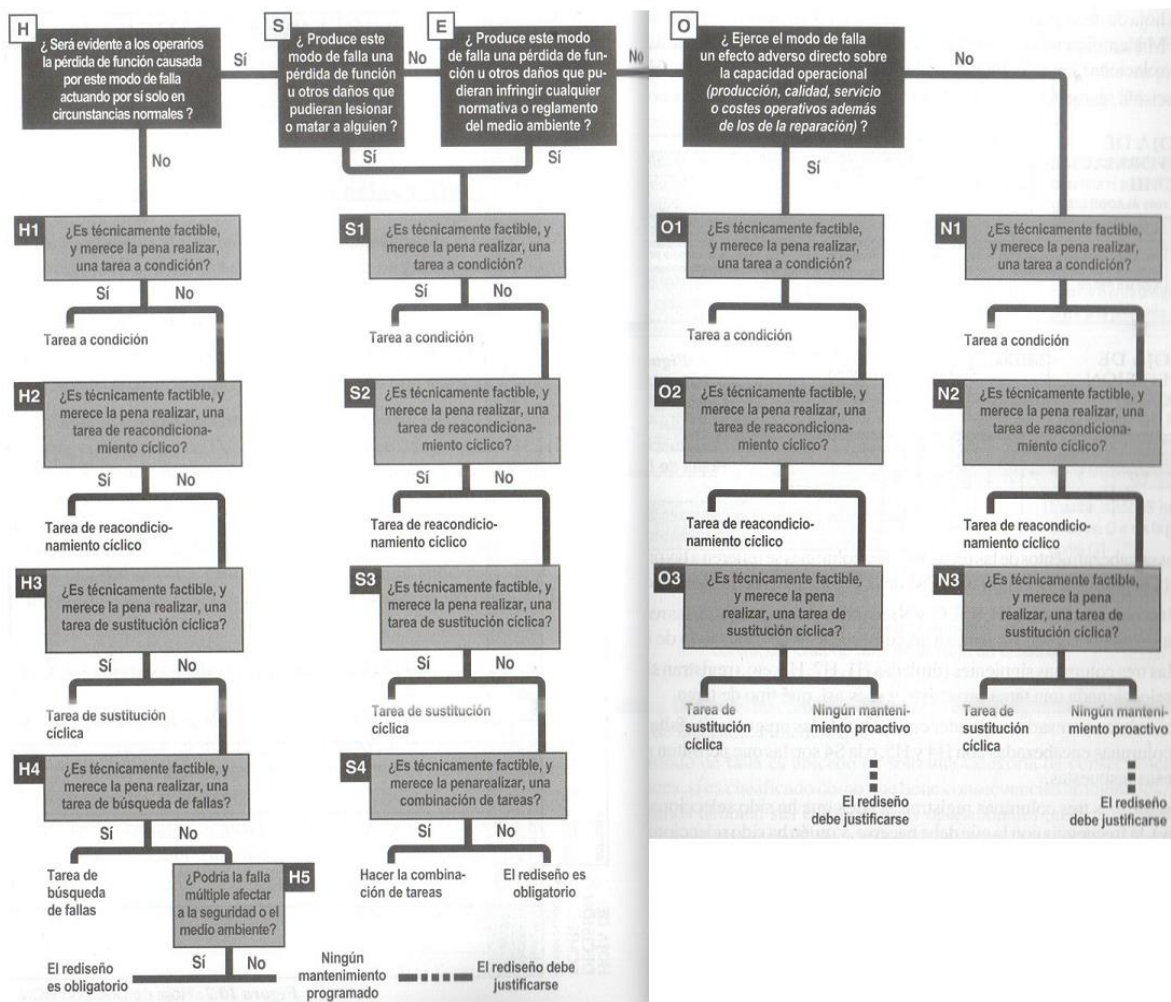
Tabla 1. Hoja de información del RCM

		Activo:		No:	Realizado por:	Fecha:
RCM HOJA DE INFORMACION		Componente:		Ref.	Revisado por:	Fecha:
FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL		MODO DE FALLA (causa de la falla)		EFFECTO DE LA FALLA (Qué sucede cuando falla)

Fuente: MOUBRAY, Jhon. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad RCM II ed. Español. Asheville: Aladon, 2004. Pág. 93

5.1.2.8 Diagrama de decisión del RCM: El diagrama de decisión del RCM es un diagrama lógico, se aplica para cada modo de falla y ayuda en la decisión de que tarea de mantenimiento necesita dicho modo de falla. La entrada es el tipo de consecuencia del modo de falla y mediante una serie de preguntas se llega a la tarea más adecuada. Ver tabla 2

Tabla 2. Diagrama de decisión del RCM



Fuente: MOUBRAY, Jhon. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad RCM II ed. Español. Asheville: Aladon, 2004. Pág.204

5.1.2.9 Hoja de decisión del RCM: La hoja de decisión del RCM permite aterrizar las respuestas a las preguntas formuladas en el diagrama de decisión, y, en función de dichas respuestas registrar:

1. Qué mantenimiento de rutina (si lo hay) será realizado, con qué frecuencia será realizado y quién lo hará
2. Qué fallas son lo suficientemente serías como para justificar el rediseño
3. Casos en los que se toma la decisión deliberada de dejar que las fallas ocurran¹⁷. Ver tabla 3.

Tabla 3. Hoja de decisión del RCM

RCM HOJA DE DECISIÓN			Activo:						No:	Realizado por:	Fecha:				
			Componente:						Ref.	Revisado por:	Fecha:				
Referencia de información			Evaluación de las consecuencias				H1 S1 O1 N1	H2 S2 O2 N2	H3 S3 O3 N3	Acción a falta			Tarea Propuesta	Intervalo inicial	A realizarse por
F	FF	FM	H	S	E	O			H4	H5	S4				

Fuente: MOUBRAY, Jhon. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad RCM II ed. Español. Asheville: Aladon, 2004. Pág. 203

¹⁷ MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad RCM II ed. Español. Asheville: Aladon, 2004. Pág. 202.

5.1.3 Los objetivos del RCM: Los objetivos del RCM son claros y buscan siempre la mejora de los equipos en el sector industrial, dentro de estos objetivos tenemos:

- **Reducir costos de mantenimiento.**
- **Mejorar la confiabilidad y disponibilidad**¹⁸. Menos tiempo fuera de servicio asociado con las fallas y mantenimientos preventivos.
- Establecer una “**recopilación de experiencias**” para referencias futuras.

5.1.4 Ventajas y desventajas en el RCM

5.1.4.1 Ventajas

- Optimización de costo.
- Mejoramiento en la planeación del mantenimiento.
- Prioriza los tipos de tareas de mantenimiento necesarias según el equipo¹⁹.
- Sentido de pertenencia y mayor motivación del personal.

5.1.4.2 Desventajas

- Requiere una alta inversión para su implementación (equipos y capacitación del personal).

¹⁸ ORTIZ PLATA, Daniel. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad RCM. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas, Escuela de Ingeniería Mecánica.2017.

¹⁹ ORTIZ PLATA, Daniel. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad RCM. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas, Escuela de Ingeniería Mecánica.2017.

5.2 DESCRIPCIÓN DE LA EXCAVADORA HITACHI MODELO EX3600-6

La excavadora Hitachi modelo EX3600-6 es una máquina usada en la industria minera para realizar labores de explotación, en este caso para explotación de carbón mineral. Cuenta con un peso en servicio de 360 toneladas, con una altura de 7.83 metros, un ancho de 9.42 metros y un radio de acción de 24.39 metros.

Figura 5. Excavadora Hitachi EX3600-6

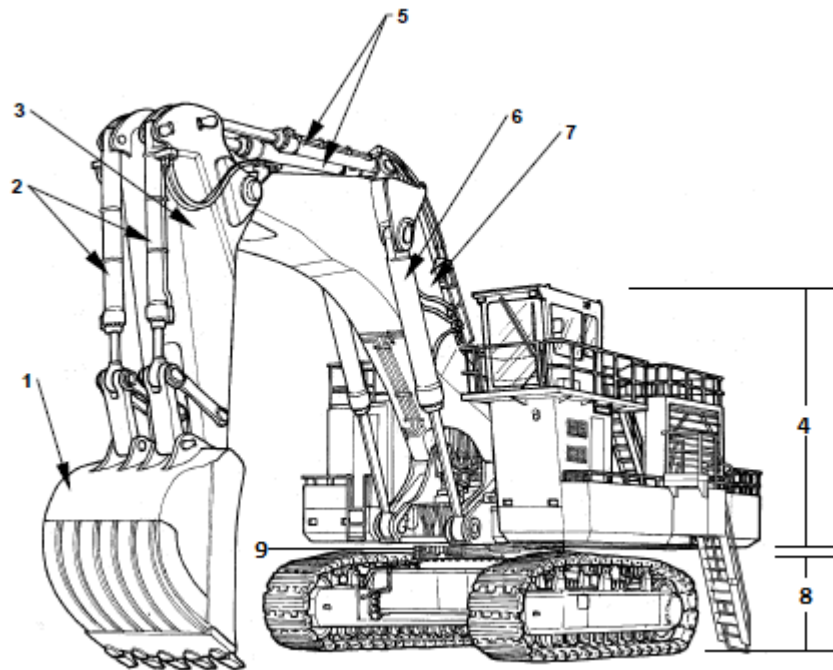


Fuente: Hitachi Career Development Center. Training text EX3600-6 General information ed. English TTLA-0740-EX. Pág.5

Está conformada por una estructura inferior o tren de rodaje que le permite autopropulsarse, una estructura superior o superestructura que está acoplada al tren de rodaje a través de un cojinete de rotación conocido también como corona de giro, el cojinete de rotación hace posible que la superestructura realice giros hasta

de 360°. Está conformada por un aditamento o accesorio frontal que va acoplado a la superestructura, éste accesorio frontal se divide en tres componentes: Boom, Brazo y balde, cada uno de estos componentes tiene dos cilindros que son accionados hidráulicamente y se encargan de transmitir el movimiento. La combinación adecuada de movimientos de estos tres componentes es lo que logra realizar las tareas de excavación.

Figura 6. Ilustración de la Excavadora Hitachi EX3600-6



Fuente: Hitachi Construction Machinery Co., Ltd. Operator manual EX3600-6, ed. English SM18M-1-1. Pág.1-1

En la figura 6 se ilustra la excavadora EX3600-6 donde se señalan los componentes anteriormente nombrados:

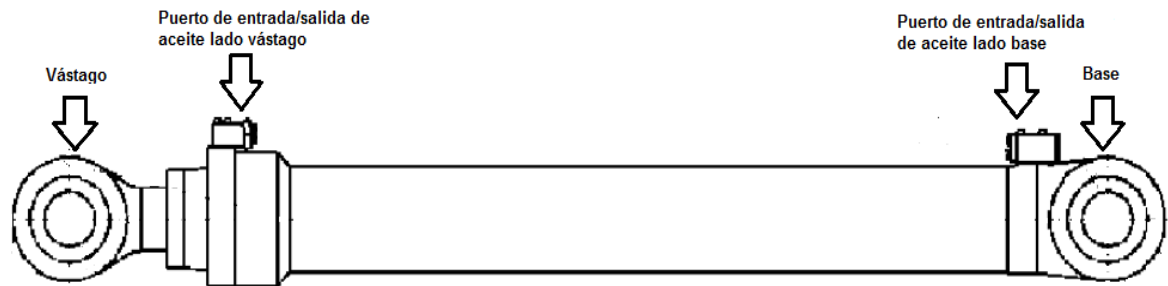
1. Balde

2. Cilindros de balde
3. Brazo
4. Estructura superior
5. Cilindros de brazo
6. Cilindros de boom
7. Boom
8. Estructura inferior
9. Cojinete de rotación

5.2.1 Aditamento o accesorio frontal: El accesorio frontal conformado por el boom, brazo y balde se caracteriza por la capacidad que tienen estos de realizar movimientos articulados en cada una de las uniones gracias al accionamiento de sus respectivos cilindros que son actuadores mecánicos usados para dar una fuerza a través de un recorrido lineal, constan de un vástago o pistón (parte movable) y una base o camisa (parte fija).

El extremo trasero del boom va unido a la superestructura y el extremo delantero va unido al extremo trasero del brazo, el extremo delantero del brazo o punta de brazo va unido a las orejas grandes del balde, el balde tiene unas orejas pequeñas donde acoplan unas bielas que son las encargadas de convertir el movimiento rectilíneo de los cilindros de balde en movimiento de rotación, lo que hace que el balde gire, de ésta manera se pueda cargar y descargar el material.

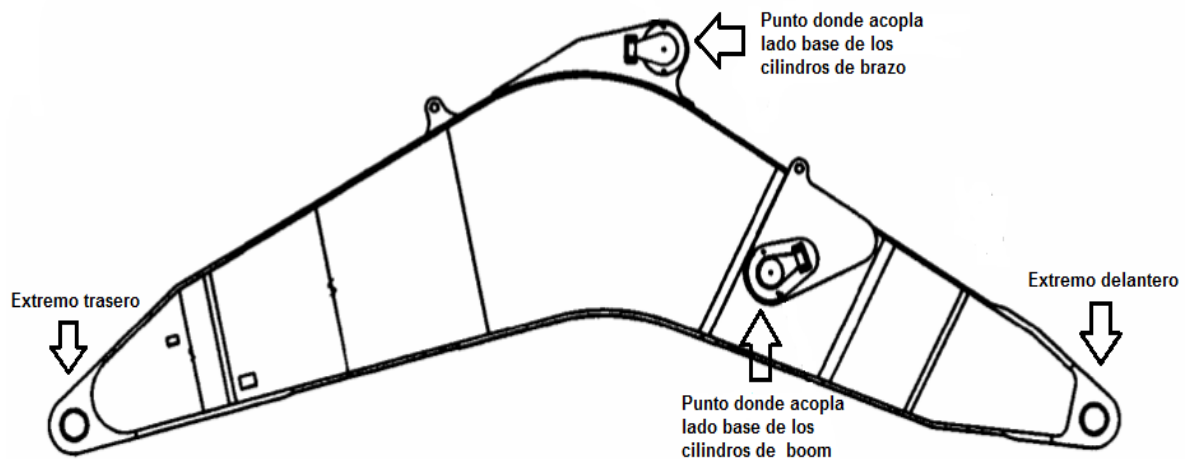
Figura 7. Ilustración del Cilindro de la Excavadora Hitachi EX3600-6



Fuente: Hitachi Construction Machinery Co., Ltd. Parts Advisor, P18M-1-2.

Pág.129

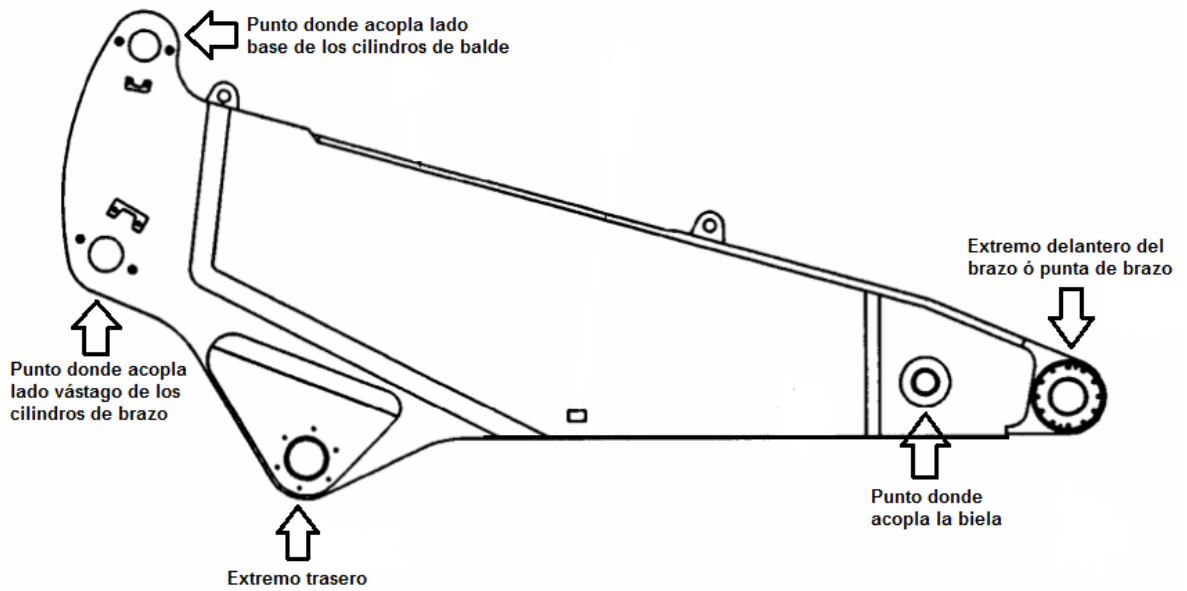
Figura 8. Ilustración del Boom Excavadora Hitachi EX3600-6



Fuente: Hitachi Construction Machinery Co., Ltd. Parts Advisor, P18M-1-2.

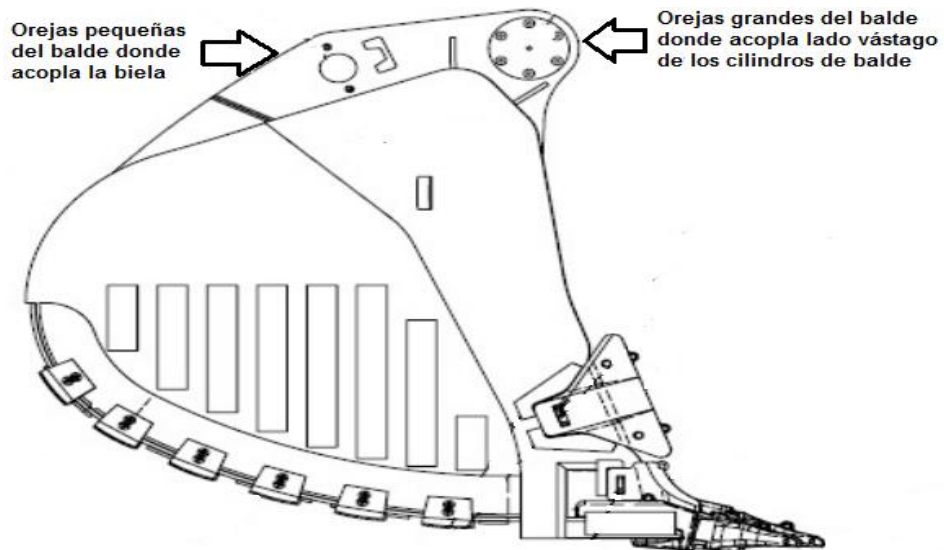
Pág.467

Figura 9. Ilustración del Brazo Excavadora Hitachi EX3600-6



Fuente: Hitachi Construction Machinery Co., Ltd. Parts Advisor EX3600-6, P18M-1-2. Pág.491

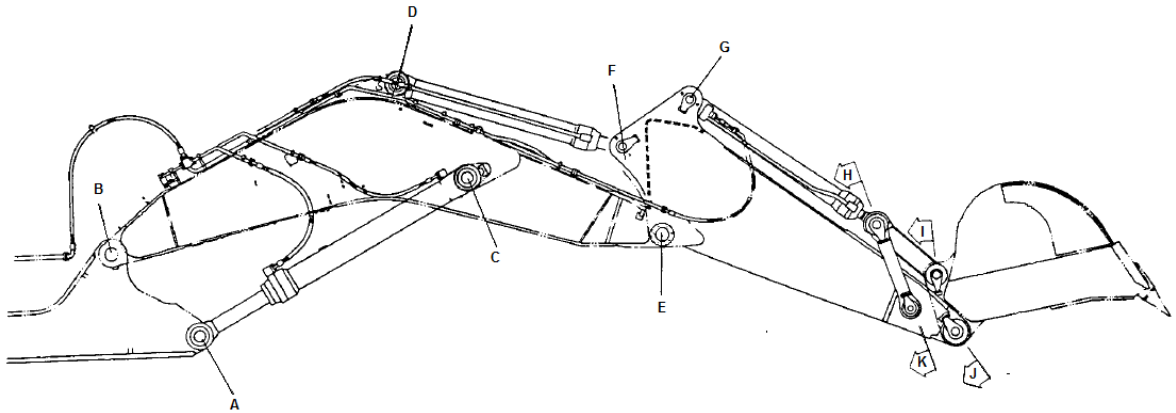
Figura 10. Ilustración del Brazo Excavadora Hitachi EX3600-6



Fuente: Hitachi Construction Machinery Co., Ltd. Parts Advisor EX3600-6, P18M-1-2. Pág.499

La unión entre cada uno de los componentes del accesorio frontal y la unión de estos componentes con los cilindros se hace a través de unos pasadores y bujes, los bujes van fijados instalados en los componentes y los pasadores entran en los bujes.

Figura 11. Ilustración del Accesorio Frontal Excavadora Hitachi EX3600-6

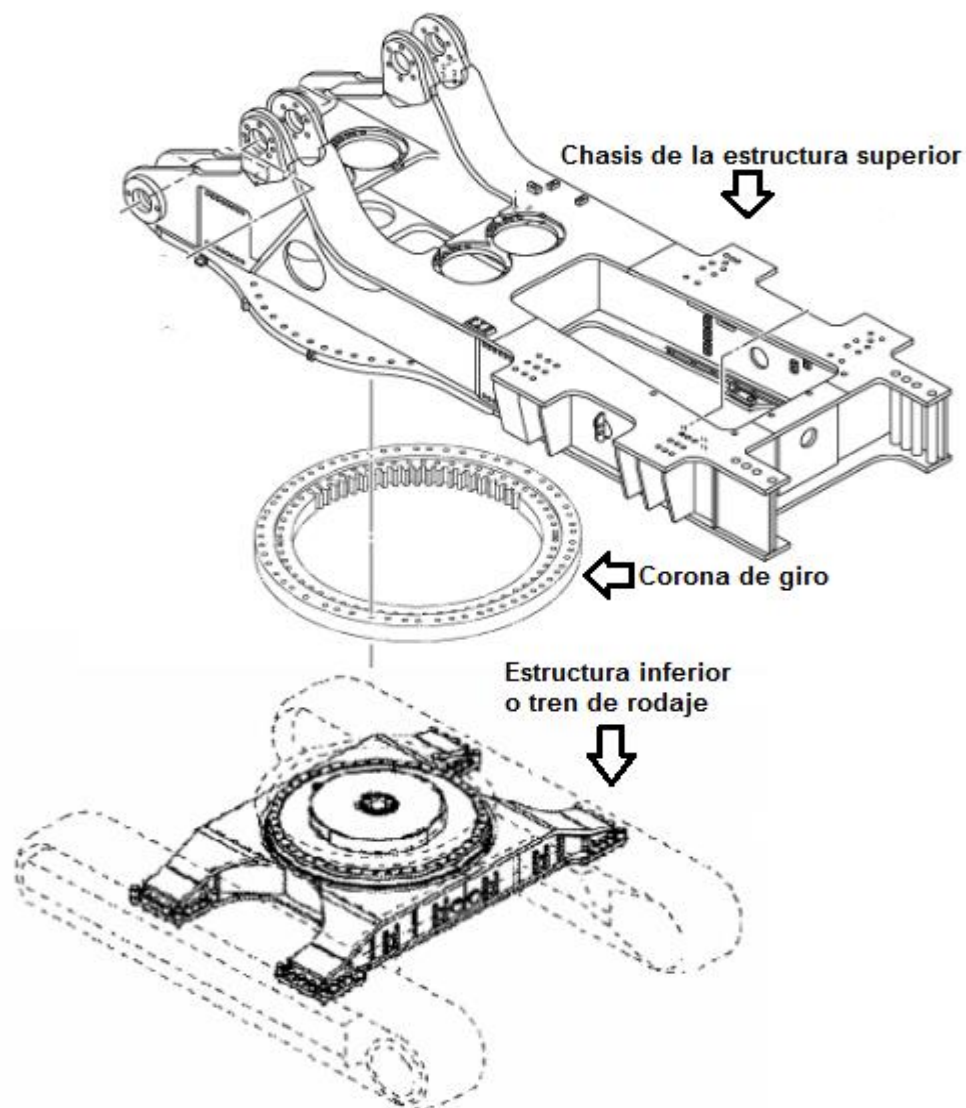


Fuente: Hitachi Construction Machinery Co., Ltd. Workshop manual EX3600-6, ed. English W18M-E-00. Pág. W4-3-6

- A: Unión estructura superior - vástago cilindro de boom
- B: Unión estructura superior - Extremo trasero del boom
- C: Unión boom - lado base cilindro de boom
- D: Unión boom - lado base cilindro de brazo
- E: Unión extremo delantero del boom - extremo trasero del brazo
- F: Unión brazo - vástago cilindro de brazo
- G: Unión brazo - lado base cilindro del balde
- H: Unión vástago cilindro de balde - bielas
- I: Unión bielas - orejas pequeñas del balde
- J: Unión punta de brazo - orejas grandes del balde
- K: Unión brazo – biela

5.2.2 Corona de giro o cojinete de rotación: Entre la estructura superior y la estructura inferior se encuentra la corona de giro o también conocida como cojinete de rotación, su función es permitir que la estructura superior gire con facilidad en ambos sentidos.

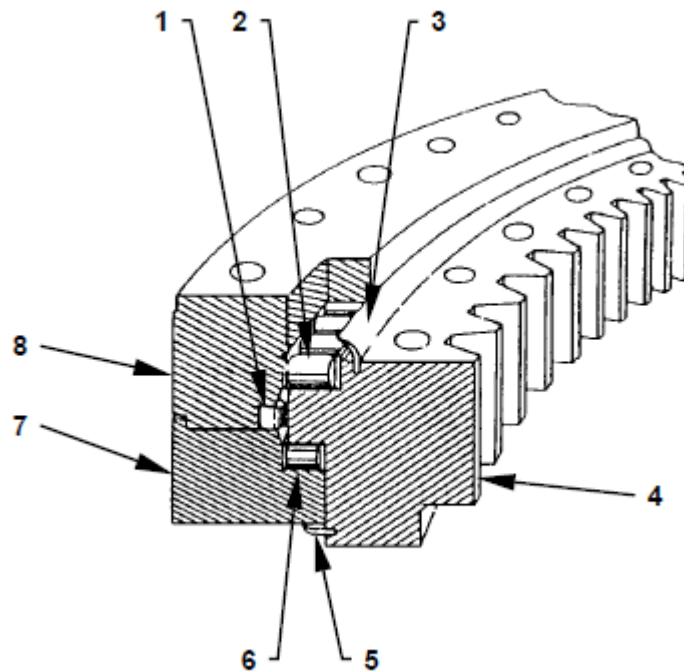
Figura 12. Ilustración Superestructura, Corona de giro y Tren inferior, Excavadora Hitachi EX3600-6



Fuente: Hitachi Construction Machinery Co., Ltd. Parts Advisor EX3600-6

El cojinete de rotación está compuesto por rodillos de tres filas que consta de un anillo de retención (7), un anillo de soporte (8), un anillo de tope (4), tres tipos de rodillos (1, 2 y 6) y juntas (3 y 5), ver figura 12. El anillo de retención y el anillo de soporte están atornillados a la estructura superior. El anillo de tope está unido con pernos a la estructura inferior o tren de rodaje. Los dientes del anillo de tope engranan con los dientes del eje de los reductores de giro. La excavadora tiene cuatro reductores de giro comandados por cuatro motores hidráulicos que son los que se encargan de hacer girar la estructura superior²⁰.

Figura 13. Ilustración sección de la Corona de giro, Excavadora Hitachi EX3600-6



Fuente: Hitachi Construction Machinery Co., Ltd. Technical Operation Principles Manual EX3600-6, ed. English TO18M-E-00. Pág.T3-8-1

²⁰ Hitachi Construction Machinery Co., Ltd. Manual de principios técnicos de funcionamiento EX3600-6. Pág. T3-8-1

La excavadora Hitachi EX3600-6 está equipada con un sistema de lubricación centralizado que se encarga de mantener engrasado los rodamientos que conforman la corona de giro, como también los pasadores y bujes que van en las articulaciones de los componentes del accesorio frontal.

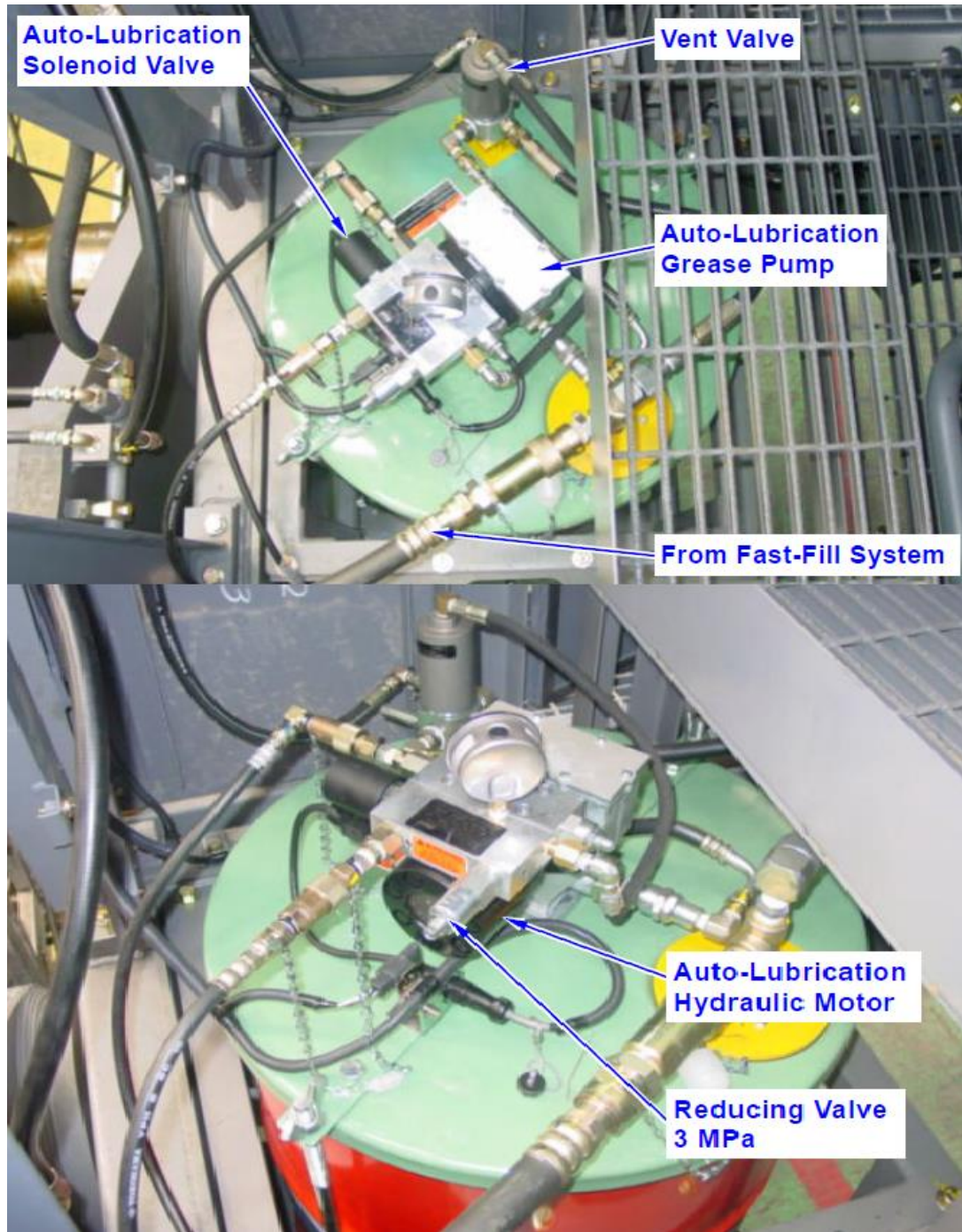
5.2.3 Sistema de lubricación centralizado: El sistema de lubricación centralizado lubrica de manera automática los pasadores del accesorio frontal, el cojinete de rotación y la junta central. Los componentes principales de este sistema son: La bomba de grasa que tiene una válvula solenoide, una válvula de alivio o de reducción y un manómetro; la válvula de ventilación o de venteo, el temporizador de lubricación automática, el interruptor del modo de lubricación automática, el interruptor de presión de lubricación automática, el interruptor de presión de lubricación manual, dos regletas de inyectores (una que lubrica todos los puntos del accesorio frontal y otra que lubrica la corona de giro) y la pistola de engrase manual²¹. Ver figuras 14, 15, 16 y 17.

El interruptor de modo de lubricación automática tiene tres posiciones: Auto (automático), Off (desactivado) y Manual. Cuando el interruptor está en la posición Auto, el engrase se realiza automáticamente en el intervalo fijado por el temporizador de lubricación automática. Cuando el interruptor está en la posición Off, no se realiza engrase. Cuando el interruptor está en la posición manual, el sistema de lubricación automática está desactivado. No obstante, el engrase puede realizarse mediante la pistola para engrase manual²².

²¹ Hitachi Construction Machinery Co., Ltd. Manual de principios técnicos de funcionamiento EX3600-6, Pág. T3-7-1

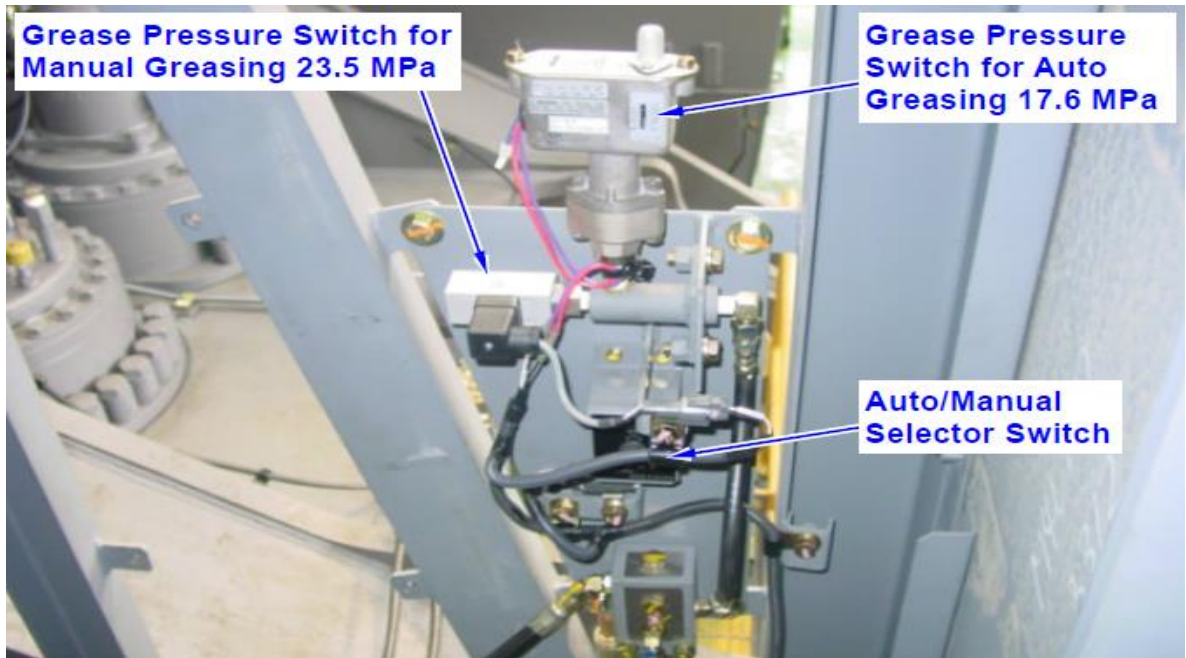
²² Hitachi Construction Machinery Co., Ltd. Manual de principios técnicos de funcionamiento EX3600-6, Pág. T3-7-1

Figura 14. Bomba y depósito de grasa, Excavadora Hitachi EX3600-6



Fuente: Hitachi Career Development Center. Training text EX3600-6 General information ed. English TTLA-0740-EX. Pág. 111

Figura 15. Panel de lubricación, Excavadora Hitachi EX3600-6



Fuente: Hitachi Career Development Center. Training text EX3600-6 General information ed. English TTLA-0740-EX. Pág. 113

Figura 16. Regleta de inyectores de la corona de giro, Excavadora Hitachi EX3600-6



Fuente: Hitachi Career Development Center. Training text EX3600-6 General information ed. English TTLA-0740-EX. Pág. 113

Figura 17. Pistola para engrase manual, Excavadora Hitachi EX3600-6



Fuente: Hitachi Career Development Center. Training text EX3600-6 General information ed. English TTLA-0740-EX. Pág. 115

5.2.3.1 Bomba de grasa: La bomba de grasa es marca **Lincoln modelo 85482**, diseñada para trabajar en depósitos o tambores de 400 Libras (55 galones). Esta bomba es completamente accionada por un motor hidráulico, la salida de grasa es proporcional al flujo de entrada de aceite hidráulico hacia el motor. Lleva instalada una válvula solenoide que funciona a 24 voltios como método para apagar y encender la bomba, es decir, la válvula permite o bloquea el paso de aceite hidráulico con que se acciona el motor; tiene un manómetro que indica la presión de entrada de aceite hidráulico al motor y tiene una válvula de alivio o válvula de reducción cuya función es aliviar el sistema en caso de una obstrucción o atascamiento de la bomba, ver figura 18.

La bomba es impulsada por el movimiento giratorio del motor hidráulico. El movimiento giratorio se convierte en un movimiento alternativo a través de un mecanismo de manivela excéntrico. La acción alternativa hace que el cilindro de la bomba que va en el tubo de succión se mueva hacia arriba y hacia abajo. La unidad es una bomba de accionamiento doble positivo a medida que se descarga el caudal de grasa durante la carrera ascendente y descendente.

Durante la carrera descendente, el cilindro de la bomba se introduce en la grasa. Mediante la combinación de acción de pala y vacío generada en la cámara del cilindro de la bomba, se fuerza el paso de la grasa al interior del cilindro de la bomba. Simultáneamente, la grasa se descarga por el orificio de salida de la bomba. El volumen de grasa de entrada es el doble del volumen de salida de grasa durante el ciclo. Durante la carrera ascendente, se cierra la válvula de retención de entrada, y la mitad de la grasa tomada durante la carrera anterior se transfiere a través de la válvula de retención de salida y se descarga por el orificio de salida²³.

²³http://www.partdeal.com/downloads/dl/file/id/3618/product/76101/lincoln_instruction_manual_pn_85480_85481_85482_and_85483.pdf

La tabla 4 muestra los parámetros de rendimiento y especificaciones de la bomba Lincoln modelo 85482.

Tabla 4. Parámetros de rendimiento de la bomba Lincoln modelo 85482

Temperatura de operación (°C) -10 a 65

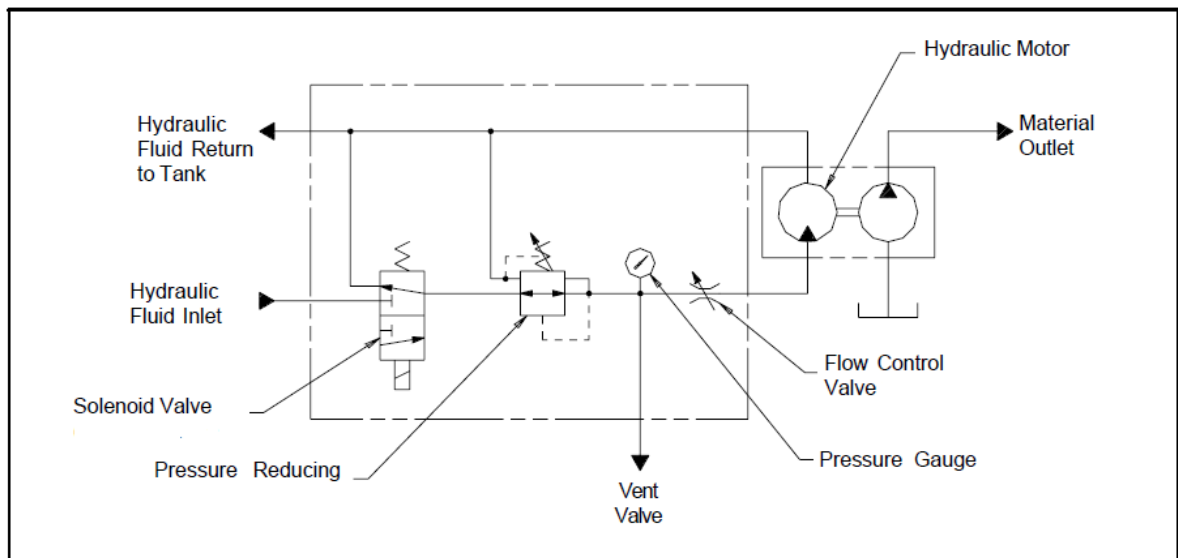
Suministro de presión hidráulica de entrada máximo (bar) 200

Flujo de entrada hidráulica (l/min) 28

Temperatura del fluido hidráulico (°C) 93

Peso de la bomba (Kg) 16

Figura 18. Esquema de la bomba de grasa Lincoln modelo 85482

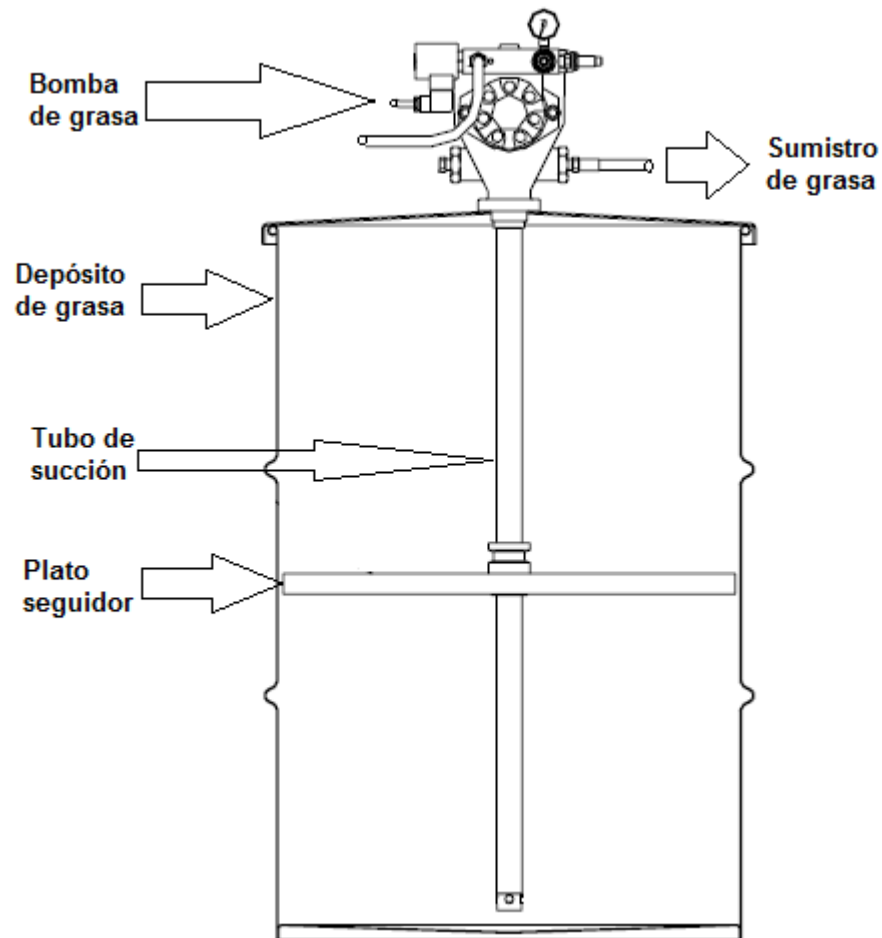


Fuente: http://www.partdeal.com/downloads/dl/file/id/3618/product/76101/lincoln_instruction_manual_pn_85480_85481_85482_and_85483.pdf. Pág. 3, revisado 20 octubre 2017

La bomba de grasa va instalada en un depósito o tanque con una capacidad de 55 galones, dentro del tanque va un plato seguidor que indica el nivel de la grasa, por

el centro del plato seguidor pasa el tubo de succión de la bomba, dentro del tubo va el mecanismo que permite la succión de la grasa y posteriormente el suministro de ésta a la regleta de inyectores, ver figura 19.

Figura 19. Ilustración de la bomba grasa y depósito de grasa de la retroexcavadora EX3600-6



Fuente:http://www.partdeal.com/downloads/dl/file/id/3618/product/76101/lincoln_instruction_manual_pn_85480_85481_85482_and_85483.pdf. Pág. 4, revisado 20 octubre 2017

5.2.3.2 Válvula de venteo: La válvula de venteo es marca Lincoln modelo 84980 serie "B", es una válvula cheque pilotada con el mismo aceite hidráulico que impulsa el motor de la bomba de grasa, la función de esta válvula es aliviar el circuito de grasa abriendo el puerto de retorno al depósito, ver figura 20.

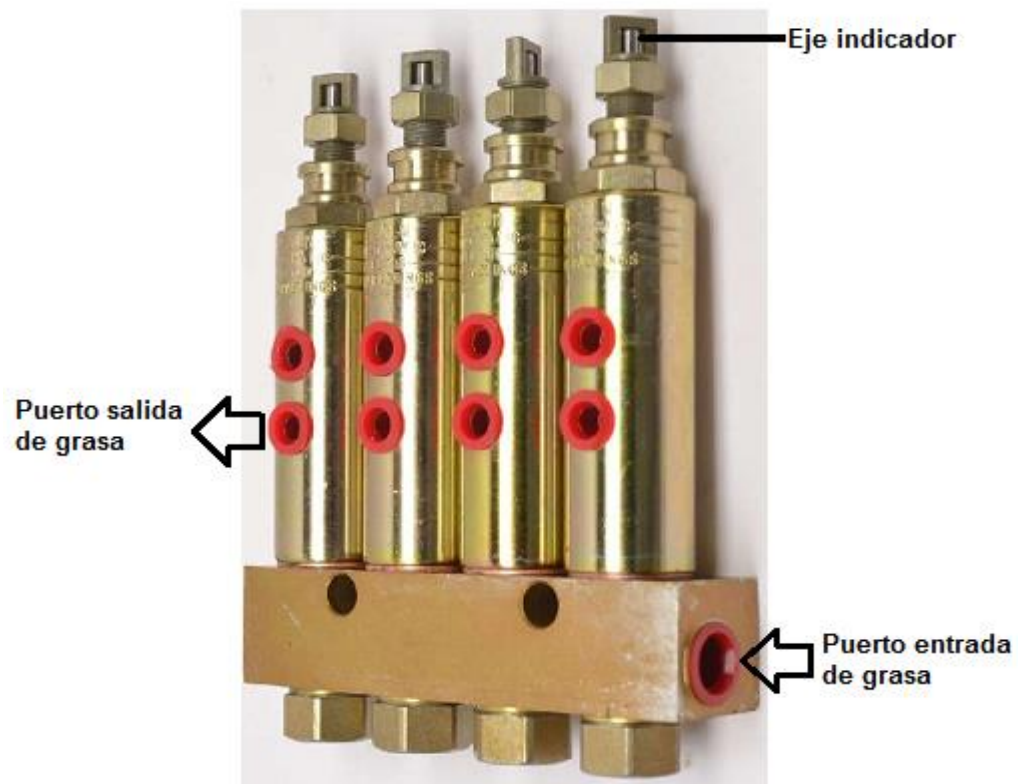
Figura 20. Ilustración de la válvula de venteo



Fuente: Foto tomada por los autores

5.2.3.3 Las regletas de inyectores de grasa: Para lubricar la corona de giro y los puntos del accesorio frontal la máquina viene con dos regletas de inyectores de grasa, la que lubrica la corona de giro compuesta por 25 inyectores de grasa instalada en la parte frontal del chasis de la superestructura y la que lubrica el accesorio frontal conformada por 14 inyectores de grasa instalada en la parte inferior del extremo trasero del boom.

Figura 21. Ilustración de regleta de 4 inyectores de grasa serie SL-1 Lincoln



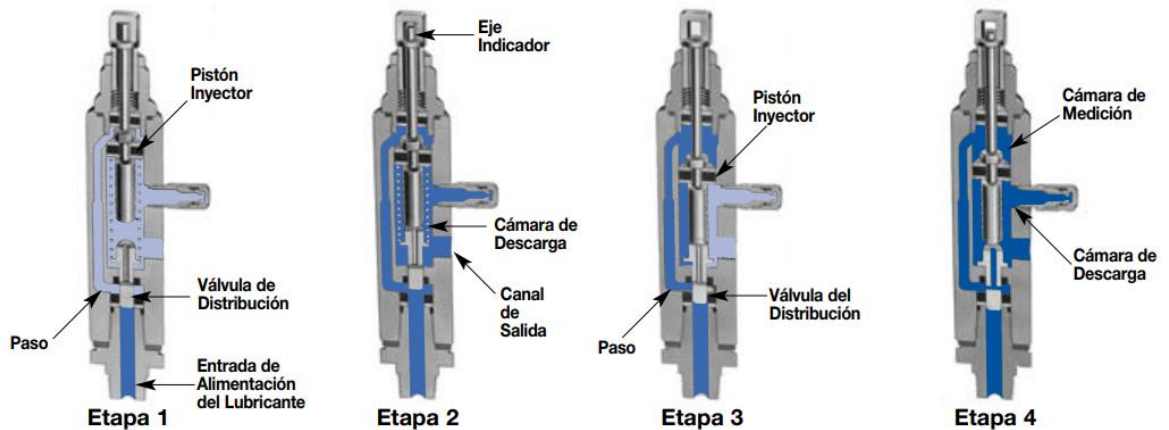
Fuente: https://www.ebay.com/itm/Lincoln-81770-4-Centro-Matic-SL-1-Inyector-De-Grasa-4-Viton-3-8-en-parte-B492402-/381180919769_ul=CL, revisado 20 octubre 2017

Las regletas están compuestas por inyectores de grasa marca Lincoln serie SL-1 diseñados para sistemas de lubricación de alta presión, la figura 21 muestra una

regleta con 4 inyectores de grasa SL-1 donde se señala el puerto de entrada de grasa que proviene de la bomba de grasa, el puerto de salida de grasa que va hacia los puntos y el eje indicador que permite una verificación visual de la operación del inyector.

5.2.3.3.1 Ciclo de carga y descarga de un inyector SL-1: El ciclo de carga y descarga de un inyector SL-1 se da en cuatro etapas:

Figura 22. Ilustración de las 4 etapas del ciclo de carga y descarga de un inyector de grasa serie SL-1 Lincoln



Fuente: <http://www.rivi.net/productos/linea-simple-centromatic/linea-simple-centromatic.pdf>. Pág. 4, revisado 20 octubre 2017

Etapa 1: El pistón inyector está en su posición normal o en reposo. La cámara de descarga está llena de lubricante del ciclo anterior. Bajo la presión del lubricante que entra, la válvula de distribución está lista para abrir el paso que lleva al pistón.

Etapa 2: Cuando la válvula de distribución abre el paso, el lubricante llega hasta el tope del pistón, empujándolo hacia abajo. El pistón empuja el lubricante de la cámara de descarga, a través del canal de salida, hasta el cojinete.

Etapa 3: Cuando el pistón concluye su ciclo, empuja la válvula de distribución y corta la entrada del lubricante en el punto de paso. El pistón y la válvula de distribución permanecen en esta posición hasta que la presión del lubricante en la línea de alimentación disminuye en la bomba.

Etapa 4: Después de la disminución de la presión, el resorte comprimido empuja la válvula de distribución hacia la posición cerrada. Esto abre el canal de la cámara de medición y permite que el lubricante sea transferido desde el tope del pistón hacia la cámara de descarga²⁴.

Los inyectores SL-1 por cada ciclo entregan un volumen de grasa entre 0.131 cc y 1.31 cc. Estos pueden ser removidos de la regleta individualmente con facilidad para su inspección o sustitución.

5.2.3.4 Control del sistema de lubricación automática centralizado: Para el control del sistema de lubricación automática centralizado la excavadora tiene una tarjeta de control llamada controlador principal MC, por sus siglas en inglés (Main Control). Recibe el nombre de controlador principal porque además de controlar el sistema de lubricación cuenta con otras funciones de control que son indispensable para el funcionamiento correcto de la máquina.

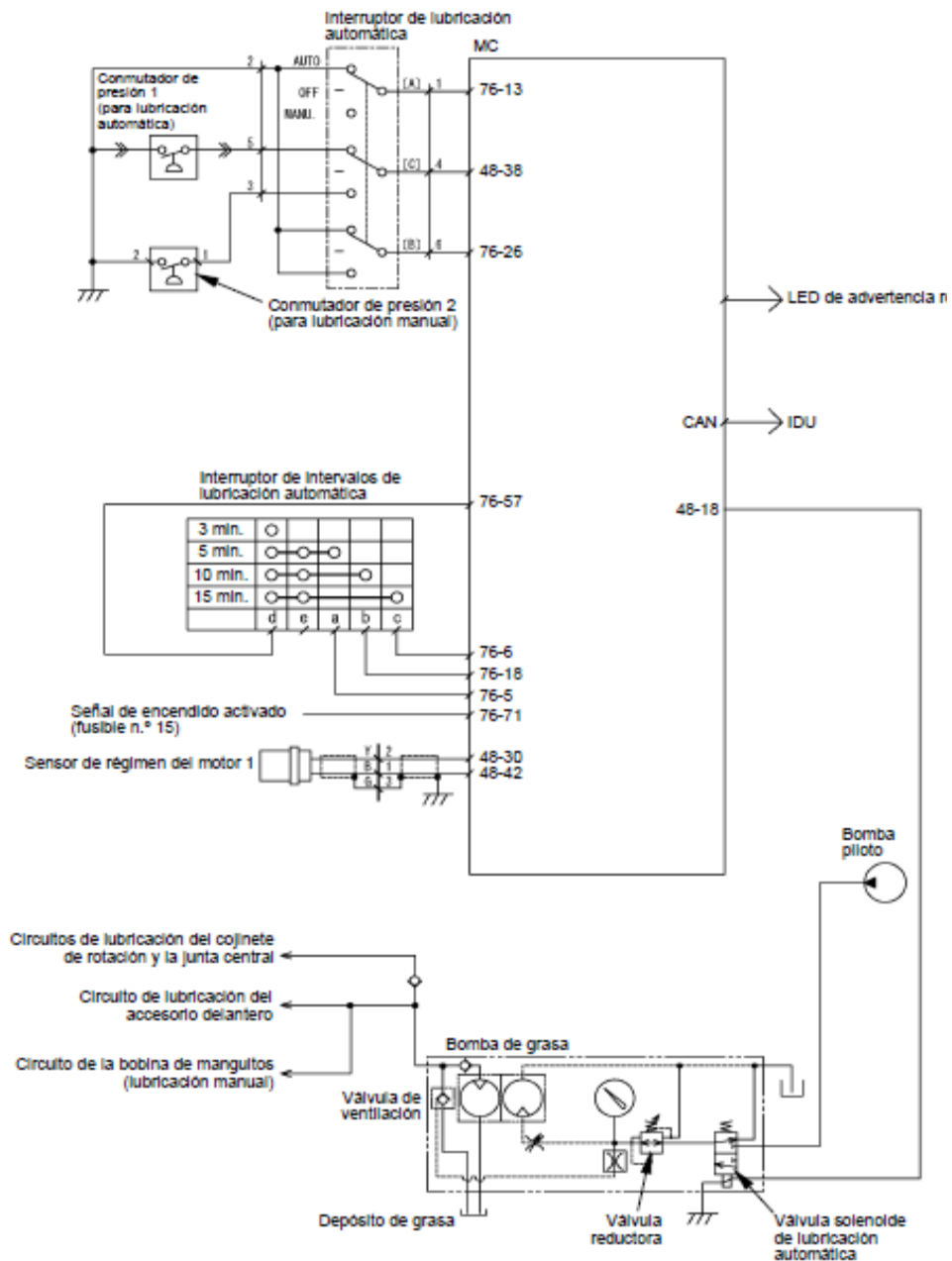
Funcionamiento con interruptor en posición automático:

1. Cuando el interruptor de modo de lubricación automática se encuentra en la posición AUTO, el terminal 76-13 del MC se conecta a tierra por medio de éste interruptor, de esta manera el MC reconoce que el interruptor está en la posición AUTO.

²⁴ <http://www.rivi.net/productos/linea-simple-centromatic/linea-simple-centromatic.pdf>

2. EL MC envía una corriente desde el terminal 48-18 a la válvula solenoide de lubricación automática en intervalos predeterminados por el temporizador de lubricación automática con el objetivo de activar ésta válvula solenoide.
3. Al activar la válvula solenoide de lubricación automática pasa aceite hidráulico presurizado por la válvula de reducción y llega al motor que impulsa la bomba de grasa activando ésta bomba, al mismo tiempo llega aceite hidráulico presurizado a la válvula de venteo.
4. Cuando el aceite presurizado llega a la válvula de venteo, ésta se cierra para bloquear el circuito de retorno de la bomba de grasa hacia el depósito de grasa. Como resultado la grasa se envía al circuito de lubricación del accesorio delantero y la corona de giro.
5. Conectado al circuito de lubricación del accesorio delantero y la corona de giro está el interruptor de presión de lubricación automática o presoswitch (conmutador de presión 1), cuando se eleva la presión en éste circuito y ésta presión alcanza la presión a la que está seteado el presoswitch o la supera, el presoswitch se activa, conectando el terminal 48-38 del MC a tierra. De éste modo el MC ve el aumento de presión en el circuito de lubricación.
6. El MC está programado para mantener energizada la válvula solenoide de lubricación automática durante un tiempo máximo de 150 segundos. Pasados 150 minutos de iniciar un ciclo de lubricación (encendido de la bomba de grasa) y la presión en el circuito de lubricación no alcanza la presión seteada por el presoswitch, el MC ve esto como una falla en el sistema y desenergiza la válvula solenoide apagando la bomba de grasa. Al mismo tiempo el MC envía una señal de advertencia en el monitor ubicado en la cabina de la máquina. En la figura 23 se ilustra el circuito para el control de lubricación automática.

Figura 23. Ilustración del circuito para control de lubricación automática

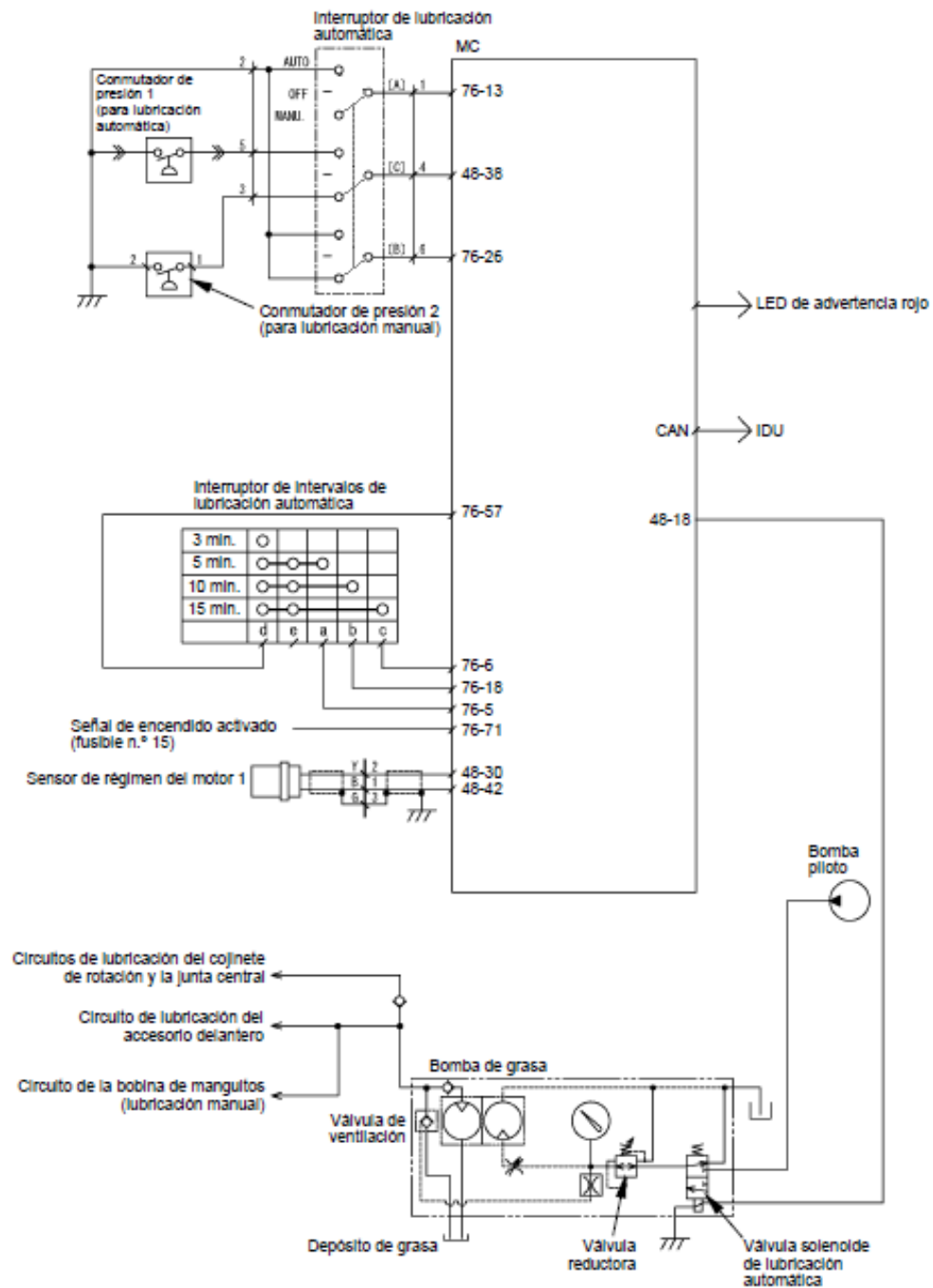


Fuente: Hitachi Construction Machinery Co., Ltd. Manual de principios técnicos de funcionamiento EX3600-6, Pág. T2-2-23

Funcionamiento con interruptor en posición manual:

1. Cuando el interruptor de modo de lubricación automática se encuentra en la posición MANUAL, el terminal 76-26 del MC se conecta a tierra por medio de éste interruptor, de esta manera el MC reconoce que el interruptor está en la posición MANUAL.
2. EL MC envía una corriente desde el terminal 48-18 a la válvula solenoide de lubricación automática.
3. Al activar la válvula solenoide de lubricación automática pasa aceite hidráulico presurizado por la válvula de reducción y llega al motor que impulsa la bomba de grasa activando ésta bomba, al mismo tiempo llega aceite hidráulico presurizado a la válvula de venteo.
4. Cuando el aceite presurizado llega a la válvula de venteo, ésta se cierra para bloquear el circuito de retorno de la bomba de grasa hacia el depósito de grasa. Como resultado la grasa se envía a la pistola de engrase permitiendo realizar lubricación manual.
5. Conectado a la pistola de engrase está el interruptor de presión de lubricación manual (conmutador de presión 2), cuando se eleva la presión en éste circuito y ésta presión alcanza los 23,5 MPa, el interruptor de presión de lubricación manual se activa, conectando el terminal 48-38 del MC a tierra. De éste modo el MC ve el aumento de presión en el circuito de lubricación y desenergiza la válvula solenoide apagando la bomba. En la figura 24 se ilustra el circuito para el control de lubricación manual.

Figura 24. Ilustración del circuito para control de lubricación manual



Fuente: Hitachi Construction Machinery Co., Ltd. Manual de principios técnicos de funcionamiento EX3600-6, Pág. T2-2-25

6. ANÁLISIS RCM DEL SISTEMA DE LUBRICACIÓN CENTRALIZADO DE LA EXCAVADORA HITACHI EX3600-6

6.1 HOJA DE INFORMACIÓN DE RCM

	Activo: EXCAVADORA EX3600-6	No: RCM01	Realizado por:	Fecha:
HOJA DE INFORMACIÓN RCM	Componente: Sistema de lubricación centralizado	Ref.	Revisado por:	Fecha:
FUNCIÓN (F)	FALLA FUNCIONAL (FF)	MODO DE FALLA (MF)	EFECTO DE LA FALLA	
1	A	1	<p>Depósito de grasa vacío</p> <p>Cuando el depósito de grasa queda vacío, el tubo de succión de la bomba no alcanza a succionar grasa por lo tanto no se puede suministrar grasa al circuito de lubricación del accesorio frontal y corona de giro, no sube la presión en éste circuito y la bomba queda encendida por más de 150 segundos, el MC ve esto como una falla, desenergiza la válvula solenoide, se apaga la bomba y envía una señal de alarma en el monitor. Demora 1 hora completar el 100% del nivel del depósito. La máquina deja de producir 1 hora con un costo de USD 698000.</p>	
		2	<p>Carter de la bomba de grasa sin aceite</p> <p>Cuando el cárter de la bomba queda sin aceite, el mecanismo de succión se frena por fricción de metal con metal, se frena el motor hidráulico evitando que la bomba suministre grasa al circuito de lubricación del accesorio frontal y corona de giro. Demora 2 horas en reemplazar la bomba. La máquina deja de producir 2 hora con un costo de USD 1396000.</p>	
		3	<p>Plato seguidor pegado</p> <p>Si el plato seguidor queda pegado por encima del nivel mínimo de grasa posible, esto daría una lectura errónea del verdadero nivel de grasa en el depósito, ésta lectura errónea indicaría que no es necesario adicionar grasa al depósito y podría quedar vacío. Demora 1 hora completar el 100% del nivel del depósito. La máquina deja de producir 1 hora con un costo de USD 698000.</p>	

		Activo: EXCAVADORA EX3600-6		No: RCM01	Realizado por:	Fecha:
HOJA DE INFORMACIÓN RCM		Componente: Sistema de lubricación centralizado		Ref.	Revisado por:	Fecha:
FUNCIÓN (F)		FALLA FUNCIONAL (FF)		MODO DE FALLA (MF)		EFFECTO DE LA FALLA
1	Suministrar grasa al circuito de lubricación del accesorio frontal y de la corona de giro hasta alcanzar la presión seteada por el interruptor de presión de lubricación automática en un tiempo máximo a 150 segundos	A	No suministra grasa al circuito de lubricación del accesorio frontal y corona de giro	4	Paso de grasa hacia el cárter de la bomba	Cuando en el cárter de la bomba hay paso de grasa el mecanismo de succión se ve afectado por la lubricación no adecuada, además el tiempo en que tardaría la bomba en levantar la presión de grasa del lado del circuito de lubricación puede ser mayor a 150 segundos, el MC ve esto como una falla, desenergiza la bobina, se apaga la bomba y envía una señal de alarma en el monitor. Demora 2 horas en reemplazar la bomba. La máquina deja de producir 2 hora con un costo de USD 1396000.
				5	Puerto de entrada de presión de pilotaje de la válvula de venteo tapado	Cuando el puerto de presión de pilotaje de la válvula de venteo se tapa, llega un punto en el que la presión de grasa en el circuito de lubricación es mayor que la resistencia del resorte del cheque de la válvula de venteo, el cheque se abre y la grasa retorna al depósito, no se suministra grasa al circuito de lubricación. Demora ½ hora en cambiar la válvula de venteo. La máquina deja de producir 1/2 hora con un costo de USD 349000.
				6	Grasa en el depósito contaminada	Si la grasa en el depósito se contamina los sellos del mecanismo de succión de la bomba se dañan ocasionando que pase grasa hacia el cárter, Cuando en el cárter de la bomba hay paso de grasa el mecanismo de succión se ve afectado por la lubricación no adecuada, además el tiempo en que tardaría la bomba en levantar la presión de grasa del lado del circuito de lubricación puede ser mayor a 150 segundos, el MC ve esto como una falla, desenergiza la bobina, se apaga la bomba y envía una señal de alarma en el monitor. Demora 2 horas en reemplazar la bomba. La máquina deja de producir 2 horas con un costo de USD 1396000.

		Activo: EXCAVADORA EX3600-6		No: RCM01	Realizado por:	Fecha:
HOJA DE INFORMACIÓN RCM		Componente: Sistema de lubricación centralizado		Ref.	Revisado por:	Fecha:
FUNCIÓN (F)		FALLA FUNCIONAL (FF)		MODO DE FALLA (MF)		EFFECTO DE LA FALLA
1	Suministrar grasa al circuito de lubricación del accesorio frontal y de la corona de giro hasta alcanzar la presión seteada por el interruptor de presión de lubricación automática en un tiempo máximo a 150 segundos	A	No suministra grasa al circuito de lubricación del accesorio frontal y corona de giro	7	La Válvula de reducción alivia en todo momento	Cuando la válvula de retención alivia en todo momento, el motor de la bomba de grasa no es accionado debido a que el aceite retorna al sistema a través de esta válvula. No se suministrar grasa al circuito de lubricación. Demora ½ hora en cambiar la válvula de venteo. La máquina deja de producir 1/2 hora con un costo de USD 349000.
				8	Válvula de control de flujo obstruida	Si se obstruye la válvula de control de flujo no pasa aceite hacia el motor por lo tanto éste no se acciona. La válvula de retención hace su función aliviando y retornando el aceite al sistema. No se suministrar grasa al circuito de lubricación. Demora ½ hora en cambiar la válvula de venteo. La máquina deja de producir 1/2 hora con un costo de USD 349000.
				9	Línea que conecta el terminal A del interruptor de modo de lubricación automática con el terminal 76-13 del MC abierta	Si la línea que conecta el terminal A del interruptor de modo de lubricación automática con el terminal 76-13 del MC se abre, el terminal 76-13 no se conecta a tierra, el MC no energiza la válvula solenoide a través de su terminal 48-18, el motor de la bomba no es accionado por lo tanto no se suministra grasa al circuito de lubricación. Demora ½ hora en reemplazar el interruptor de modo de lubricación automática. La máquina deja de producir 1/2 hora con un costo de USD 349000.
				10	Línea abierta entre el MC y válvula solenoide	Si se abre la línea que comunica el terminal 48-18 del MC, el MC no energiza la válvula solenoide y ésta no permite el flujo de aceite hacia el motor de la bomba, el motor no se acciona y no se suministra grasa al circuito de lubricación del accesorio delantero y corona de giro. Demora 1 hora en reemplazar la línea que sale del terminal 48-18 del MC y que alimenta la válvula solenoide. La máquina deja de producir 1 hora con un costo de USD 698000.

		Activo: EXCAVADORA EX3600-6		No: RCM01	Realizado por:	Fecha:
HOJA DE INFORMACIÓN RCM		Componente: Sistema de lubricación centralizado			Revisado por:	Fecha:
FUNCIÓN (F)		FALLA FUNCIONAL (FF)		MODO DE FALLA (MF)		EFFECTO DE LA FALLA
1	Suministrar grasa al circuito de lubricación del accesorio frontal y de la corona de giro hasta alcanzar la presión seteada por el interruptor de presión de lubricación automática en un tiempo máximo a 150 segundos	A	No suministra grasa al circuito de lubricación del accesorio frontal y corona de giro	11	Línea que conecta el interruptor de modo de lubricación automática con el interruptor de presión de lubricación automática abierta	Si la línea que conecta el interruptor de modo de lubricación automática con el interruptor de presión de lubricación automática se abre, cuando el interruptor de presión se cierre por el aumento de presión en el circuito de lubricación, no se conecta a tierra el terminal 48-38 del MC, el MC no ve el aumento de presión del lado del circuito de lubricación y no desenergiza la válvula solenoide a través del terminal 48-18, la bomba sigue encendida hasta cumplir los 150 segundos de iniciado el ciclo, el MC ve esto como una falla, desenergiza la bobina, se apaga la bomba y envía una señal de alarma en el monitor. Demora 1/2 hora en reparar la línea. La máquina deja de producir 1/2 hora con un costo de USD 349000.
				12	MC no energiza la válvula solenoide	Cuando la válvula solenoide no se energiza, no fluye aceite hacia el motor de la bomba, éste no se acciona y no se suministra grasa al circuito de lubricación del accesorio delantero y corona de giro. Demora 1 hora en reemplazar el MC. La máquina deja de producir 1 hora con un costo de USD 698000.
				13	Contacto A del interruptor de modo de lubricación automática sulfatado	Si el contacto A del interruptor de modo de lubricación automática se sulfata, el terminal 76-13 del MC no se conecta tierra, el MC no energiza la válvula solenoide a través de su terminal 48-18, el motor de la bomba no es accionado por lo tanto no se suministra grasa al circuito de lubricación. Demora 1/2 hora en reemplazar el interruptor de modo de lubricación automática. La máquina deja de producir 1/2 hora con un costo de USD 349000.

		Activo: EXCAVADORA EX3600-6		No: RCM01	Realizado por:	Fecha:
HOJA DE INFORMACIÓN RCM		Componente: Sistema de lubricación centralizado			Revisado por:	Fecha:
FUNCIÓN (F)		FALLA FUNCIONAL (FF)		MODO DE FALLA (MF)		EFFECTO DE LA FALLA
1	Suministrar grasa al circuito de lubricación del accesorio frontal y de la corona de giro hasta alcanzar la presión seteada por el interruptor de presión de lubricación automática en un tiempo máximo a 150 segundos	A	No suministra grasa al circuito de lubricación del accesorio frontal y corona de giro	14	Contacto C del interruptor de presión de lubricación automática sulfatado	Si el contacto C del interruptor de modo de lubricación automática se sulfata, el terminal 48-38 del MC no se conecta tierra, el MC no ve el aumento de presión del lado del circuito de lubricación y no desenergiza la válvula solenoide a través del terminal 48-18, la bomba sigue encendida hasta cumplir los 150 segundos de iniciado el ciclo, el MC ve esto como una falla, desenergiza la bobina, se apaga la bomba y envía una señal de alarma en el monitor. Demora ½ hora en reemplazar el interruptor de modo de lubricación automática. La máquina deja de producir 1/2 hora con un costo de USD 349000.
				15	Línea que conecta a tierra el interruptor de presión de lubricación automática abierta	Si la línea que conecta a tierra el interruptor de presión de lubricación automática se abre, cuando el interruptor de presión se cierre por el aumento de presión en el circuito de lubricación, no se conecta a tierra el terminal 48-38 del MC, el MC no ve el aumento de presión del lado del circuito de lubricación y no desenergiza la válvula solenoide a través del terminal 48-18, la bomba sigue encendida hasta cumplir los 150 segundos de iniciado el ciclo, el MC ve esto como una falla, desenergiza la bobina, se apaga la bomba y envía una señal de alarma en el monitor. Demora 1/2 hora en reparar la línea. La máquina deja de producir 1/2 hora con un costo de USD 349000.
				16	Tubería que alimenta motor hidráulico de la bomba de grasa rota, presenta fuga	Si se rompe una manguera que alimenta el motor hidráulico de la bomba de grasa, no llega al motor el flujo de aceite suficiente para accionarlo, si no se acciona no se suministra grasa al circuito de lubricación del accesorio delantero y corona de giro. Demora 1/2 hora en reemplazar una manguera. La máquina deja de producir 1/2 hora con un costo de USD 349000.

HOJA DE INFORMACIÓN RCM		Activo: EXCAVADORA EX3600-6		No: RCM01	Realizado por:	Fecha:
Componente: Sistema de lubricación centralizado				Revisado por:	Fecha:	
FUNCIÓN (F)		FALLA FUNCIONAL (FF)		MODO DE FALLA (MF)		EFFECTO DE LA FALLA
1	Suministrar grasa al circuito de lubricación del accesorio frontal y de la corona de giro hasta alcanzar la presión seteada por el interruptor de presión de lubricación automática en un tiempo máximo a 150 segundos	A	No suministra grasa al circuito de lubricación del accesorio frontal y corona de giro	17	Contactos del temporizador de lubricación automática sulfatados	Si se sulfatan los contactos del temporizador de lubricación automática no se enviará al MC la señal que indica el inicio del ciclo de lubricación, el MC no energizar la válvula solenoide y ésta no permite el flujo de aceite hacia el motor de la bomba, el motor no se acciona y no se suministra grasa al circuito de lubricación del accesorio delantero y corona de giro. Demora 1 hora en reemplazar la línea que sale del terminal 48-18 del MC y que alimenta la válvula solenoide. La máquina deja de producir 1 hora con un costo de USD 698000.
				18	Grasa en el interior del interruptor de presión de lubricación automática	Cuando entra grasa en el interruptor de presión de lubricación automática, éste se pega y no sensa la presión en el circuito de lubricación, luego no se conecta a tierra el terminal 48-38 del MC, el MC no ve el aumento de presión del lado del circuito de lubricación y no desenergiza la válvula solenoide a través del terminal 48-18, la bomba sigue encendida hasta cumplir los 150 segundos de iniciado el ciclo, el MC ve esto como una falla, desenergiza la bobina, se apaga la bomba y envía una señal de alarma en el monitor. Demora 1/2 hora en reemplazar el interruptor de presión de lubricación automática. La máquina deja de producir 1/2 hora con un costo de USD 349000.

		Activo: EXCAVADORA EX3600-6		No: RCM01	Realizado por:	Fecha:
HOJA DE INFORMACIÓN RCM		Componente: Sistema de lubricación centralizado			Revisado por:	Fecha:
FUNCIÓN (F)		FALLA FUNCIONAL (FF)		MODO DE FALLA (MF)		EFFECTO DE LA FALLA
1	Suministrar grasa al circuito de lubricación del accesorio frontal y de la corona de giro hasta alcanzar la presión seteada por el interruptor de presión de lubricación automática en un tiempo máximo a 150 segundos	A	No suministra grasa al circuito de lubricación del accesorio frontal y corona de giro	19	Bobina de la válvula solenoide abierta o en corto circuito	Cuando la bobina de la válvula solenoide se abre o entra en corto circuito, al recibir la señal del terminal 48-18 del MC no se crea el campo magnético que mueve el spool, no se permite el paso de aceite hacia el motor hidráulico de la bomba de grasa, el motor no se acciona y no se suministra grasa al circuito de lubricación del accesorio delantero y corona de giro. Demora 1/2 hora en reemplazar el solenoide de la válvula. La máquina deja de producir 1/2 hora con un costo de USD 349000.
				20	Spool de la válvula solenoide pegado en la posición cerrada	Cuando el spool de la válvula solenoide se pega en la posición cerrada en el momento que el MC energiza la bobina de esta válvula, el spool no se mueve y mantiene bloqueado el flujo de aceite que va hacia el motor hidráulico de la bomba, el motor no se acciona y no se suministra grasa al circuito de lubricación del accesorio delantero y corona de giro. Se demora 1/2 hora en reemplazar la válvula solenoide. La máquina deja de producir 1/2 hora con un costo de USD 349000.
2	Contener la grasa en el circuito de lubricación del accesorio frontal y la corona de giro hasta que la bomba suministre grasa hasta alcanzar la presión seteada por el interruptor de presión de lubricación automático	B	No contiene la grasa en el circuito de lubricación del accesorio frontal y corona de giro	21	Fuga de grasa por manguera entre la válvula de venteo y las regletas de inyectores	Si una manguera fuga en el circuito de lubricación no se puede contener la grasa, la presión no aumenta en el circuito y la bomba la apagará el MC 150 segundos después de iniciar el ciclo, el MC ve esto como una falla y envía una señal de alarma en el monitor. Demora 1/2 en reemplazar una manguera en el circuito de lubricación. La máquina deja de producir 1/2 hora con un costo de USD 349000.

HOJA DE INFORMACIÓN RCM		Activo: EXCAVADORA EX3600-6		No: RCM01	Realizado por:	Fecha:
Componente: Sistema de lubricación centralizado		Ref.		Revisado por:	Fecha:	
FUNCIÓN (F)		FALLA FUNCIONAL (FF)		MODO DE FALLA (MF)		EFEECTO DE LA FALLA
2	<p>Contener la grasa en el circuito de lubricación del accesorio frontal y la corona de giro hasta que la bomba suministre grasa hasta alcanzar la presión seteada por el interruptor de presión de lubricación automático</p>	B	<p>No contiene la grasa en el circuito de lubricación del accesorio frontal y corona de giro</p>	22	Inyectores con fuga externa	<p>Cuando hay inyectores que presentan fuga externa, en el circuito de lubricación no se puede contener la grasa, la presión no aumenta en el circuito y la bomba la apagará el MC 150 segundos después de iniciar el ciclo, el MC ve esto como una falla y envía una señal de alarma en el monitor. Demora 1/2 en reemplazar un inyector. La máquina deja de producir 1/2 hora con un costo de USD 349000.</p>
				23	Inyectores con fuga interna	<p>Cuando hay inyectores que presentan fuga interna en el circuito de lubricación no se puede contener la grasa, la grasa que suministra la bomba se va directamente al punto y la presión no aumenta en el circuito, la bomba la apagará el MC 150 segundos después de iniciar el ciclo, el MC ve esto como una falla y envía una señal de alarma en el monitor. Demora 1 hora en diagnosticar y reemplazar los inyectores con fuga interna. La máquina deja de producir 1 hora con un costo de USD 698000.</p>
3	<p>Suministrar la grasa que sale de la cámara de descarga de los inyectores a todas las articulaciones del aditamento frontal y los rodamientos de la corona de giro cada vez que la bomba de grasa termine un ciclo</p>	C	<p>No llega grasa a las articulaciones del aditamento frontal y a la corona de giro</p>	24	Inyector con fuga externa del lado de la cámara de descarga	<p>Cuando un inyector presenta fuga externa del lado de la cámara de descarga no llega grasa al punto que corresponde a ese inyector, la falta de lubricación en el punto genera un desgaste prematuro de los bujes y pines, el desgaste excesivo de los bujes puede ocasionar que se vea comprometido el alojamiento de éste. Demora 1/2 en reemplazar un inyector. La máquina deja de producir 1/2 hora con un costo de USD 349000.</p>

HOJA DE INFORMACIÓN RCM		Activo: EXCAVADORA EX3600-6		No: RCM01	Realizado por:	Fecha:
Componente: Sistema de lubricación centralizado		Ref.		Revisado por:	Fecha:	
FUNCIÓN (F)		FALLA FUNCIONAL (FF)		MODO DE FALLA (MF)		EFFECTO DE LA FALLA
3	Suministrar la grasa que sale de la cámara de descarga de los inyectores a todas las articulaciones del aditamento frontal y los rodamientos de la corona de giro cada vez que la bomba de grasa termine un ciclo	C	No llega grasa a las articulaciones del aditamento frontal y a la corona de giro	25	Inyector con pistón pegado en la posición normal o de reposo	Cuando a un inyector se le pega el pistón en su posición de reposo no logra hacer el ciclo de carga y descarga de grasa por lo tanto no llega grasa al punto de la articulación correspondiente. La falta de lubricación en el punto genera un desgaste prematuro de los bujes y pines, el desgaste excesivo de los bujes puede ocasionar que se vea comprometido el alojamiento de éste. Demora 1/2 en reemplazar una manguera o tubo. La máquina deja de producir 1/2 hora con un costo de USD 349000.
				26	Tubería o manguera por donde fluye la grasa que sale de la cámara de descarga del inyector hasta el punto de lubricación se rompe	Cuando una tubería por donde fluye la grasa que sale de la cámara de descarga del inyector hasta el punto de lubricación se rompe, la grasa no llega al punto de la articulación, la falta de lubricación en el punto genera un desgaste prematuro de los bujes y pines, el desgaste excesivo de los bujes puede ocasionar que se vea comprometido el alojamiento de éste. Demora 1/2 en reemplazar una manguera o tubo. La máquina deja de producir 1/2 hora con un costo de USD 349000.
				27	Tubería por donde fluye la grasa que sale de la cámara de descarga del inyector hasta el punto de lubricación se tapa	Cuando una tubería por donde fluye la grasa que sale de la cámara de descarga del inyector hasta el punto de lubricación se tapa por solidificación de grasa, la grasa no llega al punto de la articulación, la falta de lubricación en el punto genera un desgaste prematuro de los bujes y pines, el desgaste excesivo de los bujes puede ocasionar que se vea comprometido el alojamiento de éste. Demora 1/2 en destapar la tubería. La máquina deja de producir 1/2 hora con un costo de USD 349000.

6.2 HOJA DE DECISIÓN DE RCM

										Activo: EXCAVADORA EX3600-6			No: RCM01	Realizado por:	Fecha:	
RCM HOJA DE DECISIÓN			Componente: SISTEMA DE LUBRICACIÓN CENTRALIZADO							Ref.	Revisado por:		Fecha:			
			Referencia de información			Evaluación de las consecuencias				H1 S1 O1 N1	H2 S2 O2 N2	H3 S3 O3 N3	Acción a falta			Tarea Propuesta
F	FF	FM	H	S	E	O				H4	H5	S4				
1	A	1	S	N	N	S	S							Revisar el nivel de grasa en el depósito, e informar a mantenimiento el nivel encontrado.	12 horas	Operador
1	A	2	S	N	N	S	S							Revisar el nivel de aceite en el cárter de la bomba e informar a mantenimiento en caso de ser necesario completar nivel.	12 horas	Operador
1	A	3	S	N	N	S	N	N	N					Ningún mantenimiento programado, correr a falla.		
1	A	4	S	N	N	S	S							Verificar el estado del aceite del cárter de la bomba de grasa, informar a mantenimiento en caso de ser necesario	12 horas	Operador
1	A	5	S	N	N	S	N	N	N					Ningún mantenimiento programado, correr a falla.		
1	A	6	S	N	N	S	N	N	N					Ningún mantenimiento programado, correr a falla.		
1	A	7	S	N	N	S	N	N	N					Ningún mantenimiento programado, correr a falla.		
1	A	8	S	N	N	S	N	N	N					Ningún mantenimiento programado, correr a falla.		
1	A	9	S	N	N	S	N	N	N					Ningún mantenimiento programado, correr a falla.		
1	A	10	S	N	N	S	N	N	N					Ningún mantenimiento programado, correr a falla.		

RCM HOJA DE DECISIÓN										Activo: EXCAVADORA EX3600-6			No: RCM01	Realizado por:	Fecha:
										Componente: SISTEMA DE LUBRICACIÓN CENTRALIZADO			Ref.	Revisado por:	Fecha:
Referencia de información			Evaluación de las consecuencias				H1 S1 O1 N1	H2 S2 O2 N2	H3 S3 O3 N3	Acción a falta			Tarea Propuesta	Intervalo Inicial	A realizarse por
F	FF	FM	H	S	E	O			H4	H5	S4				
1	A	11	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento programado, correr a falla.		
1	A	12	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento programado, correr a falla.		
1	A	13	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento programado, correr a falla.		
1	A	14	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento programado, correr a falla.		
1	A	15	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento programado, correr a falla.		
1	A	16	S	N	N	S	S						Verificar el estado de la tubería que alimenta el motor hidráulico de la bomba de grasa. Abrir orden para reemplazar tubo o manguera en caso de ser necesario.	(12) 250 horas	(Operador) Técnico mecánico
1	A	17	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento programado, correr a falla.		
1	A	18	S	N	N	S	S						Realizar limpieza interna al interruptor de presión de lubricación automática y cambiar el sello retenedor de grasa y el sello de la tapa.	500 horas	Técnico mecánico
1	A	19	S	N	N	S	S						Medir la resistencia de la bobina de la válvula solenoide, si la resistencia no está entre 10 ohm y 25 ohm reemplazarla.	250 horas	Técnico eléctrico

Activo: EXCAVADORA EX3600-6										No: RCM01		Realizado por:		Fecha:	
Componente: SISTEMA DE LUBRICACIÓN CENTRALIZADO										Ref.		Revisado por:		Fecha:	
Referencia de información			Evaluación de las consecuencias				H1 S1 O1 N1	H2 S2 O2 N2	H3 S3 O3 N3	Acción a falta			Tarea Propuesta	Intervalo Inicial	A realizarse por
F	FF	FM	H	S	E	O			H4	H5	S4				
2	A	20	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento programado, correr a falla.		
2	B	21	S	N	N	S	S						Verificar estado de la tubería que va entre la válvula de venteo y las regletas de inyectores de grasa. Abrir orden para reemplazar tubo o manguera en caso de ser necesario.	(12) 250 horas	(Operador) Técnico mecánico
2	B	22	S	N	N	S	S						Inspeccionar estado de inyectores de las regletas para verificar su estado. Abrir una orden para reemplazar inyectores en caso de ser necesario.	12 horas	Técnico mecánico
2	B	23	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento programado, correr a falla.		
3	C	24	S	N	N	S	S						Inspeccionar estado de inyectores de las regletas para verificar su estado. Abrir una orden para reemplazar inyectores en caso de ser necesario.	12 horas	Técnico mecánico
3	C	25	S	N	N	S	S						Encender la bomba de grasa (colocar el interruptor de modo de lubricación en manual) para comprobar que los inyectores de las regletas realizan el ciclo de carga y descarga (observar que el pistón entra y sale). Abrir una orden para reemplazar inyectores en caso de ser necesario.	12 horas	Técnico mecánico

RCM HOJA DE DECISIÓN										Activo: EXCAVADORA EX3600-6			No: RCM01	Realizado por:	Fecha:
										Componente: SISTEMA DE LUBRICACIÓN CENTRALIZADO			Ref.	Revisado por:	Fecha:
Referencia de información			Evaluación de las consecuencias				H1 S1 Q1 N1	H2 S2 O2 N2	H3 S3 O3 N3	Acción a falta			Tarea Propuesta	Intervalo Inicial	A realizarse por
F	FF	FM	H	S	E	O	H4			H5	S4				
3	C	26	S	N	N	S	S						Verificar estado de la tubería que sale de la cámara de descarga del inyector hasta el punto de lubricación. Abrir orden para reemplazar tubo o manguera en caso de ser necesario.	(12) 250 horas	(Operador) Técnico mecánico
3	C	27	S	N	N	S	S						Encender la bomba de grasa (colocar el interruptor de modo de lubricación en manual), conectar la pistola del carrete de grasa a las graseras de los inyectores y suministrar grasa a presión desde la cámara de descarga del inyector hasta el punto de lubricación para desplazar la grasa solidificada.	250 horas	Técnico mecánico

6.3 LISTAS DE CHEQUEO

Tabla 5. Lista de chequeo para los operadores

LISTA DE CHEQUEO DEL OPERADOR					
OPERARIO:		GRUPO:			
EQUIPO:		HORAS DE USO:		FECHA:	
TAREAS DE INSPECCIÓN	BUENO		COMENTARIO		
	SI	NO			
Revisar el nivel de grasa en el depósito, e informar a mantenimiento el nivel encontrado.					
Revisar el nivel de aceite en el cárter de la bomba e informar a mantenimiento, en caso de ser necesario completar nivel					
Verificar el estado del aceite del cárter de la bomba de grasa, informar a mantenimiento en caso de ser necesario					
Verificar el estado de la tubería que alimenta el motor hidráulico de la bomba de grasa. Abrir orden para reemplazar tubo o manguera en caso de ser necesario					
Verificar estado de la tubería que va entre la válvula de venteo y las regletas de inyectores de grasa. Abrir orden para reemplazar tubo o manguera en caso de ser					
Verificar estado de la tubería que sale de la cámara de descarga del inyector hasta el punto de lubricación. Abrir orden para reemplazar tubo o manguera en caso de ser					

Tabla 6. Lista de chequeo para mantenimiento

LISTA DE CHEQUEO MANTENIMIENTO				
TÉCNICO:			GRUPO:	
EQUIPO:		HORAS DE USO:		FECHA:
TAREAS DE INSPECCIÓN		BUENO		COMENTARIO
		SI	NO	
Verificar el estado de la tubería que alimenta el motor hidráulico de la bomba de grasa. Abrir orden para reemplazar tubo o manguera en caso de ser necesario.				
Realizar limpieza interna al interruptor de presión de lubricación automática y cambiar el sello retenedor de grasa y el sello de la tapa.				
Medir la resistencia de la bobina de la válvula solenoide, si la resistencia no está entre 10 ohm y 25 ohm reemplazarla.				
Verificar estado de la tubería que va entre la válvula de venteo y las regletas de inyectores de grasa. Abrir orden para reemplazar tubo o manguera en caso de ser necesario.				
Inspeccionar estado de inyectores de las regletas para verificar su estado. Abrir una orden para reemplazar inyectores en caso de ser necesario.				
Encender la bomba de grasa (colocar el interruptor de modo de lubricación en manual) para comprobar que los inyectores de las regletas realizan el ciclo de carga y descarga (observar que el pistón entra y sale). Abrir una orden para reemplazar inyectores en caso de ser necesario.				
Encender la bomba de grasa (colocar el interruptor de modo de lubricación en manual) para comprobar que los inyectores de las regletas realizan el ciclo de carga y descarga (observar que el pistón entra y sale). Abrir una orden para reemplazar inyectores en caso de ser necesario.				
Verificar estado de la tubería que sale de la cámara de descarga del inyector hasta el punto de lubricación. Abrir orden para reemplazar tubo o manguera en caso de ser necesario.				
Encender la bomba de grasa (colocar el interruptor de modo de lubricación en manual), conectar la pistola del carrete de grasa a las graseras de los inyectores y suministrar grasa a presión desde la cámara de descarga del inyector hasta el punto de lubricación para desplazar la grasa que solidificada.				

7. CONCLUSION

- Se describen las funciones principales y secundarias del sistema de lubricación centralizado de la excavadora Hitachi modelo EX3600-6.
- Se describen las fallas funcionales de cada una de las funciones principales y secundarias del sistema de lubricación centralizado de la excavadora Hitachi modelo EX3600-6.
- Se definen los modos de falla asociados a cada una de las fallas funcionales del sistema de lubricación centralizado de la excavadora Hitachi modelo EX3600-6.
- Se definen los efectos producidos por cada modo de falla del sistema de lubricación centralizado.
- Se formula un plan de mantenimiento fundamentado en la metodología del RCM para el sistema de lubricación centralizado de la excavadora Hitachi EX3600-6, definiendo las tareas del plan de mantenimiento mínimas requeridas para asegurar que el sistema de lubricación central de la excavadora Hitachi EX3600-6 mejore en disponibilidad y sea más confiable.

BIBLIOGRAFÍA

EBAY, Inyector de grasa [citado en octubre de 2017] disponible en:

https://www.ebay.com/itm/Lincoln-81770-4-Centro-Matic-SL-1-Inyector-De-Grasa-4-Viton-3-8-en-parte-B492402-/381180919769_ul=CL

ES SLIDESHARE NET, Las fallas [citado en junio de 2017] disponible en:

<https://es.slideshare.net/avanzado2/5-las-fallas>.

Hitachi Career Development Center. Training text EX3600-6 General information ed. English TTLA-0740-EX.

Hitachi Construction Machinery Co., Ltd. Operator manual EX3600-6, ed. English SM18M-1-1.

Hitachi Construction Machinery Co., Ltd. Technical Operation Principles Manual EX3600-6, ed. English TO18M-E-00

INGENIERÍA INDUSTRIAL ONLINE, herramientas para el ingeniero industrial [citado en octubre de 2017] disponible en:

<https://www.ingenieriaindustrialonline.com/herramientas-para-el-ingeniero-industrial/mantenimiento/>

MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad RCM II ed. Español. Asheville: Aladon, 2004

ORTIZ PLATA, Daniel. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad RCM. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas, Escuela de Ingeniería Mecánica.2017

PARTDEAL, Lincoln instruction manual [citado en octubre de 2017] disponible en:
http://www.partdeal.com/downloads/dl/file/id/3618/product/76101/lincoln_instruction_manual_pn_85480_85481_85482_and_85483.pdf

RCM3, La norma sae ja 1011 [citado en octubre de 2017] disponible en:
<http://rcm3.org/la-norma-sae-ja-1011>

RELIABILITY WEB, definición de las frecuencias para un plan de mantenimiento [citado en Octubre de 2017] disponible en:
<https://reliabilityweb.com/sp/articles/entry/definicion-de-las-frecuencias-para-un-plan-de-mantenimiento>

RELIABILITY WEB, Mantenimiento el nuevo paradigma [citado en junio de 2017] disponible en:
<https://reliabilityweb.com/sp/articles/entry/mantenimiento-el-nuevo-paradigma>

RIVI, Línea simple centromatic [citado en octubre de 2017] disponible en:
<http://www.rivi.net/productos/linea-simple-centromatic/linea-simple-centromatic.pdf>

SAE JA1011. Evaluations criteria for reliability-centered maintenance (RCM) processes. Society of Automotive Engineer, Inc. 1999

SAE JA1012. A Guide to the Reliability-Centered Maintenance (RCM) Standard. Society of Automotive Engineer, Inc. 2002