

DISEÑO DEL PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN RCM PARA LA BOMBA
DE AGUA DE ALIMENTACION DE CALDERA, AUTOGENERACIÓN ARGOS
RIOCLARO

ISRAEL DE JESUS BECERRA BECERRA

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA
ESPECIALIZACION EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA

2017

DISEÑO DEL PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN RCM PARA LA BOMBA
DE AGUA DE ALIMENTACION DE CALDERA, AUTOGENERACIÓN ARGOS
RIOCLARO

ISRAEL DE JESUS BECERRA BECERRA

Monografía de grado presentada como requisito para optar al título de
Especialista en Gerencia de Mantenimiento

Director

Daniel Ortiz Plata

Ing. Mecánico, Msc

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA
ESPECIALIZACION EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA

2017

DEDICATORIA

A mi familia y mi pareja que con su apoyo me dieron aliento para lograr alcanzar este nuevo triunfo.

Israel Becerra

AGRADECIMIENTOS

Expreso mis agradecimientos:

Al Ingeniero Daniel Ortiz Plata por su Colaboración, paciencia, compromiso y apoyo durante el desarrollo de esta monografía.

A mis jefes y Compañeros de la planta de Autogeneración Argos Rioclaro Antioquia, por la colaboración y participación en la búsqueda de la información para el desarrollo de este trabajo de orden académico.

De la misma manera extendiendo mis agradecimientos a todo el grupo de Profesores que fueron partícipes de este programa de formación académico de esta especialización, los cuales desde cada una de sus áreas brindaron lo conocimiento e ideas que fueron logrando la realización del mismo.

Finalmente, y no menos importante agradecer a todo el personal administrativo de la UIS, como de ASEDUIS por la colaboración y el apoyo prestados durante la duración del curso y por su disposición de servicio.

CONTENIDO

INTRODUCCION	13
1. DESCRIPCION DEL PROYECTO	14
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	14
1.2 OBJETIVOS.....	15
1.2.1 Objetivo General:	15
1.2.2 Objetivos Específicos:.....	16
1.3 MARCO TEORICO	16
1.3.1. Descripción del sistema de la bomba de agua de alimentación a caldera: ..	19
2. METODOLOGIA	20
2.1 SOLUCION DEL PROBLEMA (CASO DE ESTUDIO)	21
2.1.1 Selección del sistema y recopilación de la información.	21
2.1.2 Definición de fronteras	24
2.1.3 Diagrama funcional	25
2.1.4 Funciones del sistema y fallas funcionales	28
2.1.5 Análisis de modos de falla.	28
2.1.6 Análisis de árbol lógico	49
2.1.7 Criticidad.....	51
2.2. ANALISIS DE RESULTADOS.....	52
3. CONCLUSIONES	59
BIBILOGRAFIA.....	60
ANEXOS.....	62

LISTA DE FIGURAS

	Pag.
Figura 1. Diagrama de la metodología básica RCM	20
Figura 2. Diagrama básico de acoplamiento Bomba-Motor	22
Figura 3. Características técnicas y de operación de la bomba.....	22
Figura 4. Características técnicas y de operación del motor eléctrico.	23
Figura 5. Relación porcentual de falla y malos actores.....	24
Figura 6. Diagrama funcional del conjunto Bomba-Motor.....	26
Figura 7. Diagrama de Decisión RCM-II.	50
Figura 8. Matriz de Criticidad.	51
Figura 9. Distribución de tareas proactivas.....	55

LISTA DE TABLAS

	Pag.
Tabla 1. Características técnicas del Aceite.	26
Tabla 2. Juego de Rodete.....	27
Tabla 3. Resultado del análisis de criticidad según reparaciones.....	52
Tabla 4. Tareas proactivas y frecuencias propuestas. (Operador Campo).....	53
Tabla 5. Tareas proactivas y frecuencias propuestas (Ing. Mtto).....	54
Tabla 6. Tareas proactivas y frecuencias propuestas (Operador Sala)	54
Tabla 7. Tareas proactivas y frecuencias propuestas (Contratista SKF)	55
Tabla 8. Datos de malos actores, versus tiempos promedios de fallas y costos de reparación en la bomba de agua de alimentación promedio anual.....	56
Tabla 9. Propuesta para el Stock de repuestos en almacén.....	58

LISTA DE ANEXOS

	Pag.
Anexo A. Listado de piezas y repuestos recomendados por el fabricante.....	61

RESUMEN

TITULO: DISEÑO DEL PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN RCM PARA LA BOMBA DE AGUA DE ALIMENTACION DE CALDERA, AUTOGENERACIÓN ARGOS RIOCLARO

AUTOR: ISRAEL DE JESUS BECERRA BECERRA

PALABRAS CLAVE: Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, RCM, Motor, Bomba Multi-etapas.

DESCRIPCION:

Este trabajo de monografía, se desarrolla basado en el modelo RCM, Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, para una bomba tipo Centrifuga de alta presión de varios escalones de eje horizontal, encargada de la alimentación de agua desmineralizada a la caldera, en una planta de generación de energía de 17 MW, térmica con parrilla viajera. Siendo uno de los equipos principales del proceso de generación.

Aplicando la metodología RCM, a un sistema para la determinación de una serie de tareas, que se debe hacer segura, que cualquier activo físico continúe haciendo lo que sus usuarios quieren que haga en su contexto operacional actual. En este caso de estudio a la bomba de agua de alimentación, el análisis se realiza a un nivel intermedio, es decir; que se tiene en cuenta solo los subsistemas principales, para poder definir mejor las funciones, fallas funcionales, modos de falla y efectos de las mismas en cada parte o elementos a analizar y así se pueden proponer acciones para minimizar o eliminar dichas fallas.

Final mente y como resultado de este trabajo se proponen una serie de planes de acción para el mantenimiento, con un listado de tareas a realizar por el personal del área y con unas frecuencias específicas, donde la prioridad será conservar los componentes críticos de la bomba y eliminar los malos actores.

SUMMARY

TITLE: DESIGN OF THE RCM-BASED MAINTENANCE PLAN FOR THE BOILER POWER SUPPLY WATER PUMP, AUTO-GENERATION ARGOS RIOCLARO

AUTHOR: ISRAEL DE JESUS BECERRA BECERRA.

KEYWORDS: Reliability Centered Maintenance, RCM, Engine, Multi-stage Pump

DESCRIPTION:

This monograph is developed based on the RCM model, Reliability Centered Maintenance, for the centrifugal pump of high pressure of several steps of horizontal axis, in charge of the feed of demineralized water to the boiler, in a plant of generation of energy of 17 MW, thermal with traveling grill. Being one of the main teams of the generation process.

Applying the RCM methodology, for system for determining a series of tasks, which must be done, ensures that any physical asset continues to do what its users want it to do in its current operational context. In this case study of the feed water pump, the analysis is performed at an intermediate level, it is to say, which takes into account only the main subsystems, in order to be able to better define the functions, functional faults, fault modes and their effects in each part or elements to analyze and thus can propose actions to minimize or eliminate such failures.

Finally, as a result of this work, a series of action plans for maintenance are proposed, with a list of tasks to be carried out by the personnel of the area and with specific frequencies, where the priority will be to conserve the critical components of the pump and remove bad actors.

INTRODUCCION

El mantenimiento de la bomba Centrifuga de alta presión de varios escalones de eje horizontal o llamada (Bomba de agua de Alimentación) en la planta de Rioclaro se hace basado en varios criterios como: La operación de la planta, la disponibilidad de repuestos y los tiempos de paro, los cuales son determinados por los paros de la fábrica de cemento. Con este trabajo se pretende mejorar el plan de mantenimiento de la bomba de agua de alimentación de la planta Rioclaro debido a que las condiciones de ubicación geográfica, de adquisición y compra de equipos y de disponibilidad de personal son restringidas, llevando a realizar un mantenimiento correctivo por condición, con riesgo de paros generales de planta y perdidas en la producción.

Se emplearía la técnica de RCM junto con la medición de parámetros de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad, mejorando dichos parámetros y así poder realizar una metodología adecuada de mantenimiento, realizando análisis de modos y tiempos de falla, para mejorar la disponibilidad de la planta requerida por la fábrica de cemento.

El resultado deseado al final será un plan de mantenimiento adecuado para las variables de operación y servicio, teniendo en cuenta la metodología de RCM como pilar de desarrollo.

1. DESCRIPCION DEL PROYECTO

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La Fábrica de Cementos Argos Rioclaro, que por ubicación geográfica se encuentra retirada de las poblaciones, con unas condiciones de grandes lluvias con tormentas y una zona roja en cuanto al orden público, cuenta con una planta para la generación de energía eléctrica de 17 MW y ser así auto sostenible y dar respaldo en su proceso de fabricación de cemento suministrándole el 70% de la energía al proceso de cemento y el restante 30% se le compra a Empresas Públicas de Medellín (EPM).

Esta área denominada autogeneración está conformada por: Un jefe de planta, un profesional de mantenimiento, ocho operadores de sala, cuatro operadores de campo y tres técnicos de mantenimiento general (mecánico y eléctrico) para la operación y el mantenimiento de toda la planta térmica. El mantenimiento que se tiene es correctivo, ejercido por los mismos operadores con la ayuda de los tres técnicos de mantenimiento y se hace en el curso de la operación de la planta, dejando a un lado el mantenimiento preventivo por la disponibilidad requerida por parte de la cementera y del bajo recurso humano, como también el poco tiempo destinado en los paros programados o el aplazamiento de los mantenimientos generales.

La bomba de agua de alimentación es uno de los equipos más importantes de la planta de generación de energía, ya que si esta llegase a fallar se dispara la caldera por bajo nivel, parando por completo la planta de generación por horas o en el peor de los casos por meses, de pasar esto se tendría que comprar la totalidad de energía necesaria en este caso a (EPM) a un mayor costo del que se

produce en la planta, de (\$194 a \$240 el kw/h), también se pueden afectar a los trabajadores de esta área pues entrarían a un mantenimiento indefinido o a traslados a otras plantas.

En este orden de ideas, es necesario implementar un sistema de mantenimiento preventivo, para la bomba de agua de alimentación, teniendo en cuenta sus factores a controlar como son; Temperaturas, vibraciones, desplazamiento, sellos y nivel de aceite. Pues estos nos garantizan la vida útil y el correcto funcionamiento de la misma (100%) al igual que el de los equipos asociados, llegando así a cumplir con la confiabilidad requerida por la compañía para la planta de generación del 95% hacia el proceso de cemento, también se da mejora al proceso interno de la planta y se reducen los costos de generación de KWh en unos (\$46), ya que por ubicación geográfica y costos del suministro de carbón el costo de está es muy cercano a la producción que se tiene con respecto a las empresas que suministran los excedentes de esta energía, lo que nos conlleva a tener que ser más rentables para la compañía.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo General:

- Diseñar un plan de mantenimiento basado en (RCM) para la bomba de agua de alimentación de la caldera, para buscar así la disponibilidad de la planta de Autogeneración en la generación de energía, que para este año debe cumplir una confiabilidad del 95% a su cliente inmediato (Planta de Cemento) el cual el año pasado fue del 91%.

1.2.2 Objetivos Específicos:

- Identificar por RCM el tipo de mantenimiento adecuado para el equipo.
- Establecer inspecciones rutinarias, entre otras, de niveles de aceite, ajuste de sellos, calibración y verificación de instrumentos, al igual que toma de vibraciones y termografías al motor.
- Identificar los repuestos e insumos más usados y los modos de fallas críticos, para definir, posteriormente, las cantidades que se deben tener en almacén.

1.3 MARCO TEORICO

El Mantenimiento Centrado en Confiabilidad RCM comenzó en el año 1974 cuando el departamento de defensa de los estados unidos comisiono a United Airlines para preparar un informe sobre procesos usados por la industria de la aviación civil para elaborar programas de mantenimiento para los aviones. El informe resultante fue llamado Mantenimiento Centrado en confiabilidad.

Mantenimiento Centrado En Confiabilidad RCM: Es un mantenimiento que está orientado específicamente hacia la sistematización y el ordenamiento de los elementos que constituyen la administración del mantenimiento industrial.(Moubray, 2004)

Este mantenimiento tiene como ventaja, que la misma promueve el uso de las nuevas tecnologías para el campo de mantenimiento. La aplicación de nuevas técnicas bajo el enfoque del RCM optimiza de forma eficiente, los procesos de producción y disminuye al máximo los posibles riesgos al personal.

Se podría decir que la misión principal de mantenimiento es garantizar que los equipos estén con la máxima disponibilidad cuando o requiere el usuario, con la máxima confiabilidad durante el tiempo solicitado para operar, en las condiciones técnicas y tecnológicas exigidas previamente por el demandante, para producir bienes o servicios que satisfagan sus necesidades, deseos o requerimientos, con los niveles de calidad, cantidad y tiempo solicitados, en el momento oportuno a menor costo.(Moubray, 2004)

Una de las más destacadas tácticas de organizar y administrar el mantenimiento es el RCM – Mantenimiento Centrado en confiabilidad, cuyo término se refiere a un plan de mantenimiento programado y diseñado para proporcionar confiabilidad inherente en los equipos. El RCM se enfocó inicialmente en la industria aeronáutica en los estados unidos, Pero con el tiempo se fue desarrollando en otros campos como el militar, industrial, plantas, fábricas, en la minería, etc.

Jhon Mitchell Moubray IV, después de muchos años de trabajo con la industria aeronáutica, en la implementación del sistema RCM, recopiló un trabajo que condujo al desarrollo en 1990 del RCM2 para otras industrias fuera de la industria de la aviación. Este creciente uso hizo que la SAE creara el estándar SAE JA1011 (“Evaluation Criteria for RCM processes”) donde se busca dar unas pautas para saber si un proceso es o no es RCM, El estándar SAE JA1012 (“A Guide to the Reliability Centered Maintenance (RCM) standard”) nació para aclarar cada uno de los criterios listados en el estándar SAE JA1011 adicionando las mejoras que se le hicieron al estándar SAE JA1011 y el orden en que deben ser manejadas para llevar exitosamente un proceso RCM. Este es un proceso utilizado para determinar que se debe hacer para asegurar que cualquier activo físico continúe haciendo lo que sus usuarios quieren que haga en un contexto operacional actual.(Para, 1999)

Ventajas que trae la implementación del RCM, no solo a la gestión de mantenimiento sino también a la organización.

- Importantes reducciones en los costos de mantenimiento
- Optimiza la confiabilidad operacional, maximizando la disponibilidad y mejora la mantenibilidad de las plantas y sus activos.
- Establece un sistema eficiente de mantenimiento preventivo, el cual optimiza la aplicación de actividades en función de su criticidad e importancia integrándolas a su contexto operacional.
- Fomenta el trabajo en equipo, crea un espíritu altamente crítico frente a condiciones de fallas y averías, e involucra todo el personal que tiene que ver con la gestión de mantenimiento en la organización.
- Incrementa la seguridad operacional y la protección ambiental, por lo que el personal mejora su conocimiento en los procesos operacionales y sus efectos sobre la integridad de las instalaciones.

De igual manera las limitaciones del RCM radican más que todo en el factor humano con que cuente la organización, ya que de estos depende el éxito.(Moubray, 2004)

El objetivo del RCM radica en mitigar las consecuencias en vez de prevenir la falla y se basa en siete preguntas básicas. Previamente se debe conocer o explorar la relación entra la organización y los elementos físicos que la componen, se necesita saber qué tipo de elementos físicos existen en la empresa y decir cuáles son los que deben estar sujetos al proceso de revisión por el RCM. Esta táctica plantea una serie de preguntas acerca de cada uno de los elementos seleccionados así. (Moubray, 2004)

- ¿Cuáles son las funciones y las variables de desempeño asociadas al presente contexto operacional?

- ¿De qué forma puede fallar o no cumplir sus funciones?
- ¿Cuál o cuáles son las causas inmediatas o básicas para que falle?
- ¿Qué pasa y que impactos genera cada falla funcional?
- ¿Cuál es la importancia de cada falla?
- ¿Qué hacer o como se puede prevenir cada falla?
- ¿Qué se debe hacer para controlar cada falla si no hay forma de prevenir o anticiparse a esta?

1.3.1. Descripción del sistema de la bomba de agua de alimentación a caldera: El sistema de agua de alimentación es un ciclo cerrado en el proceso de la generación de energía de las plantas térmicas a carbón. Comienza con el llenado del tanque de agua de alimentación por la parte superior o Desaireador, donde el agua gana temperatura de unos 29⁰ a 90⁰, al interactuar con el vapor que viene de las extracciones de la Turbina donde ya realizó su trabajo. De este tanque de Agua de Alimentación, baja por gravedad a la **Bomba de agua de alimentación**, la cual bombea esta agua al domo superior de la caldera, pasando por el Economizador, donde gana temperatura; con la salida de los gases de la caldera de 90⁰ a 130⁰ aproximadamente. En este domo junto con el agua de la caldera se calienta, por radiación de la combustión del carbón en una parrilla viajera en la parte inferior de la misma y así, subir su temperatura convirtiéndose en vapor, luego pasa por los sobre calentadores primario y secundario que son una serie de tubos colgantes en el interior de la caldera de frente a la llama para pasar de ser vapor húmedo a vapor saturado y sobresaturado respectivamente. De allí sale hacia la Turbina haciendo que esta gire al entrar en contacto con los alavés de la misma. Parte de este vapor sale por las extracciones en las primeras etapas de la turbina y un 60% restante de vapor pasa al condensador donde por intercambio de calor con un sistema de refrigeración, vuelve a condensarse al estado líquido y esta agua es bombeada por las bombas de condensado al tanque de agua de alimentación donde comienza de nuevo el ciclo.

2. METODOLOGIA

La metodología a seguir en el presente trabajo de monografía será la de RCM, la cual describe de forma sistemática una serie de actividades que permiten lograr que los activos físicos, sistemas o procesos continúen desarrollando sus actividades proporcionando valor, sin importar lo que los usuarios quieran hacer.

El RCM consta de 7 pasos básicos para su desarrollo como son:

Figura 1. Diagrama de la metodología básica RCM



Fuente: <http://www.construsur.com.ar/News-sid-1-file-article-pageid-2.html>

- Paso 1: Selección del sistema y recolección de la información.
- Paso 2: Definición de fronteras del sistema.
- Paso 3: Descripción del sistema y diagrama de flujo.

- Paso 4: Función del sistema y fallas funcionales.
- Paso 5: Análisis de modos de fallas y efectos (FMEA).
- Paso 6: Análisis de árbol lógico (LTA).
- Paso 7: Selección de tareas.

2.1 SOLUCION DEL PROBLEMA (CASO DE ESTUDIO)

2.1.1 Selección del sistema y recopilación de la información: El punto de partida para el desarrollo de esta metodología RCM, está en la selección del sistema o equipo, esta se hace evaluando aspectos como; tiempos de ejecución y costos de mantenimiento planeados o correctivos, seguridad y medio ambiente.

La información se recolecta de los mantenimientos y del personal tanto operativo como de mantenimiento, de la planta de Autogeneración de Rioclaro. La planta de Autogeneración de Rioclaro tiene una capacidad de generación de 17 MW, cuenta con una caldera acuotubular de 80 t/h de vapor, una turbina Siemens Alemana de 14 etapas para 17 MW y un generador General Electric para 22MW.

Dentro de los activos de esta planta de generación se encuentra la bomba centrífuga de alta presión de varios escalones de eje horizontal o mal llamada (Bomba de agua de alimentación a caldera), acoplada a un motor eléctrico de 350 HP con alimentación de 440 V. (Ver figura 2)

Las características generales tanto técnicas como de operación de cada componente básico de la bomba de agua de alimentación y También del motor eléctrico, se describen en las figuras 3 y 4.

Figura 2. Diagrama básico de acoplamiento Bomba-Motor



Fuente: Autor, Planta Rioclaro.

Figura 3. Características técnicas y de operación de la bomba.


	CARACTERISTICAS TECNICAS	
	Marca	KSB
	Modelo	A1826 8P
	Caudal max.	95 m ³ /h
	cabeza max	612 m
	Año	2007
	CARACTERISTICAS OPERACIONALES	
Caudal	80 m ³ /h	
Velocidad	3550 RPM	

Fuente: Autor

Teniendo en cuenta que el funcionamiento de la bomba de agua de alimentación en gran parte, está influenciado por el motor eléctrico WEG, ya que este se en

cuenta acoplado a la bomba y trabajan como uno. Se decide hacer el análisis RCM como un conjunto Bomba-motor, para así obtener un mejor resultado de este trabajo de mantenimiento.

Figura 4. Características técnicas y de operación del motor eléctrico.

	CARACTERISTICAS TECNICAS	
	Marca	WEG
	Modelo	NBR 7094
	Potencia Nominal	350 HP
	Velocidad nominal	3585 RPM
	Potencia	460 V
	Corriente	371 A
	Temperatura max.	40° C

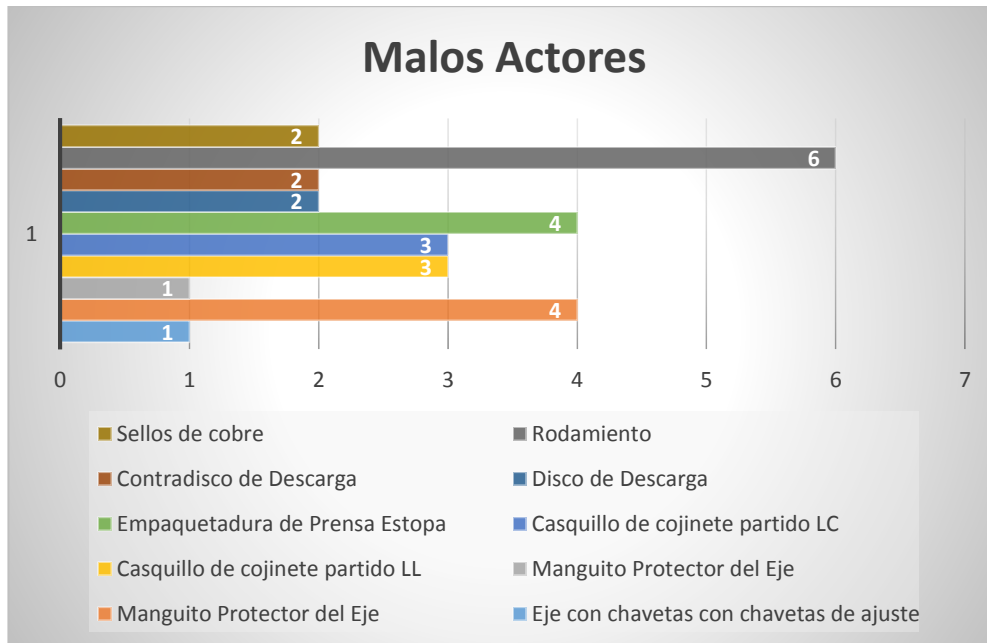
Fuente: Autor

Analizando la información recolectada en relación a los mantenimientos y reparaciones hechas por el personal de mantenimiento a la bomba de agua de alimentación, establecemos que las intervenciones que se han realizado y los componentes que más han presentado falla son presentados en la figura 5.

Los elementos que se evidencian como malos actores son:

- Manguito Protector del Eje
- Casquillo de cojinete partido LL
- Casquillo de cojinete partido LC
- Empaquetadura de Prensa Estopa
- Rodamientos

Figura 5. Relación porcentual de falla y malos actores.



Fuente: Autor

2.1.2 Definición de fronteras: La definición de fronteras es fundamental por dos aspectos. Primero para garantizar que funciones potencialmente importantes no queden excluidas y segundo, para poder identificar la interacción del sistema con su medio, es decir que entra que sale de este.

Para un mejor análisis se considera que el conjunto de la Bomba de Agua de Alimentación, interactúa con el medio que la rodea de la siguiente manera, por lo tanto, las fronteras para esta se establecen así:

Entradas de la Bomba:

- Agua del tanque de alimentación
- Energía mecánica
- Agua de refrigeración

Salida de la Bomba:

- Agua de alimentación a caldera
- Energía térmica
- Agua caliente

Entrada del Motor:

- Energía eléctrica
- Señal de control

Salida del Motor:

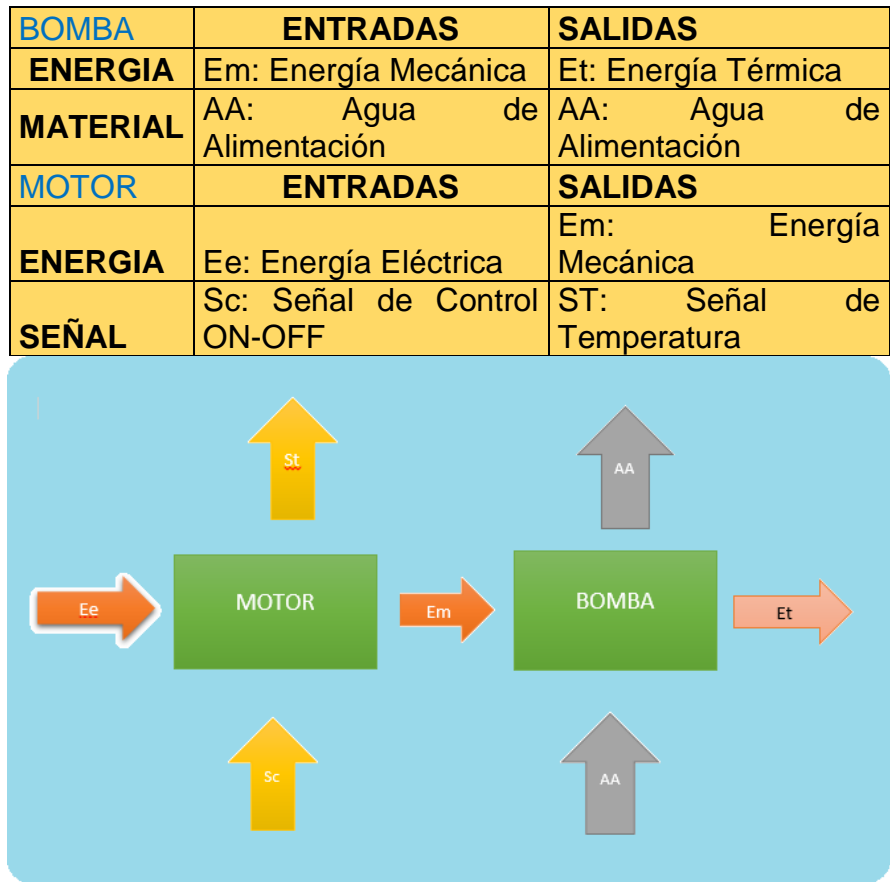
- Energía mecánica
- Señales de control y Temperatura

2.1.3 Diagrama funcional: Ya conociendo las fronteras del sistema que está en estudio, se construye el diagrama funcional de la misma forma simplificada. Por lo tanto, se opta por dividir este conjunto en subsistemas principales, los cuales serán objeto de aplicación de la metodología RCM, para una mejor orientación del grupo de trabajo y maximizar el FMEA en este grupo. Ver figura 6.

Los subsistemas se establecen así:

- Lubricación.
- Refrigeración.
- Vibraciones.
- Control y Monitoreo.
- Alimentación de Energía.

Figura 6. Diagrama funcional del conjunto Bomba-Motor.



Fuente: Autor

En las tablas 1 y 2 Complementamos la información y especificaciones para con la Bomba de Agua de Alimentación, describiendo con más detalles algunas características significativas y parámetros para su operación, como también accesorios o requeridos.

Tabla 1. Características técnicas del Aceite.

Calidad de Aceite		
Unidades SI		Denominación Utilizada
Aceite utilizado	Mobil Dt 26	
Viscosidad a 50 ° C	30 hasta 45 mm ² /s	4 a 6 ⁰ E

Densidad a 20 ° C	0,9 kg/dm ³	
Punto de Inflamación mínimo	+150 ° C	
Punto de Solidificación Inferior	a -5 ° C	
Contenido de Ceniza	0.05%	
Coefficiente de neutralización	0,3	
Asfalto duro	0%	

Fuente: Autor

Tabla 2. Juego de Rodete.

Juego de Rodete				
	Como Nuevo con la Variante de Material		Juego Máximo Admisible Con La Variante de Material	
	NiGG	Ejecución de Acero al Cromo	NiGG	Ejecución de Acero al Cromo
	mm en el Diámetro	mm en el Diámetro	mm en el Diámetro	mm en el Diámetro
Primer escalón Anillo intersercial - Cuello de rodete	0.45	0.55	1.1	1.1
Anillo intersercial - Cuello de rodete a partir del Segundo Escalón	0.35	0.45	1.0	1.0
Difusor casquillo Escalonado	0.3	0.4	1.0	1.0
Contradisco de Descarga - Caquillo Distanciador	0.45	0.45	1.0	1.0
Eje - Caja de Aspiración	1.0	1.0	2.0	2.0

Fuente: Autor

2.1.4 Funciones del sistema y fallas funcionales: Dentro de las funciones del sistema de la bomba de agua de alimentación tenemos:

- Bombear agua a una presión superior al de trabajo de la caldera de unos (55 Kg/cm²) aproximadamente, para mantener un nivel deseado en el domo de vapor (50%).
- Hacer girar la bomba de agua de alimentación para que esta alimente caldera.

Se determina como fallas funcionales:

- Bajo Caudal o No bombea agua.
- Sobre carga de la maquina
- Aumento de temperatura en cojinetes
- Fugas en la junta del eje (prensaestopas)
- Funcionamiento irregular de la bomba-motor
- Aumento de temperatura en la bomba-motor
- Variación en la presión de descarga
- El motor no gira
- Fallo en la protección térmica
- Ruido excesivo

2.1.5 Análisis de modos de falla: El RCM define el modo de falla como la(s) causa(s) raíz más probable de cada falla funcional. Es decir, el modo de falla es la descripción del evento que causa una falla funcional. Ya determinando las funciones y fallas funcionales, se analizan y evalúan los modos de falla y las consecuencias de estos en los diferentes escenarios.

Ajustando la metodología establecida se plasma la información en un formato tipo (RCM hoja de información), complementando así los pasos 4 y 5 de la metodología.

A continuación, Se muestran las RCM hojas de información desarrolladas con el personal de operación y mantenimiento de la planta para la bomba de agua de alimentación, según las intervenciones realizadas en los últimos 8 años, junto con la experiencia del personal de mantenimiento y operación, pasando por los subsistemas de Lubricación, refrigeración, vibraciones, control y Energía, como también por las fallas funcionales expuestas por el fabricante.

Hojas 1. Trabajo desarrollado con el personal.

RCM HOJA DE INFORMACION		SISTEMA Sistema de Bombeo de Agua a la caldera				
		SUBSISTEMA Lubricación y Refrigeración				
Función Principal		Falla Funcional		Modo de falla		Efecto de falla
1	Lubricar los cojinetes de la bomba para disminuir fricción	A	Bajo nivel de lubricante	1	Perdida de lubricante	Cavitación de la bomba, daño por desgaste agresivo a componentes mecánicos. Tiempo de parada 4 días y costo \$ 300.000.000

	y desgaste en las piezas			2	Degradación del lubricante - Se alteran las propiedades disminuyendo su viscosidad	Desgaste o daño en los componentes mecánicos y bloqueo mecánico de los mismos. Tiempo de parada 0h y costo \$ 300.000
2	Refrigerar los cojinetes de la bomba para evitar se incremente la temperatura y se de rozamiento en las piezas.	A	No refrigera los cojinetes	1	Líneas obstruidas - falla por tratamiento de agua o bloqueo en las tuberías.	Incrementos de temperatura por falta de flujo, fatiga térmica en los componentes. Tiempo de parada 0h y costo \$ 300.000
				2	Falla en la bomba de refrigeración	Incremento de temperatura, posible fatiga térmica en los componentes mecánicos.
		B	No hay flujo de refrigeración	1	Falla en la bomba de refrigeración	No hay refrigeración en los cojinetes, elevación de temperatura danos por fatiga. Tiempo 2h y costo \$ 300.000
				2	Tuberías obstruidas	Incremento de temperatura, posible fatiga térmica en los componentes mecánicos.

Fuente: Autor

RCM HOJA DE INFORMACION		SISTEMA Sistema de Bombeo de Agua a la caldera				
		SUBSISTEMA Vibraciones y Control				
Función Principal		Falla Funcional		Modo de falla	Efecto de falla	
3	Bombear agua a una presión de 67 kg/cm, hacia la caldera.	A	No bombea agua	1	Altas vibraciones en la bomba y motor.	Mal funcionamiento de la bomba y caída de presión en la salida, altas temperatura en el cuerpo de la bomba y el motor. Tiempo de parada 4 días y costo \$ 3000.000.000
		B	Bajo nivel TK agua de alimentación.	2	Cavitación de la bomba, altas vibraciones.	Danos en la bomba si no se sube el nivel de agua y posible disparo de planta. Tiempo 0 \$ 0
4	Monitorear las variables de temperatura y controlar las condiciones de operación de la bomba y motor.	A	Alta temperatura en los devanados del motor.	1	Falla en la RTD	Sobrecalentamiento del motor o danos por fatiga, Puede causar danos catastróficos. Tiempo 5 días \$ 375.000.000
				2	Daño en cableado de RTD	
				3	Falla en PLC	
		B	Falla en señal de servicio del motor	1	Falla en PLC	Disparo de planta por perdida de nivel de agua. Tiempo 1h, costo \$ 3.150.000
2	Falla en programa WinCC					

Fuente: Autor

RCM HOJA DE INFORMACION		SISTEMA Sistema de Bombeo de Agua a la caldera				
		SUBSISTEMA Energía				
Función Principal		Falla Funcional		Modo de falla		Efecto de falla
5	Suministrar la energía eléctrica para el funcionamiento y control del motor de la bomba de agua.	A	No hay suministro de Energía	1	Celda abierta	No arranca la bomba, No hay arranque de planta, Tiempo falla 2 h y costo \$ 6.250.000
				2	Fusibles de la celda dañados	
				3	Protección térmica des calibrada o dañada	
		B	Disparo del motor por protección térmica	1	Trabajo en dos fases	Disparo de planta por bajo nivel de agua en el domo de caldera. Tiempo 5 h y costo 15.000.000
				2	Protección térmica.	
				3	Terminales defectuosos	
				4	Caída de Tensión por tormenta eléctrica en la zona.	
		C	Protección de cortocircuito salta.	1	Terminales defectuosos	Disparo de planta por bajo nivel de agua en el domo de caldera. Tiempo 5 h y costo 15.000.000
				2	Bobinado quemado	

Fuente: Autor

RCM HOJA DE INFORMACION		SISTEMA Sistema de Bombeo de Agua a la caldera				
		SUBSISTEMA Bomba de agua de Alimentación				
Función Principal		Falla Funcional		Modo de falla		Efecto de falla
1	Bombear agua a una presión superior al de trabajo de la caldera de unos (55 Kg/cm ²) aproximadamente, para mantener un nivel deseado en el domo de vapor (50%)	A	Fugas en la Junta del eje	1	La junta esta defectuosa o desgastada	Cambiar junta. Tiempo de parada 0 días y \$ 0
2				Formación de estrías o rugosidad en el manguito protector del eje	Cambiar el manguito protector. Tiempo de parada 2 días y \$ 150.000.000	
3				Escases de líquido refrigerante o aire en el liquido	Aplicar más líquido, purgar el líquido refrigerante. Tiempo de parada 5 H y \$ 15,625.000	

Fuente: Autor

RCM HOJA DE INFORMACION		SISTEMA Sistema de Bombeo de Agua a la caldera			
Función Principal		SUBSISTEMA Bomba de agua de Alimentación			
		Falla Funcional	Modo de falla		Efecto de falla
1	Bombear agua a una presión superior al de trabajo de la caldera de unos (55 Kg/cm ²) aproximadamente, para mantener un nivel deseado en el domo de vapor (50%)	B Bajo caudal o no bombeo de agua	1	Contra presión elevada	Abrir más válvula de descarga. Tiempo de parada 0 y \$ 0
			2	No están desairadas las tuberías	Desairar tuberías. Tiempo de parada 0 y \$ 0
			3	Tubería o rodetes obstruidos	Drenar depósitos. Tiempo de parada 0 y \$ 0
			4	La altura de aspiración muy alta	Corregir nivel y corregir tubería. Tiempo de parada 2 días y \$ 150,000.000
			5	Aspiración de aire en el prensaestopas	Limpiar canal, introducir líquido, aumentar presión de líquido de cierre o renovar junta de eje. Tiempo de parada 2 horas y \$ 3125000
			6	Funcionamiento en dos fases	Renovar fusibles o revisar conexiones de los conductores. Tiempo de parada 2 H y \$ 6.250.000

Fuente: Autor

RCM HOJA DE INFORMACION	SISTEMA Sistema de Bombeo de Agua a la caldera			
	SUBSISTEMA Bomba de agua de Alimentación			
Función Principal	Falla Funcional	Modo de falla		Efecto de falla
1 Bombear agua a una presión superior al de trabajo de la caldera de unos (55 Kg/cm ²) aproximadamente, para mantener un nivel deseado en el domo de vapor (50%).	C Sobrecarga de la maquina	1	Desgaste de piezas	Cambiar piezas desgastadas. Tiempo de parada 4 días y \$ 300,000.000
		2	la brida de los prensa estopas está muy apretada	Soltarla y ajustar al punto. Tiempo de parada 0 y \$ 0
		3	La Bomba está mal montada	Verificar empalmes de tuberías y la fijación de la bomba. Tiempo de parada 5 H y \$ 15,600.000
		4	Baja tención de servicio	Revisar conexión. Tiempo de parada 0 y \$ 0
		5	Funcionamiento en dos fases	Renovar fusibles o revisar conexiones de los conductores. Tiempo de parada 2 H y \$ 6250000

Fuente: Autor

RCM HOJA INFORMACION		SISTEMA		Sistema de Bombeo de Agua a la caldera			
		SUBSISTEMA		Bomba de agua de Alimentación			
Función Principal		Falla Funcional		Modo de falla		Efecto de falla	
1	Bombear agua a una presión superior al de trabajo de la caldera de unos (55 Kg/cm ²) aproximadamente, para mantener un nivel deseado en el domo de vapor (50%).	D	Aumento de temperatura en los cojinetes	1	Mala alineación del grupo motor bomba	Verificar acoplamiento y corregir si es necesario. Tiempo de parada 5 H y \$ 15.625.000	
				2	La Bomba está mal montada	Verificar empalmes de tuberías y la fijación de la bomba. Tiempo de parada 5 H y \$ 15.625.000	
				3	Empuje axial Aumentado	Limpiar los taladros de descarga en el rodete y cambiar anillos intersticiales. Tiempo de parada 4 días y \$ 300.000.000	
				4	Cantidad de lubricante inadecuada (+ o -)	Sacar o completar el Aceite a su nivel adecuado. Tiempo de parada 0 y \$ 100.000	

Fuente: Autor

RCM HOJA INFORMACION		SISTEMA		Sistema de Bombeo de Agua a la caldera		
		SUBSISTEMA		Bomba de agua de Alimentación		
Función Principal		Falla Funcional		Modo de falla		Efecto de falla
1	Bombear agua a una presión superior al de trabajo de la caldera de unos (55 Kg/cm ²) aproximadamente, para mantener un nivel deseado en el domo de vapor (50%).	E	Fugas en la bomba	1	La junta esta defectuosa o desgastada	Cambiar junta. Tiempo de parada 1 día y \$ 75.000.000
				2	los tornillos de Unión se han aflojado	Renovar juntas y apretar tornillos. Tiempo de parada 0 días y \$ 0
		F	Variación en la presión de descarga	1	Tuberías no están desairadas o no están bien llenas con agua	Desairar las tuberías por los drenajes y venteos. Tiempo de parada 0 y \$ 0
				2	Desgaste de las piezas interiores	Renovar piezas desgastadas. Tiempo de parada 4 y 300.000.000

RCM HOJA DE INFORMACION		SISTEMA Sistema de Bombeo de Agua a la caldera				
		SUBSISTEMA Bomba de agua de Alimentación				
Función Principal		Falla Funcional		Modo de falla		Efecto de falla
1	Bombear agua a una presión superior al de trabajo de la caldera de unos (55 Kg/cm ²) aproximadamente, para mantener un nivel deseado en el domo de vapor (50%).	G	Fugas en la Junta del eje	1	Brida del prensaestopa, tapas de cierre y de junta mal apretadas o empaquetadura mala.	Hacer ajustes adecuados o cambiar. Tiempo de parada 0 y \$ 0
2				La bomba funciona irregular mente	Corregir aspiración, alinear, equilibrar de nuevo rodete y Aumentar la presión en la boca de aspiración. Tiempo de parada 2 H y \$ 6.150.000	
3				Grupo mal alineado	Verificar alineamiento y alinear si es necesario. Tiempo de parada 5 horas y \$ 15.625.000	
4				La Bomba está mal montada	Verificar empalmes de tuberías y la fijación de la bomba. Tiempo de parada 5 horas y \$ 15.625.000	

Fuente: Autor

RCM HOJA DE INFORMACION		SISTEMA Sistema de Bombeo de Agua a la caldera				
		SUBSISTEMA Bomba de agua de Alimentación				
Función Principal		Falla Funcional		Modo de falla	Efecto de falla	
1	Bombear agua a una presión superior al de trabajo de la caldera de unos (55 Kg/cm ²) aproximadamente, para mantener un nivel deseado en el domo de vapor (50%).	H	Funcionamiento irregular de la bomba	1	Tuberías no están desairadas o no están bien llenas con agua	Desairar las tuberías por los drenajes y venteos. Tiempo de parada 0 y 0
				2	El NPSH (cabeza de succión positiva neta) demasiado pequeño	Modificar en caso necesario la tubería de entrada, Verificar los tamices instalados, cumplir con la velocidad de disenso de presión admisible. Tiempo de parada 3 horas y \$ 9.375.000
				3	Desgaste de las piezas interiores	Renovar piezas desgastadas. Tiempo de parada 4 días y \$ 300.000.000

Fuente: Autor

RCM HOJA DE INFORMACION		SISTEMA Sistema de Bombeo de Agua a la caldera			
		SUBSISTEMA Bomba de agua de Alimentación			
Función Principal		Falla Funcional	Modo de falla		Efecto de falla
1	Bombear agua a una presión superior al de trabajo de la caldera de unos (55 Kg/cm ²) aproximadamente, para mantener un nivel deseado en el domo de vapor (50%)	I Funcionamiento irregular de la bomba	1	La contrapresión de la bomba es más pequeña que la indicada	Regular la presión de servicio con la válvula de cierre en la tubería de impulsión o torneear eventualmente el rodete. Tiempo de parada 0 y \$ 0
			2	Grupo mal alineado	Verificar alineamiento y alinear si es necesario. Tiempo de parada 5 hora y \$ 15.625.000
			3	La Bomba está mal montada	Verificar empalmes de tuberías y la fijación de la bomba. Tiempo de parada 0 y \$ 0
			4	Cantidad de lubricante inadecuada (+ o -)	Sacar o completar el Aceite a su nivel adecuado. Tiempo de parada 0 y 100.000
			5	Cojinetes defectuosos	Renovar los cojinetes. Tiempo de parada 4 y 300.000.000
			6	Caudal muy bajo	Aumentar el caudal mínimo. Tiempo de parada 0 y \$ 0

Fuente: Autor

RCM HOJA DE INFORMACION	SISTEMA Sistema de Bombeo de Agua a la caldera			
	SUBSISTEMA Bomba de agua de Alimentación			
Función Principal	Falla Funcional	Modo de falla		Efecto de falla
1 Bombear agua a una presión superior al de trabajo de la caldera de unos (55 Kg/cm ²) aproximadamente, para mantener un nivel deseado en el domo de vapor (50%).	J Aumento de temperatura en la bomba	1	Tuberías no están desairadas o no están bien llenas con agua	Desairar las tuberías por los drenajes y venteos. Tiempo de parada 0 y \$ 0
		2	El NPSH (cabeza de succión positiva neta) demasiado pequeño	Modificar en caso necesario la tubería de entrada, Verificar los tamices instalados, cumplir con la velocidad de disenso de presión admisible. Tiempo de parada 3 H y 9.375.000
		3	Caudal muy bajo	Aumentar el caudal mínimo. Tiempo de parada 0 y \$ 0

Fuente: Autor

RCM HOJA DE INFORMACION		SISTEMA Sistema de Bombeo de Agua a la caldera					
		SUBSISTEMA Bomba de agua de Alimentación					
Función Principal		Falla Funcional		Modo de falla		Efecto de falla	
1	Bombear agua a una presión superior al de trabajo de la caldera de unos (55 Kg/cm ²) aproximadamente, para mantener un nivel deseado en el domo de vapor (50%).	K	Variación en la presión de descarga	1	Tuberías no están desairadas o no están bien llenas con agua	Desairar las tuberías por los drenajes y venteos. Tiempo de parada 0 y \$ 0	
2				Desgaste de las piezas interiores	Renovar piezas desgastadas. Tiempo de parada 4 y 300.000.000		
3				Empuje axial Aumentado	Limpiar los taladros de descarga en el rodete y cambiar anillos intersticiales. Tiempo de parada 4 días y 300.000.000		

Fuente: Autor

RCM HOJA DE INFORMACION		SISTEMA Sistema de Bombeo de Agua a la caldera					
		SUBSISTEMA Motor WEG NBR 7094					
Función Principal		Falla Funcional		Modo de falla		Efecto de falla	
2	Hacer girar la bomba de agua de alimentación para que esta alimente caldera	L	El motor no gira	1	Bobinado roto o quemado	Paro de motor y disparo de planta, tiempo de parada 480 H y \$ 1500,000.000	
				2	Terminal del cable eléctrico defectuoso	Caída de tención o trabajo en dos fases, Disparo. Reparar terminal Tiempo 5 H y \$ 15.625.000	
				3	Fallo de alimentación del motor	Caída de tención o trabajo en dos fases, Disparo. Reparar terminal Tiempo 5 H y \$ 15.625.000	
				4	Eje bloqueado por rodamientos dañados	Paro de motor y disparo de planta, tiempo de parada 480 H y \$ 1500,000.000	

Fuente: Autor

RCM HOJA DE INFORMACION		SISTEMA Sistema de Bombeo de Agua a la caldera				
		SUBSISTEMA Motor WEG NBR 7094				
Función Principal		Falla Funcional		Modo de falla	Efecto de falla	
2	Hacer girar la bomba de agua de alimentación para que esta alimente caldera.	M	Altas vibraciones	1	Eje doblado	Paro de motor y disparo de planta, tiempo de parada 168 H y \$ 525,000.000
				2	Rodamiento en mal estado	Paro de motor y disparo de planta, tiempo de parada 6 H y \$ 18,750.000
				3	Desalineación con el elemento que mueve	Altas vibraciones, ruido e incremento de Temperatura, Tiempo de parada 5 H y \$ 15,625.000
				4	Desequilibra en el motor de la bomba	Altas vibraciones, ruido e incremento de Temperatura, Tiempo de parada 5 H y \$ 15,625.000
				5	Acoplamiento dañado	Ruido excesivo y disparo del motor, Tiempo de parada 3 H y \$ 9,375.000

Fuente: Autor

RCM HOJA DE INFORMACION		SISTEMA Sistema de Bombeo de Agua a la caldera				
		SUBSISTEMA Bomba de agua de Alimentación				
Función Principal		Falla Funcional		Modo de falla	Efecto de falla	
2	Hacer girar la bomba de agua de alimentación para que esta alimente caldera.	N	Disparo de la protección térmica	1	Térmico mal calibrado	Paro del motor por protección, Tiempo de parada 2 H y \$ 6,250.000
				2	Bobinado quemado	Paro de motor y disparo de planta, tiempo de parada 168 H y \$ 525,000.000
				3	Desequilibrio entre fases	Paro del motor por protección, Tiempo de parada 2 H y \$ 6,250.000
				4	Rodamientos en mal estado	Alto ruido, vibraciones y disparo de planta, tiempo de parada 6 H y \$ 18,750.000
				5	Alta temperatura del motor	Paro del motor por protección, Tiempo de parada 2 H y \$ 6,250.000

Fuente: Autor

RCM HOJA DE INFORMACION		SISTEMA Sistema de Bombeo de Agua a la caldera				
		SUBSISTEMA Bomba de agua de Alimentación				
Función Principal		Falla Funcional		Modo de falla	Efecto de falla	
2	Hacer girar la bomba de agua de alimentación para que esta alimente caldera.	O	Ruido excesivo	1	Eje doblado	Paro de motor y disparo de planta, tiempo de parada 168 H y \$ 525,000.000
				2	Rodamientos en mal estado	Alto ruido, vibraciones y disparo de planta, tiempo de parada 6 H y \$ 18,750.000
				3	Rozamiento entre rotor y estator	Alta temperatura, ruido, vibraciones y sobre corriente, disparo por térmico. Tiempo de parada 720 H y \$ 2250,000.000
				4	Rozamiento del ventilador	Alta temperatura, ruido, vibraciones y sobre corriente. Disparo por térmico y daño de rodamientos. Tiempo de parada 8 H y \$ 25,000.000

Fuente: Autor

RCM HOJA INFORMACION		II		SISTEMA		Sistema de Bombeo de Agua a la caldera	
		DE		SUBSISTEMA		Bomba de agua de Alimentación	
Función Principal		Falla Funcional		Modo de falla		Efecto de falla	
2	Hacer girar la bomba de agua de alimentación para que esta alimente caldera.	P	Protección de Cortocircuito salta	1	Bobinado quemado	Paro de motor y disparo de planta, tiempo de parada 168 H y \$ 525,000.000	
				2	Terminales defectuosos	Caída de tención o trabajo en dos fases, Disparo térmico. Reparar terminal Tiempo 5 H y \$ 15.625.000	
				3	Elementos de protección en mal estado	Alta temperatura, alta corriente, se puede quemar el bobinado. Tiempo de parada 5 H y \$ 15,625.000	
2	Hacer girar la bomba de agua de alimentación	Q	Alta temperatura de la carcasa	1	Rodamientos en mal estado	Alto ruido, vibraciones y disparo de planta, tiempo de parada 6 H y \$ 18,750.000	

para que esta alimente caldera.			2	Suciedad excesiva en la carcasa	Alta temperatura, Disparo del térmico. Tiempo de parada 2 H y \$6,250.000
			3	Ventilador roto	Alta temperatura, ruido, vibraciones y sobre corriente. Disparo por térmico y daño de rodamientos. Tiempo de parada 8 H y \$ 25,000.000

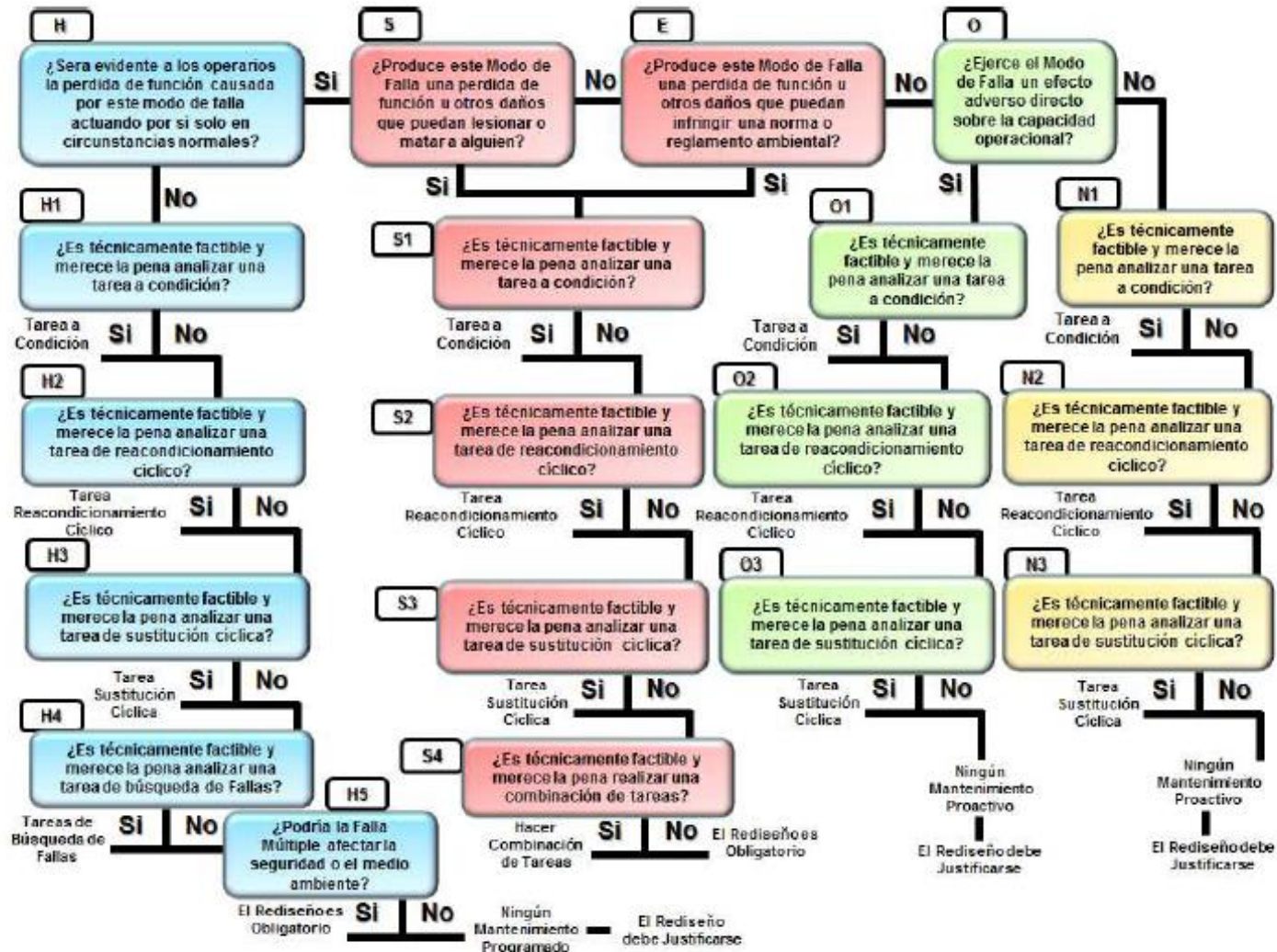
Fuente: Libro RCM, Autor

2.1.6 Análisis de árbol lógico

Para el desarrollo de este árbol lógico se utiliza el diagrama de decisión como lo menciona el libro RCM-II haciendo énfasis en las fuentes que desencadena cada falla con respecto a: la seguridad, el medio ambiente, las interrupciones del servicio y la economía, de tal manera que con un criterio analítico se pueda proponer acciones para predecir o prevenir cada falla.

La figura 7 muestra el diagrama del árbol lógico utilizado para cada modo de falla de forma sistemática, iniciando por la parte superior izquierda, donde comienza planteándose la pregunta y de forma sucesiva se va desarrollando de acuerdo a la respuesta seleccionada y bajando hasta llegar al nivel correspondiente donde nos dará la actividad específica para este tipo de falla.

Figura 7. Diagrama de Decisión RCM-II.



Fuente: Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, John Moubray, 1997 Alsdon

2.1.7 Criticidad: Después de identificar los modos de fallas y sus efectos para el sistema, se procede a realizar el cálculo de la criticidad para cada uno de ellos y así poder evaluar el impacto o consecuencia que tienen dentro del proceso de bombeo de agua hacia la caldera.

El análisis de criticidad es una metodología que permite establecer jerarquías entre: Sistemas, instalaciones, equipos y componentes. De acuerdo con su impacto total en la operación y se obtiene del producto de la frecuencia de fallas por la consecuencia de su ocurrencia, sumándoles sus efectos en la población, daños al personal, impacto ambiental, pérdida de producción y daños en las instalaciones. Además, es una ayuda en la toma de decisiones para administrar esfuerzos en la gestión de mantenimiento, ejecución de proyectos de mejora, rediseños con base en el impacto, en la confiabilidad actual y en los riesgos. Ver figura 8.

Figura 8. Matriz de Criticidad.

	PROBABILIDAD		
	IMPOSIBLE	MODERADO	FRECUENTE
4	MC	C	C
3	MC	MC	C
2	MC	MC	MC
1	NC	MC	MC
	Horas 1	Días 2	< 1 MES 3

Fuente: Autor

Teniendo como base la tabla de criticidad mostrada tenemos como resultado la tabla con el análisis de cada uno de los componentes de la bomba en la tabla 3.

Tabla 3. Resultado del análisis de criticidad según reparaciones.

Nº de Pieza	Denominación de la pieza	N daños
*210	Eje con chavetas con chavetas de ajuste	1
*524.1	Manguito Protector del Eje	4
*524.2	Manguito Protector del Eje	1
*370	Casquillo de cojinete partido LL	3
*370	Casquillo de cojinete partido LC	3
*461	Empaquetadura de Prensa Estopa	4
*601	Disco de Descarga	2
*602	Contra disco de Descarga	2
3310-B-TNH-C3	Rodamientos	6
	Sellos de cobre	2

Fuente: Autor

2.2. ANALISIS DE RESULTADOS

Una vez analizados los mantenimientos que se realizan y en conjunto con el personal de mantenimiento, se determinan las tareas proactivas y frecuencias que se proponen para la intervención y los mantenimientos de la bomba de agua de

alimentación. Estas tareas se distribuyen por cargos u ocupación según corresponda su ejecución, como se muestra en las siguientes tablas.

Tabla 4. Tareas proactivas y frecuencias propuestas. (Operador Campo)

Plan de Mantenimiento Propuesto	
Equipo	Bomba de Agua de Alimentación
Operador de Campo	Autogeneración
Tareas Rutinarias	
Verificar el nivel de aceite de los cojinetes, por la mirilla del mismo, los días que se inicia el turno. Si es necesario reponer.	
Verificar el suministro de agua de refrigeración. Diario	
Verificar si hay fugas de agua en los cojinetes, de ser así hacer el ajuste necesario a los prensaestopas. Diario	
Verificar visualmente la operación de la bomba y motor que no presente ruidos extraños. Diario	
Inspeccionar la presión de entrada en los instrumentos locales (manómetros). Diario	
Inspeccionar la presión de salida en los instrumentos locales (manómetros). Diario	
Verificar la posición de las válvulas de descargue y recirculación. Diario	
Verificar de manera manual las variaciones de temperaturas y vibraciones. Diario	

Fuente: Autor

Tabla 5. Tareas proactivas y frecuencias propuestas (Ing. Mtto)

Plan de Mantenimiento Propuesto	
Equipo	Bomba de Agua de Alimentación
Ingeniero de Mantenimiento	Autogeneración
Tareas Para los Paros programados	
Programar la limpieza del filtro de entrada a la bomba.	
Programación de las piezas a cambiar por horas de servicio como: casquillos, manguitos, discos , rodamiento y sellos	
Alimentar el programa SAP con las intervenciones realizadas	
Programar cambio de aceite según horas de servicio	
Programar la calibración de los instrumentos o cambios de ser necesario	

Fuente: Autor

Tabla 6. Tareas proactivas y frecuencias propuestas (Operador Sala)

Plan de Mantenimiento Propuesto	
Equipo	Bomba de Agua de Alimentación
Operador de sala	Autogeneración
Tareas Rutinarias	
Monitoreo en línea durante la operación, del funcionamiento y temperaturas del motor	

Fuente: Autor

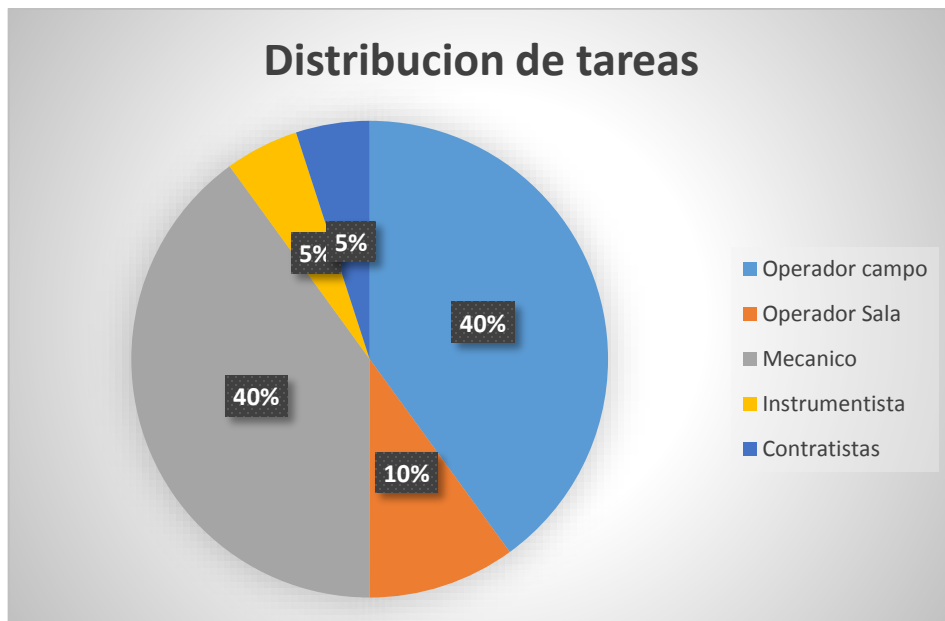
Tabla 7. Tareas proactivas y frecuencias propuestas (Contratista SKF)

Plan de Mantenimiento Propuesto	
Equipo	Bomba de Agua de Alimentación
Técnico Contratista	SKF
Tareas Rutinarias	
Monitoreo de Vibraciones una vez por semana.	

Fuente: Autor

Un aspecto fundamental en la propuesta de los mantenimientos, es que, entre el operador de campo y el mecánico, que en este caso también es operador de sala, corresponde la mayor parte de dicho mantenimiento como se evidencia en la figura 9. Lo que beneficia la ejecución del mantenimiento, ya que estos son el elemento de atención primaria.

Figura 9. Distribución de tareas proactivas.



Fuente: Autor

La tabla 8 muestra las cantidades de los tiempos promedios de falla y costos de reparación de los elementos definidos como los malos actores en la Bomba de agua de Alimentación.

Tal y como se describió en el capítulo 1.3.1 en la descripción del sistema y en el planteamiento del problema, observamos que la bomba es un equipo corazón y que una falla de esta ocasionaría un disparo de la planta por lo que los datos de fallas fueron sacados del cálculo de los diferentes paros no programados y paradas programadas de mantenimiento.

Tabla 8. Datos de malos actores, versus tiempos promedios de fallas y costos de reparación en la bomba de agua de alimentación (promedio anual).

SUBSISTEMA	MODO DE FALLA	ELEMENTO EN FALA	TIEMPO Hrs	COSTO
LUBRICACION	Incremento de temperatura en los cojinetes de lubricación (fugas) (80° C)	ACEITE	60	\$ 6,000,000
REFRIGERACION	Falla en la Cantidad de lubricante (+ o -), Escases de líquido refrigerante o aire en el liquido	TUBERIAS DE REFRIGERACION	5	15,625.000
	Falla en Alineación del grupo motor bomba.	BOMBA-Motor DESALINEADOS	5	15,625.000
VIBRACIONES	Falla en el funcionamiento de la bomba	DESGASTE PIEZAS INTERNAS	72	300,000.000
	Falla en el funcionamiento del motor	RODAMIENTOS, EJE	24	75,000.000

CONTROL	Falla en el sistema de control de la planta.	WINCC	5	16,000.000
ALIMENTACION DE ENERGIA	Falla en la alimentación de energía Eléctrica.	CCM	5	15,625.000

Fuente: Autor

Teniendo en cuenta que, para el desarrollo de este trabajo de monografía, la información recolectada de las fallas presentadas, fue tomada de la experiencia de los operadores-mantenedores durante los 8 años de operación de la planta de Autogeneración Rioclaro y que el cálculo de pérdidas se basó en los paros o disparos que ocurren al presentarse las fallas en este equipo, dejando de generar energía, a la planta de cemento de Rioclaro. Se da el resultado de los tiempos de paro, costos y se plantea los planes de mantenimiento a seguir para la disponibilidad del equipo.

En el anexo A se evidencia el listado de los componentes de la bomba y se resaltan o señalizan los repuestos recomendados por el fabricante para tener como stock. Teniendo en cuenta esta información y cruzándola con la tabla 3 de criticidad, donde tenemos los repuestos que por tiempo o servicio han presentado fallas en la bomba de agua de alimentación y que se han tenido que reemplazar, sumado a la experiencia del personal de mantenimiento mecánico, se propone un listado para el Stock de repuestos en el almacén.(Centr, n.d.)

A lo anterior le sumamos que todos estos repuestos deben ser importados y que, para este proceso, se debe de tener un tiempo promedio de dos o tres meses por parte del personal de compras, en algunos, por sus altos costos y otros por el mismo proceso de importación. Por lo cual es ideal mantener dichos repuestos en planta (almacén) ver tabla 5.

Tabla 9. Propuesta para el Stock de repuestos en almacén.

PROPUESTA PARA EL STOCK DE REPUESTOS EN ALMACEN			
SISTEMA	REPUESTO CRITICO	EXISTENCIA (und)	STOCK A IMPLEMENTAR
BOMBA DE AGUA DE ALIMENTACION	Rodamientos (3310-B-TNH-C3)	0	2 Und.
	Empaquetadura de Prensa Estopa	0	3 mt
	Manguito Protector del Eje (524.1)	0	1 Und
	Manguito Protector del Eje (524.2)	0	1 Und

Fuente: Autor

3. CONCLUSIONES

Después del desarrollo de este trabajo, con la guía de la metodología RCM, el curso de RCM que se recibió en la especialización de Gerencia de Mantenimiento y la colaboración del personal de operación y mantenimiento de la planta de Generación de Rioclaro, se logra obtener más conocimiento tanto del equipo como del sistema de mantenimiento para lograr los objetivos de la compañía, mejorar indicadores, reducir pérdidas asociadas a la mala ejecución del mantenimiento y optimizar los recursos asignados para dicho fin.

Esta metodología nos da una visión más acertada de cómo identificar los modos de falla más frecuentes y críticos, como también el impacto de estos en el proceso, para así lograr establecer las actividades necesarias de mantenimiento y sus frecuencias ideales, que nos permiten predecir o prevenir que ocurran fallas inesperadas en la operación del proceso de generación de energía.

De acuerdo a los objetivos de mantenimiento se propone una serie de tareas y planes como estrategias para cada especialidad (operación, mecánicos, instrumentación y planeación) para ser implementada en las operaciones y paros de la planta de Autogeneración Rioclaro. Estas Actividades como monitoreo de vibraciones, monitoreo de termografías, monitoreo de nivel de aceite y otras, fortalecerán el mantenimiento predictivo, conservan los componentes críticos y eliminan los malos actores, con la posibilidad de hacer un mejor mantenimiento preventivo. Es importante resaltar que estas mejoras se logran con el compromiso del personal involucrado en la operación de la planta de Generación.

BIBLIOGRAFIA

Centr, B. (n.d.). Ksb hda.

Moubray, J. (2004). *fistltri*. (P. E. R. B. O. B. Heinemann, Ed.) (Español).

Para, N. (1999). Norma para vehículos aeroespaciales y de superficie, 1–12.

CONSTRUSUR. LAS Siete Preguntas Basicas Del RCM. . [En línea]. . [Fecha de Consulta: Noviembre de 2017]. Disponible en Internet en <http://www.construsur.com.ar/News-sid-1-file-article-pageid-2.html>

DESHPANDE, V.S., MODAK, JP. Application of RCM to a médium scale industry. Reliability Engineering & System Safety., 2002. 31-43 p.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACION NTC 1486. Presentación De Trabajos Escritos de Investigación. Bogotá D.C., ICONTEC, 2017. 256 p.

RIASCOS, Andrés. Los Estándares y la Gestión del Mantenimiento. [En línea]. . [Fecha de Consulta: Noviembre de 2017]. Disponible en internet en http://www.adsuminternational.com/Los_estandares_y_la_gestion_de_mantenimiento.html

MANUAL DE SERVICIO, A1826.8P. Bomba Centrifuga De Alta Presión De Varios Escalones De Eje Horizontal KSB HDA. 2008. 20 p.

ORTIZ PLATA, Daniel. Mantenimiento Centrado En Confiabilidad, Curso RCM (Guía Práctica), Bogotá. 2017. 120 p. Memorias. Universidad Industrial De Santander. Facultad De Ingenierías Físico Mecánicas. Especialización En Gerencia De Mantenimiento.

SAE JA1012. Evaluation Criteria for Reability – Centered Maintenance (RCM) Processes. Society of Automotive Engineers Inc, 1999.30 p.

What is RCM2 TM / RCMII TM. [En línea]. [Fecha de consulta: Noviembre 2017]. Disponible en internet en <http://www.thealadonnetwork.com>

ANEXOS

ANEXO A. Listado de piezas y repuestos recomendados por el fabricante.

LISTA DE DESPIECE DE LA BOMBA			
Nº de pieza	Denominación de la pieza	Nº de pieza	Denominación de la pieza
106	Caja de aspiración	108.1	Caja escalonada
107	Caja de impulsión	108.2	Caja escalonada con toma
160.3	Tapa	108.3	Caja escalonada con toma
165	tapa del espacio de refrigeración	171.1	Difusor
*210	Eje	171.2	Difusor ultima escalón
*230	Rodete	350.1	Caja de Cojinete
*231	Rodete de Aspiración	361	Tapa de cojinete Final
*400.1	Junta plana	*370	Casquillo de Cojinete Partido
*400.2	Junta plana	*412.1	Anillo de Junta Redonda
*400.3	Junta plana	*412.2	Anillo de Junta Redonda
*400.9	Junta plana	*412.3	Anillo de Junta Redonda
423	Anillo de Laberinto Partido	*412.4	Anillo de Junta Redonda

451	Caja de prensa Estopas		*412.5	Anillo de Junta Redonda
452.1	Brida de prensa estopa Sin Refrigerar		*461	Empaquetadura de Prensa Estopa
452.2	Brida de prensa estopa Refrigerada		502	Anillo
*521	Casquillo Escalonado		*501	Anillo Partido
*524.1	Manguito Protector del Eje		*502.1	Anillo Intersticial
*524.2	Manguito Protector del Eje		*502.2	Anillo Intersticial
*525.1	Casquillo Distanciador Lado Aspiración		503.1	Anillo de Rodadura
*525.2	Casquillo Distanciador Lado Impulsión		503.2	Anillo de Rodadura
525.5	Casquillo Distanciador Manguito Ciego		*504.1	Anillo Distanciador
*541	Casquillo Escalonado		*505.1	Anillo de Apoyo
54-1	Manguito Ciego		507.1	Anillo Contra Salpicaduras
540	Manguito		512	Anillo de Desgaste
550.1	Disco		900.1	Tornillo Avellanado
550.3	Disco		901.6	Tornillo Hexagonal
560.2	Pasador Cónico		902.1	Tornillo Prisionero
562.3	Pasador Cilíndrico		902.2	Tornillo Prisionero
571	Estribo		903.2	Tornillo de Cierre

*601	Disco de Descarga		903.3	Tornillo de Cierre
*602	Contra disco de Descarga		903.6	Tornillo de Cierre
62-4	Termómetro		905	Tornillo d Unión
623.1	Indicador para la Posición del Rodete		913	Tornillo de Desaireacion
624	Gorrón de Control		*914.1	Tornillo Cilíndrico
642.1	Mirilla del Nivel de Aceite		914.2	Tornillo Cilíndrico
644	Anillo de Lubricación		920.1	Tuerca Hexagonal
680	Revestimiento		920.2	Tuerca Hexagonal
932.3	Anillo de Seguridad		920.3	Tuerca Hexagonal
*940.1	Chaveta d Ajuste Para Acoplamiento		920.6	Tuerca Hexagonal
*940.2	Chaveta de Ajuste Para Rodete		1M	Conexión del Manómetro
*940.4	Chaveta de Ajuste Para Rodete, último Escalón		6B	Salida del Líquido de Elevación
*940.5	chaveta d Ajuste Para Disco de Descarga		7A.1	Salida del Líquido De Refrigeración Caja del Prensaestopas
*940.6	Chaveta de Ajuste para manguito Protector Del Eje, Casquillo del Eje		7A.2	Salida del Líquido De Refrigeración Brida del Prensaestopas
*940.7	Chaveta de Ajuste para manguito Protector Del Eje, Casquillo del Eje		7A.3	Salida del Líquido De

8B	Salida del Líquido de Fugas			Refrigeración Caja de Cojinete
13A	Salida de Aceite		7E.1	Entrada del Líquido De Refrigeración Caja del Prensaestopas
13B	Salida de Aceite			
13E	Entrada de Aceite		7E.2	Entrada del Líquido De Refrigeración Brida del Prensaestopas
14A	Salida del Líquido de Descarga			
14E	Entrada del Líquido de Descarga		7E.3	Entrada del Líquido De Refrigeración Caja de Cojinete
	(*) = Repuestos Recomendados			

Fuente: Manual de la bomba, Autor