

	UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA			
	Documento	Código	Fecha	Revisión
	FORMATO HOJA DE RESUMEN PARA TRABAJO DE GRADO	F-AC-DBL-007	08-07-2021	B
	Dependencia	Aprobado		Pág.
DIVISIÓN DE BIBLIOTECA		SUBDIRECTOR ACADEMICO		1(1)

RESUMEN – TRABAJO DE GRADO

AUTORES	Roque Leonardo Sanchez Casallas Pedro Rene Hernández Villalba		
FACULTAD	Ingeniería		
PLAN DE ESTUDIOS	Ingeniería Mecánica, Especialización en Gestión de Mantenimiento Industrial		
DIRECTOR	Msc. Eder Norberto Florez Solano		
TÍTULO DE LA TESIS	Plan de Mantenimiento para el sistema de distribución y almacenamiento de agua potable del Hospital Regional José David Padilla Villafañe E.S.E, utilizando técnicas del modelo de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM)		
TITULO EN INGLES	Maintenance Plan for the drinking water distribution and storage system of the José David Padilla Villafañe E.S.E Regional Hospital, using Reliability Centered Maintenance (RCM) model techniques		
RESUMEN			
<p>El Hospital Regional José David Padilla Villafañe, cuenta con servicios con los más altos estándares de calidad al alcance de todo el Sur del Cesar, Magdalena y Bolívar los cuales son la atención de urgencia, cirugía, hospitalización, ginecobstetricia, consulta externa, entre otros. Los tipos de mantenimiento son importantes para cualquier empresa o institución. La falta de mantenimiento al sistema de distribución, que consta de bombas centrifugas y sistema de succión ha provocado fallos imprevistos que ha dejado al hospital sin fluido de agua. El mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM), es el mantenimiento que aumenta la confiabilidad de los equipos en su funcionamiento. Esta propuesta tiene como propósito la implementación del plan de mantenimiento centrado en confiabilidad, para tal efecto la propuesta busca disminuir las fallas presentadas por la falta de mantenimiento al sistema de distribución y almacenamiento de agua potable de la institución.</p>			
RESUMEN EN INGLES			
<p>The regional José David Padilla Villafañe Hospital has services with highest quality standards available to the entire South of Cesar, Magdalena and Bolívar, including emergency care, surgery, hospitalization, obstetrics and gynecology, outpatient consultation, among others. The types of maintenance are important for any company or institution. The lack of maintenance to the distribution system, which consists of centrifugal pumps and a suction system, has caused unforeseen failures that have left the hospital without water flow. Reliability Centered Maintenance (RCM) is maintenance that increases the reliability of equipment in its operation. The purpose of this proposal is the implementation of the maintenance plan focused on reliability, for this purpose the proposal seeks to reduce the failures presented by the lack of maintenance of the drinking water distribution and storage system institution's</p>			
PALABRAS CLAVES	Tipos de Mantenimiento, Implementación, Confiabilidad de los equipos, Mantenimiento Centrado en Confiabilidad.		
PALABRAS CLAVES EN INGLES	Reliability Centered Maintenance, Equipment Reliability, Implementation, Types of maintenance.		
CARACTERÍSTICAS			
PÁGINAS: 82	PLANOS: 0	ILUSTRACIONES: 35	CD-ROM: 1



Plan de Mantenimiento para el sistema de distribución y almacenamiento de agua potable del
Hospital Regional José David Padilla Villafañe E.S.E, utilizando técnicas del modelo de
Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM)

Roque Leonardo Sanchez Casallas

Pedro Rene Hernández Villalba

Facultad de Ingenierías, Universidad Francisco De Paula Santander Ocaña

Especialización en Gestión de Mantenimiento Industrial

Msc. Eder N. Flórez Solano

28 Febrero 2022

Tabla de Contenido

	Pág.
Introducción	6
Capítulo I	8
Plan de mantenimiento para el sistema de distribución y almacenamiento de agua potable del HOSPITAL REGIONAL JOSE DAVID PADILLA VILLAFañE ESE, utilizando técnicas del modelo de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM).	8
1.1 Planteamiento del problema.	8
1.2 Formulación del problema.	9
1.3 Objetivos.	10
1.3.1 <i>Objetivo General</i>	10
1.3.2 <i>Objetivos Específicos</i>	10
1.4 Justificación.	11
1.5 Delimitaciones.	12
1.5.1 <i>Geográfica</i>	12
1.5.2 <i>Conceptual</i>	12
1.5.3 <i>Operativa</i>	12
1.5.4 <i>Temporal</i>	13
Capitulo II	14
2. Marco Referencia y Marco Teórico	14
2.1 <i>Marco de Referencia</i>	14
2.2 <i>Marco Teórico</i>	16
Capitulo III.....	49
3. Estudio inicial del sistema de distribución y almacenamiento de agua potable del hospital José David Padilla Villafañe ESE.....	49
3.1 <i>Ubicación del sistema de distribución y almacenamiento de agua potable del hospital José David Padilla Villafañe ESE</i>	49
Capitulo IV.....	54
4. Diseño e implementación de plan mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM).	54
4.1 <i>Establecer los estándares de funcionamiento a partir de la caracterización de las funciones y el contexto de operación de los equipos</i>	54
4.1.1 El sistema de distribución y almacenamiento de agua potable del hospital regional.....	54

4.1.2 Proceso de captación, almacenamiento, y distribución de agua potable del Hospital Regional José David Padilla Villafañe.	54
4.2 <i>Determinar la criticidad de las fallas en los componentes de los equipos en base a los modos, efectos y consecuencias de las mismas.</i>	55
4.2.1 Análisis de funciones y modo de fallas.	55
4.2.2 Hoja de decisiones.	56
4.2.3 Plan de mantenimiento centrado en confiabilidad del sistema de distribución y almacenamiento de agua potable del hospital José David Padilla Villafañe.	57
4.3 <i>Definir acciones, recomendaciones, intervalos, frecuencias y demás actividades del plan de mantenimiento para el mejoramiento de los indicadores.</i>	59
4.3.1 Implementación del plan de mantenimiento centrado en confiabilidad.	59
4.3.2 Programación de mantenimiento centrado en confiabilidad.	59
4.3.3 Diseño de órdenes de trabajo.	59
4.3.4 Implementación del plan de mantenimiento.	61
4.3.5 Mejoramiento de los indicadores	70
5. Conclusiones	74
6. Recomendaciones	75
Referencias.....	76
Apéndice	77

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1 <i>Ubicación geográfica del sistema de distribución y almacenamiento de agua potable del Hospital Regional José David Padilla Villafañe</i>	49
Figura 2 <i>Ubicación arquitectónica del sistema de distribución de agua potable de Hospital Regional José David Padilla Villafañe</i>	50
Figura 3 <i>Sistema Contraincendios</i>	50
Figura 4 <i>Sistema de distribución y almacenamiento de agua potable del Hospital Regional José David Padilla Villafañe</i>	52
Figura 5 <i>Sistema de distribución y almacenamiento de agua potable del Hospital Regional José David Padilla Villafañe</i>	53
Figura 6 <i>Distribución de agua potable del Hospital Regional José David padilla Villafañe</i>	55
Figura 7 <i>Hoja de información RCM</i>	56
Figura 8 <i>Hoja de decisión RCM</i>	57
Figura 9 <i>Plan de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad</i>	58
Figura 10 <i>Orden de trabajo</i>	60
Figura 11 <i>Desmante de 2 de las 3 bombas centrifugas</i>	62
Figura 12 <i>Lijado y pintado con pintura anticorrosivo de los rodetes de las bombas centrifugas</i>	62
Figura 13 <i>Cambio de sello mecanico de una de las bombas centrifuga</i>	63
Figura 14 <i>Desarme por partes de las bombas centrifugas</i>	64
Figura 15 <i>Lubricación de rodamiento y partes de las bombas centrifugas</i>	65
Figura 16 <i>Armado de las bombas después de la lubricación y limpieza</i>	65
Figura 17 <i>Montaje final de las bombas en las estructura del sistema de distribución y almacenamiento de agua potable</i>	66
Figura 18 <i>Acople para la tubería de las líneas de succión de las válvulas de pie</i>	67
Figura 19 <i>Limpieza de empaque de la válvula de pie</i>	67
Figura 20 <i>Verificación de retención de agua en la válvula de pie</i>	68
Figura 21 <i>Verificación de filtración de agua por el empaque de la válvula de pie</i>	68
Figura 22 <i>Líneas de succión antes de intervenirlas</i>	69
Figura 23 <i>Línea de succión con universal para el desmontaje de la válvula de pie</i>	69
Figura 24 <i>Datos de tiempo de bomba antes de la implementación</i>	70
Figura 25 <i>Datos de tiempo de las bombas antes de la implementación</i>	70
Figura 26 <i>Indicadores de disponibilidad</i>	71
Figura 27 <i>Indicadores de disponibilidad implementada el plan de mantenimiento</i>	72
Figura 28 <i>Datos de tiempo de las bombas después de la implementación del mantenimiento</i>	73
Figura 29 <i>Grafica de disponibilidad de antes y después de la implementación del mantenimiento</i>	73

Lista de Apéndices

	Pág.
Apéndice 1 <i>Hoja de decisión diligenciada para actividad de mantenimiento</i>	77
Apéndice 2 <i>Hoja de Información de mantenimiento diligenciada</i>	78
Apéndice 3 <i>Orden de trabajo diligenciada bomba centrífuga 1</i>	79
Apéndice 4 <i>Orden de trabajo diligenciada bomba centrífuga 2</i>	80
Apéndice 5 <i>Orden de trabajo diligenciada bomba centrífuga 3</i>	81
Apéndice 6 <i>Orden de trabajo diligenciada línea de succión y válvula de pie</i>	82

Introducción

El Mantenimiento Centrado en Confiabilidad fue desarrollado en un principio por la industria de la aviación comercial de los Estados Unidos, en cooperación con entidades gubernamentales como la NASA y privadas como la Boeing (constructor de aviones). Desde 1974, el Departamento de Defensa de los Estados Unidos, ha usado el MCC, como filosofía de mantenimiento de sus sistemas militares aéreos. El éxito del MCC en el sector de la aviación, ha hecho que otros sectores tales como la generación de energía (plantas nucleares y centrales termoeléctricas), petroleras, químicas, gas, refinación e industria de manufactura, se interesen en implantar esta filosofía de gestión de mantenimiento, adecuándola a sus necesidades de operación, a este tipo de adaptación a la rama industrial (Da Costa Burga, M, 2011, p. 20).

El RCM Tiene como finalidad la detección de fallos tempranamente, la eliminación de causas de fallo antes de que suceda, la identificación de fallos, la reducción de los costos, los tiempos indisponibles del equipo reduciendo los costos de mantenimiento, mejorando la seguridad de los mismos, aumentando la disponibilidad y confiabilidad de los equipos bajo la elaboración de cálculos matemáticos, aplicando las leyes de ocurrencia de fallos que nos permitan dirigirnos a una resolución del problema previniendo, estimando y optimizando los equipos reduciendo los costos operacionales y de mantenimiento (Quezada Banchon, M. A, 2014).

La principal intención fue de implementar un plan de mantenimiento preventivo centrado en la confiabilidad; ya que nace por la necesidad de dar una solución a las continuas fallas y averías por consecuencia de un deficiente plan de mantenimiento que generan costos, tiempo perdido y acorta la vida útil de los equipos que son exigidos a funcionar aun con fallas.

Teniendo esto presente se inició la investigación identificando los puntos críticos y priorizando la causa de las fallas en las máquinas, analizando los costos en relación a su productividad, como siguiente paso se elaboró el plan de procedimientos para el mantenimiento preventivo, enfocado en confiabilidad de todos los equipos críticos, se implementó el plan reduciendo los tiempos de paradas que se vio reflejado en un aumento del 4% en la productividad, finalizando con un análisis de costo-beneficio del plan de mantenimiento implantado, viéndose reflejado en el aumento de la productividad por cada sol invertido (Marchena Sosa, F. A, 2013, p. 13).

Capítulo I

Plan de mantenimiento para el sistema de distribución y almacenamiento de agua potable del HOSPITAL REGIONAL JOSE DAVID PADILLA VILLAFANE ESE, utilizando técnicas del modelo de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM).

1.1 Planteamiento del problema.

El sistema de distribución y almacenamiento del HOSPITAL REGIONAL JOSÉ DAVID PADILLA VILLAFANE, consta de 3 bombas centrifugas que son las encargadas de suministrar el agua a toda la instalación por áreas que componen la infraestructura del hospital entre ellas se encuentran los hidrosanitario, lavandería, autoclaves, área de cirugía, cocina, entre otras. En general es utilizada en todas las áreas. Este sistema de distribución succiona el agua de los tanques de almacenamiento para el bombeo suministrado diariamente a las instalaciones. El almacenamiento de agua se realiza debido al razonamiento que presenta la ciudad de Aguachica con la problemática del agua que no es permanente como en otras ciudades, la cual llega por periodos de 2 a 4 días al mes. Esta problemática de escases de agua en la ciudad ha superado más de 40 días sin llegar el fluido, por esta circunstancia se almacena en los tanques de la institución el agua para la distribución del fluido a las diferentes áreas del hospital, pero esta estrategia de almacenar el agua no es suficiente por el alto consumo y toca comprar el suministro del agua a la empresa de servicios público de la ciudad en bloques de 9 mil litros para mitigar la demanda de agua que necesita la institución, también se utiliza un pozo de agua subterránea que suministra el agua a los tanques de almacenamiento. Suministrar agua de los diferentes pozos con los que se cuenta es una solución que ayuda, sin embargo actualmente no hay un sistema de tratamiento que retenga las micras-partículas de arena, las cuales afectan los sellos de las

válvulas de pies de las líneas de succión. Para la limpieza de los sellos se debe vaciar los tanques de almacenamiento y por la falta de agua se hace muy difícil llevar el mantenimiento completo. Por tal razón el sistema de distribución y almacenamiento de presión se ha visto afectado por no realizar bien esta actividad, en algunos casos las válvulas de pie no sellan por completo ocasionando que entre aire al sistema de succión y la bomba empieza a trabajar en vacío, ocasionando que se sobrecaliente el motor dejando que el sello mecánico se cristalice. Al trabajar en vacío la bomba no genera una subida de presión que necesita el sistema de presostato y contactor para encender y apagar la bomba, por tal razón al no funcionar de la mejor manera el sistema en algunos casos la bomba dura encendida por mucho tiempo hasta que el técnico se percate de la falla. Esta falla genera daños irreversibles para el sistema de distribución y almacenamiento el cual es el encargado de suministrar el fluido para la infraestructura del hospital.

El hospital regional José David Padilla Villafañe cuenta con su sistema distribución y almacenamiento de agua potable, este sistema actualmente presenta falencia al momento de realizar las tareas de mantenimiento por tal motivo se identifica que este sistema no tiene un plan de mantenimiento estructurado y organizado. También por errores de diseño y difícil acceso a las válvulas de pie.

1.2 Formulación del problema.

¿Cómo se mejora el funcionamiento de los equipos con la implementación del plan de mantenimiento centrado en confiabilidad?

1.3 Objetivos.

1.3.1 *Objetivo General.*

Plan de mantenimiento para el sistema de distribución y almacenamiento de agua potable del HOSPITAL REGIONAL JOSE DAVID PADILLA VILLAFANE ESE, utilizando técnicas del modelo de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM).

1.3.2 *Objetivos Específicos.*

- Establecer los estándares de funcionamiento a partir de la caracterización de las funciones y el contexto de operación de los equipos.
- Determinar la criticidad de las fallas en los componentes de los equipos en base a los modos, efectos y consecuencias de las mismas.
- Definir acciones, recomendaciones, intervalos, frecuencias y demás actividades del plan de mantenimiento para el mejoramiento de los indicadores.

1.4 Justificación.

El sistema de distribución y almacenamiento de agua potable del HOSPITAL REGIONAL JOSÉ DAVID PADILLA VILLAFANE ESE, carece de un adecuado plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad que busque solucionar las fallas que se está presentando y se organice tareas proactivas que aumentan la efectividad del sistema, la falta de mantenimiento al sistema de distribución que cuenta con bombas centrifugas y el sistema de succión ha provocado fallos imprevistos que ha dejado al hospital sin fluido de agua por unos minutos incluso horas en la institución y ha logrado retrasos en la entrega de ropa limpia de lavanderías a las áreas como cirugía y demás áreas, hablando de un solo ejemplo de lo que acarrea cuando se presenta esta falla.

Analizando la problemática y los estudios sobre el mantenimiento centrado en la confiabilidad como técnica de implementación nos permite establecer políticas de mantenimiento y tipos de fallas que se puede presentar, y a su vez asegure la confiabilidad operacional del sistema de destrucción y almacenamiento de los equipos en general.

Se debe tener en cuenta que el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad busca como objetivo principal que los activos cumplan con las funciones dadas en el contexto operacional. La razón esencial de escoger esta práctica es que abarca todo el sistema en general, esta práctica es muy utilizada en la industria convencional porque aumenta la confiabilidad operacional y asegura la producción.

Con este proyecto se obtienen una buena planificación de las actividades de mantenimiento donde se demuestre una mayor confiabilidad y disponibilidad, también se optimiza los costos de mantenimientos correctivos y paradas del sistema de distribución de las

bombas centrifugas de la institución. Ya que este sistema es el que suministra el fluido para el funcionamiento de todas las áreas del hospital por tal razón se deben eliminar las paradas imprevistas de los equipos para no retrasar las actividades que depende del sistema, un claro ejemplo es el de lavandería que necesita el agua para lavar las sabanas y ropa para las diferentes áreas del hospital como urgencia y hospitalización. Logrando aumentar funcionabilidad del sistema de distribución (Cárdenas Salinas, R. D, 2017, pp. 1-2).

1.5 Delimitaciones.

1.5.1 Geográfica.

Este proyecto se realizará en la ciudad de Aguachica - Cesar en el HOSPITAL JOSE DAVID PADILLA VILLAFANE. Donde el alumno se desplazará con recursos propios. La supervisión y bajo la vigilancia del director del proyecto Eder Flores Solano MsC. Ingeniería en la Ciudad de Ocaña en la Universidad Francisco de Paula Santander (UFPSO), de la Facultad de Ingeniería.

1.5.2 Conceptual.

El proyecto tiene como alcance conceptual realizar el diseño e implementación del plan a entregar al HOSPITAL JOSE DAVID PADILLA VILLAFANE, se limita al definir que el plan de mantenimiento sea óptimo para la implementación de él y cumpliendo la normatividad es la resolución 3100 del 2019 habilitación, calidad y resolución 4445 de 1996 condiciones de infraestructura exigida en el área de salud.

1.5.3 Operativa.

El estudiante cuenta con la infraestructura necesaria para realizar el diseño de un plan óptimo para el HOSPITAL JOSE DAVID PADILLA VILLAFANE en la disponibilidad y mantenibilidad del sistema con una buena integridad en el sistema con métodos planificados

basados en la confiabilidad. Cuenta con historiales de fallas para caracterización e implementar el plan de la mejor manera, los conocimientos se adquieren en UFPSO.

1.5.4 Temporal.

Este proyecto tendrá duración 4 meses en donde se realiza el diseño y la implementación del mantenimiento centrado en la confiabilidad en el sistema de distribución y almacenamiento de agua potable, la recolección de datos e información para la caracterización del nuevo plan de mantenimiento es iniciada desde el 1 de julio de 2021 hasta el 1 de noviembre del 2021.

Capítulo II

2. Marco Referencia y Marco Teórico

2.1 Marco de Referencia.

El agua potable es un servicio básico indispensable para la supervivencia del ser humano por lo que es requerido en cantidad adecuada y de manera permanente para su confort y bienestar, pensando en esto se diseñó e implementó el Plan de Mantenimiento centrado en la confiabilidad para el sistema de bombeo “El SOCAVÓN” de la EP-EMAPA Ambato cuya finalidad es incrementar la disponibilidad y confiabilidad de los sistemas, equipos y componentes ubicados dentro de las estaciones de bombeo PIA SOCAVÓN, TANQUE SIN PISO Y SOCAVÓN que permiten la impulsión del agua cruda desde las vertientes naturales ubicadas a orillas del río Ambato hacia la estación San Luis donde la misma es tratada por el sistema de cloración y distribuida a la zona norte de la ciudad. Para esto hemos analizado el factor de potencia de los motores que permiten la entrega de energía cinética al agua y se ha recolectado toda la información del contexto operacional de todos los equipos, se ha evaluado su condición de funcionamiento y con esto se ha podido establecer las funciones, fallos funcionales, modos de fallo, efectos que se producen así como también ha permitido evaluar las consecuencias que estos conllevan para poder establecer tareas preventivas que eviten que se tengan paros imprevistos en los equipos y por ende impedir que la ciudadanía tenga corte de servicio. El proyecto permitió plantear una propuesta para la mejora del factor de potencia de los motores eléctricos de la estación PIA SOCAVÓN al ser la que poseía una tendencia de amonestación ante la EEASA y también ayudó a demostrar claramente por qué realizar cada una de las tareas preventivas dentro del plan maestro de mantenimiento permitiendo justificar la

intervención a una frecuencia adecuada para cada una de las actividades (Cárdenas Salinas, R. D, 2017).

Este proyecto tiene como finalidad la implementación del Mantenimiento Basado en la Confiabilidad (RCM) en el sistema de dosificación de cloro de la planta nueva. Su metodología se base en la aplicación de análisis funcionales, identificación de modos fallo y criticidad, así como también la creación de un grupo natural de trabajo conformado por profesionales con amplia experiencia en el campo y alto conocimientos técnicos, a los cuales se le asignara roles y responsabilidades a fin de garantizar el éxito del proyecto, así como tareas de mantenimiento proactivo (Predictivo y preventivo) asignados a los modos de fallo y criticidad ya identificados (Quezada Banchon, M. A, 2014).

El tema de la presente investigación está centrado en hacer una gestión de mantenimiento centrado en la confiabilidad de la estación de bombeo N°1 de la Planta de Tratamiento de Agua Potable N°1 de Chiclayo en la Empresa EPSEL S.A., con el fin de lograr un aumento de la producción en el Servicio de Agua Potable en la ciudad de Chiclayo. El trabajo propio de la investigación consiste en la realizar la gestión de mantenimiento, desarrollando los objetivos planteados. Para ello en primer lugar se procederá a realizar un diagnóstico situacional de las estaciones de bombeo con el fin de determinar cuál sistema requiere un mantenimiento más detallado. Posteriormente se definirán las teorías y normativas que permitan el desarrollo correcto de la aplicación de este mantenimiento; para luego, definir el plan de gestión a aplicar basado en el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad con ayuda de dichas herramientas y normativa, y en última instancia realizar un análisis costo-beneficio de la propuesta que nos permitirá conocer la viabilidad del proyecto (Sarmiento Melendez, L. A, 2017, p. 22).

2.2 Marco Teórico.

MANTENIMIENTO: Es un conjunto de técnicas para la conservación de equipos e instalaciones en el mayor tiempo posible con el fin de aumentar la disponibilidad y mayor rendimiento. Según Moubray (2004) el mantenimiento asegura que los activos físicos continúen haciendo lo que sus usuarios quieren que haga.

La Norma COVENIN 3049 (1993) reconoce al Mantenimiento como el conjunto de acciones que permite conservar o reestablecer un sistema productivo a un estado específico, para que pueda cumplir un servicio determinado.

La Norma UNE-EN 13306 (2010) muestra al mantenimiento como la combinación de todas las acciones técnicas, administrativas y de gestión realizada durante el ciclo de vida de un elemento, destinada a conservarlo o a devolverlo a un estado en el que pueda desempeñar la función requerida.

La GESTIÓN MODERNA DEL MANTENIMIENTO (2010) hace referencia a la norma AFNOR NF X 60 010 y define al mantenimiento como el conjunto de acciones que permiten mantener o restablecer un bien a un estado especificado o en capacidad de asegurar un servicio determinado.

Según la publicación de la editorial PC MANAGEMENT (2008) añaden al concepto de anterior las nociones de acciones a tomar antes del montaje de los bienes (etapa de diseño) y la de la vida útil nominal del equipo, que determina también las acciones a tomar. Analizando los conceptos antes expuestos se dice que el Mantenimiento es el conjunto de acciones técnicas, administrativas y de gestión que se llevan a cabo desde la etapa de diseño, se extiende durante el

ciclo de vida de un activo en busca de conservarlo o devolverlo a un estado específico para que pueda cumplir una función requerida (Cárdenas Salinas, R. D, 2017, p. 4)

Tipos de mantenimiento

La tarea de mantenimiento siempre ha estado sujeta a diferentes formas de realización, que se relacionan directamente con los tipos de mantenimiento a aplicar, estos han ido evolucionando y combinándose con el paso de una generación a otra, no quedando obsoletos pero si mezclándose con otros tipos para dar paso a las formas modernas de gestión del mantenimiento. Los diferentes tipos de mantenimiento se caracterizan en los apartados siguientes:

Mantenimiento correctivo

El mantenimiento correctivo actúa sobre el fallo, pero no siempre lo hace de la misma manera, pues en gran parte depende del nivel de criticidad del equipamiento. Atendiendo a esto se puede clasificar como:

De emergencia: ocurre sobre equipos críticos. La intervención no puede diferirse en el tiempo. Es totalmente indeseable

De urgencia: ocurre sobre equipos críticos o semicríticos. La intervención puede diferirse en el tiempo. No es deseable pero es soportable.

De oportunidad: ocurre sobre equipos no críticos o redundantes. La intervención puede diferirse en el tiempo. Es deseable para el equipo seleccionado.

Observaciones: el nivel de criticidad con el que se explica la aplicación de este tipo de mantenimiento puede diferir en dependen de los criterios de clasificación emitidos por diversos autores (Rodríguez Machado, A, 2012, pp. 15-16).

Mantenimiento preventivo

El mantenimiento preventivo centra su atención la prevención del fallo mediante revisiones, mantenimientos pequeños, medianos y generales, la predicción de eventos mediante mediciones a variables relacionadas con el funcionamiento del equipo. Este mantenimiento se puede clasificar de diferentes maneras en dependencia de características que pueden estar presentes en el equipamiento, dígase:

Rutinario: control periódico de los equipos. Intervención menor, ajustes, limpieza, lubricación. Realizado por el operario.

Sistemático o basado en el tiempo: en función de un contador (horas, km., etc.) o por calendario. Intervención mayor. Realizado por el personal de mantenimiento.

Predictivo o basado en la condición: Mide desarrollo de variables (vibraciones, ruidos, desgastes, etc.). Predice futura intervención, realizado por el personal de

Generalidades del Mantenimiento, ocurre en circunstancia controlada, efectos sobre la producción controlados, limitada disponibilidad de recursos, repuestos disponibles (Rodríguez Machado, A, 2012, pp. 15-16).

Mantenimiento modificativo

Este tipo de mantenimiento favorece la concepción de plantas donde se tenga presente el diseño del equipamiento para evitar obstrucciones a la hora de realizar las tareas de mantenimiento. Se realiza el rediseño de partes y piezas para adaptarlas a las necesidades de la empresa. Además, se realiza el reacondicionamiento del equipo para alargar su vida útil. Dentro de este tipo de mantenimiento se realiza:

Proyecto: adaptación del equipo original a necesidades de la empresa. Realizado por el personal de Ingeniería.

Prevención: rediseño del equipo original o de sus partes para minimizar las fallas. Realizado por el personal de mantenimiento.

Reacondición: para incrementar la vida útil del equipo. Aplicación de nuevas tecnologías. Realizado por el personal de mantenimiento.

Mantenimiento detectivo: El mantenimiento detectivo o de búsqueda de fallas consiste en la prueba de dispositivos de protección bajo condiciones controladas, para asegurarse que estos dispositivos serán capaces de brindar la protección requerida cuando sean necesarios. En el mantenimiento detectivo no se está reparando un elemento que falló (mantenimiento correctivo), no se está cambiando ni reacondicionando un elemento antes de su vida útil (mantenimiento preventivo), ni se están buscando síntomas de que una falla está en el proceso de ocurrir (mantenimiento predictivo). Por lo tanto, el mantenimiento detectivo es un nuevo tipo de mantenimiento. A este mantenimiento también se lo llama búsqueda de fallas o prueba funcional, y al intervalo cada el cual se realiza esta tarea se le llama intervalo de búsqueda de fallas, o FFI, por sus siglas en inglés (Failure-Finding Interval). Por ejemplo, arrojar humo a un detector contra

incendios es una tarea de mantenimiento detectivo. Existe una relación entre este intervalo y la disponibilidad del dispositivo de protección, por lo que pueden utilizarse herramientas matemáticas para calcular esta relación, y fijar el FFI que logre la disponibilidad objetivo (Rodríguez Machado, A, 2012, pp. 15-16).

Técnicas cambiantes de Mantenimiento.

Los nuevos proyectos incluyen:

- Herramientas de toma de decisiones. Como ser los estudios de riesgos, tipos de fallas y análisis de los efectos y sistemas especializados.
- Nuevas técnicas de mantenimiento, como ser monitoreo del estado
- El diseño de equipos poniendo gran énfasis en la confiabilidad y mantenibilidad.
- un cambio mayor e el pensamiento organizacional, a través de la participación, trabajo en equipo y flexibilidad.

Como mencionamos anteriormente el mayor desafío que enfrenta el personal de mantenimiento hoy en día, no es solo interiorizarse en estas técnicas, sino decidir cuáles es útil y vale la pena y cuáles no, para sus respectivas organizaciones. Si tomamos las decisiones correctas, es posible mejorar el funcionamiento de los equipos y al mismo tiempo, mantener y hasta reducir los costos de mantenimiento. Si tomamos las decisiones incorrectas, surgirán nuevos problemas y los ya existentes solo empeorarán.

Los desafíos que enfrenta el mantenimiento. La primera industria en enfrentar estos desafíos sistemáticamente fue la industria de aviación comercial. Un elemento crucial de su respuesta fue el darse cuenta de que se debía poner tanto esfuerzo en asegurar que el personal de mantenimiento esté haciendo el trabajo en forma correcta, como en garantizar que se esta

haciendo el trabajo correcto. Este proceso llevo a su vez al desarrollo del método de toma de dediciones comprensivo, conocido dentro de la aviación como MSG3, y afuera de ésta como Mantenimiento Centrado en la garantía de Funcionamiento o RCM.(Reliability – Centered Maintenance).

En prácticamente cualquier rama del esfuerzo humano organizado, el RCM se esta volviendo tan fundamental para la protección de los bienes materiales, como los libros de doble contabilidad lo son para los bienes financieros. No existe ninguna técnica similar para identificar el menor número de actividades específicas y seguras que se deben realizar para preservar el funcionamiento de los bienes físicos, especialmente en situaciones críticas y riesgosas. El reconocimiento cada vez mayor a nivel mundial del rol fundamental del RCM en la formulación de estrategias de manejo de bienes físicos- y de la importancia de aplicarlo correctamente- llevó a la Sociedad Americana de Ingenieros Automotrices 1999, a publicar SAEStandar JA1011: “Criterios de Evaluación para los procesos de mantenimiento Centrado en la garantía de funcionamiento” (Moubray, J, 2004, pp. 10-15).

El proceso descrito en los capítulos 2 a 10 de este libro cumple con esta regulación. El resto del libro plantea como debe aplicarse el RCM y como deben implementarse sus políticas de solución de problemas, además de proveer un mayor detalle de planteos técnicos clave.

Mantenimiento y RCM: Desde el punto de vista de la ingeniería, existen dos elementos para el manejo de cualquier bien físico. Este debe ser mantenido y cada tanto ser modificado.

Los principales diccionarios definen Mantener, como causa de continuidad (Oxford) o Conservar en el estado actual (Webster). Esto sugiere que mantener significa preservar algo. Por otro lado, concuerdan en que modificar algo significa cambiar en algún aspecto. Esta distinción

entre mantener y modificar tiene profundas implicancias que son discutidas ampliamente en capítulos siguientes. Sin embargo, nos concentramos en mantenimiento.

Cuando nos referimos a mantener algo, qué es lo que pretendemos que continúe?. ¿Cuál es el estado actual existente que queremos preservar? La respuesta a este planteo puede encontrarse en el hecho de que todo bien físico se pone en servicio porque alguien desea que cumpla realice una tarea. En otras palabras, esperan que este cumpla una o más funciones. Entonces sucede que cuando nosotros mantenemos un bien, lo que queremos preservar es un estado en el que este siga cumpliendo con las funciones deseadas por el usuario.

Mantenimiento: Asegurar que los bienes físicos continúen cumpliendo las funciones que sus usuarios esperan. Lo que los usuarios quieren dependerá en exactamente dónde y cómo el bien está siendo usado (el contexto operativo). Esto lleva a la siguiente definición formal de mantenimiento basado en la Garantía de Funcionamiento.

Mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM):

Es un proceso utilizado para determinar qué se debe hacer para asegurar que cualquier activo físico continúe haciendo lo que sus usuarios quieren que haga en su contexto operacional actual.

El RCM busca la respuesta a siete preguntas acerca del activo o sistema las mismas que abarcan lo correspondiente a: funciones, fallas funcionales, modos de falla, efectos de falla, consecuencias, tareas proactivas y frecuencias de ejecución y acciones predeterminadas.

Las siete preguntas básicas El proceso de RCM incita a responder las siguientes siete preguntas sobre el bien o sistema bajo revisión:

- ¿Cuáles son las funciones y respectivos estándares de desempeño de este bien en su contexto operativo presente?
- ¿En qué aspecto no responde al cumplimiento de sus funciones?
- ¿Que ocasiona cada falla funcional?
- ¿Que sucede cuando se produce cada falla en particular?
- ¿De que modo afecta cada falla?
- ¿Que puede hacerse para predecir o prevenir cada falla?
- ¿Que debe hacerse si no se encuentra el plan de acción apropiado?

Funciones y niveles de desempeño: Antes de que sea posible aplicar un proceso, utilizado para determinar qué debe hacerse para asegurar que todo bien físico continúe cumpliendo con su desempeño, del modo en que sus usuarios esperan dentro de su contexto operativo presente, necesitamos hacer dos cosas:

- Determinar cuál es la función que los usuarios quieren que cumpla. Asegurar que el bien es capaz de comenzar con lo que los usuarios esperan.

Es por esto que el primer paso del RCM es definir las funciones de cada bien en su contexto operativo, como así también los estándares de desempeño deseados. Las funciones que los usuarios pretenden que sus bienes desempeñen pueden dividirse en dos categorías:

- Funciones primarias: que sintetizan porque el bien fue adquirido en primer lugar. Esta categoría de funciones cubren temas tales como velocidad, rendimiento, capacidad de transportación o almacenamiento, calidad del producto y servicio al cliente.
- Funciones secundarias, que indican que se espera que todo bien produzca más que simplemente su función primaria. Los usuarios también tienen expectativas en áreas

como ser seguridad, control, contención, confort, integridad estructural, economía, protección, eficiencia de operación, cumplimiento con las normas medioambientales, y hasta la estética o apariencia del bien.

Los usuarios de estos bienes se encuentran en la posición más óptima para saber exactamente como aporta cada bien al bienestar físico y financiero de la organización como un todo., de modo que es esencial que estén involucrados con el proceso de RCM desde un principio.

Si se realiza apropiadamente, este paso generalmente absorbe casi un tercio del tiempo necesario para un análisis de RCM completo. También implica que el personal llevando a cabo este análisis aprenda una cantidad considerable, que puede hasta ser atemorizante sobre cómo los equipos trabajan verdaderamente.

Fallas funcionales. Los objetivos de mantenimiento son determinados por las funciones y respectivas expectativas de desempeño del bien bajo consideración. Pero ¿como se alcanzan estos objetivos?

El único suceso que puede hacer que un bien deje de funcionar al nivel requerido es algún tipo de falla. Esto sugiere que el departamento mantenimiento alcanza sus objetivos, al adoptar un acercamiento acertado al manejo de las fallas. Sin embargo, antes de que podamos aplicar la conjunción de herramientas apropiadas, necesitamos identificar el tipo de fallas que pueden presentarse.

El proceso de RCM realiza esto en dos niveles:

- Primero, identificando qué circunstancias llevaron a un estado fallido

- Luego investigando qué situaciones son las causantes de que un bien caiga en ese estado de falla.

En el mundo de RCM, los estados de falla son conocidos como fallas funcionales, porque ocurren cuando un bien es incapaz de cumplir una función a un nivel de desempeño que sea aceptable por el usuario. En adición a la incapacidad total para funcionar, esta definición abarca fallas parciales, donde el bien todavía funciona, pero a nivel inaceptable de desempeño, (incluyendo también los casos donde no se alcanza el nivel de precisión o calidad). Pero éstas solo pueden ser identificadas una vez que las funciones y desempeño estándares hayan sido definidas con claridad.

Modos de fallas. Como se menciona en los párrafos anteriores, una vez que hemos identificado cada falla funcional, el próximo paso es tratar de identificar todas las posibles causas de este estado de error. Estos eventos se conocen como modos de fallas. Los modos de falla “razonablemente similares” incluyen aquellas fallas que ocurrieron en el mismo equipo o en similares, operando en el mismo contexto, fallas que actualmente están siendo prevenidas por regímenes de mantenimiento ya existentes, y aquellas fallas que no ocurrieron aun, pero que se consideran como posibilidades muy reales en el contexto en cuestión.

Las listas de modos de fallas más tradicionales, incorporan fallas causadas por el deterioro o el uso y desgaste normal. Sin embargo también puede incluir fallas causadas por errores humanos (en parte por operarios y personal de mantenimiento) o por desperfectos de diseño de modo que los posibles causantes de fallas en equipos pueden ser identificados y manejados apropiadamente.

Es también de suma importancia identificar la causa en detalle de modo que no se desperdicien tiempo ni esfuerzo en tratar síntomas en lugar de causas. Por otro lado, Es también de suma importancia asegurar que el tiempo no se desperdicia en el análisis mismo, por concentrarse en demasiados detalles.

Efectos de las fallas. El cuarto paso en el proceso de RCM implica enlistar los efectos de las fallas, que describen lo que sucede cuando se presenta cada modo de falla. Esta descripción debe incluir toda la información necesaria para respaldar la evaluación de las consecuencias de las fallas, como ser,

- Evidencias, (si las hubiera), de que la falla ocurrió
- En que manera, (si las hubiera), representa una amenaza para la seguridad del medioambiente. *
- De que modo, (si los hubiera) afecta la producción u operaciones.
- Que debe hacerse para reparar la falla.

El proceso de identificar funciones, fallas funcionales, modos y efectos de las fallas trae aparejadas oportunidades sorprendentes de mejorar el desempeño y seguridad, y de eliminar lo innecesario.

Consecuencias de las fallas. Un análisis detallado de una empresa industrial promedio, tiende a arrojar entre tres y diez mil posibles modos de fallas. Cada una de estas fallas afectan a la organización en alguna escala, pero en cada caso los efectos son diferentes. Pueden afectar la operatividad. También pueden afectar la calidad del producto, servicio al cliente, seguridad del medioambiente. Todas significaran el gasto de tiempo y dinero para repararlas.

Son esas consecuencias las que ejercen la mayor influencia para que tratemos de prevenir cada falla. En otras palabras, si una falla trae consecuencias serias, tenderemos a hacer todo lo posible para tratar de evitarla. Por otro lado, si esta no afecta o afecta en un grado mínimo, entonces quizás decidamos no hacer un mantenimiento de rutina que vaya más allá de la limpieza y lubricación.

Uno de los puntos fuertes de RCM es que este reconoce que las consecuencias de las fallas son mucho más importantes que sus características técnicas, en realidad reconoce que la única razón de hacer cualquier tipo de mantenimiento proactivo no es para evitar las fallas en si, sino evitar o al menos reducir las consecuencias que estas traen. El proceso de RCM clasifica estas consecuencias en los siguientes cuatro grupos:

Consecuencias de fallas ocultas: Las fallas ocultas no causan un impacto directo, pero exponen a la empresa a fallas múltiples, con consecuencias serias y frecuentemente catastróficas. (La mayoría de estas fallas están asociadas con sistemas de protección no libres de fallas).

Consecuencias medioambientales y de seguridad: Una falla trae consecuencias de seguridad si potencialmente puede dañar o causar la muerte. Tiene consecuencias medioambientales si provoca la violación de cualquier norma medioambiental corporativa, regional, nacional o internacional.

Consecuencias operativas: Una falla trae consecuencias operativas cuando afecta la producción (rendimiento, calidad del producto, servicio al cliente o costos operativos, además del costo directo de reparación.)

Consecuencias no operativas: Las fallas evidentes que conforman esta categoría, no tienen consecuencias ni de seguridad, ni de protección, de modo que solo implican el costo de reparación.

Veremos más adelante como los procesos de RCM usan estas categorías como la base de un marco estratégico para la toma de decisiones de mantenimiento. Forzando una revisión estructurada de las consecuencias de cada tipo de fallas, de acuerdo con las categorías antes descritas, integra los objetivos operativos, medioambientales y de seguridad; que son base de la función de mantenimiento. Esto ayuda a poner la seguridad y el medioambiente en la corriente principal del manejo de mantenimiento.

El proceso de evaluación de consecuencias quita énfasis a la creencia de que todas las fallas son malas y deben ser prevenidas. De este modo enfoca la atención en las actividades de mantenimiento que tienen mayor efecto en el desempeño de la organización, y no desgasta energía en aquellas que tienen un menor o ningún efecto. También nos impulsa a pensar más abiertamente sobre los diferentes modos de manejar las fallas, en lugar de solo concentrarse en la prevención. Las técnicas del manejo de fallas se dividen en dos categorías:

Tareas Proactivas: son los trabajos realizados antes de que la falla ocurra, para prevenir que el equipo llegue a un estado de falla. Esto abarca lo que se conoce tradicionalmente como mantenimiento “predictivo” o “preventivo”. Aunque veremos más adelante que RCM utiliza los términos restauración programada, descarte programado o mantenimiento en condición.

Acciones de omisión: estas se encargan del estado de falla, y son utilizadas cuando no es posible identificar una consigna proactiva efectiva. Las acciones de omisión incluyen búsqueda de la falla, rediseño, y acudir a la falla (Moubray, J, 2004, pp. 10-15).

El RCM divide las tareas proactivas en tres categorías:

- **Tareas de restauración programadas**
- **Tareas de descarte programadas**
- **Tareas en condición programadas.**

Las tareas de restauración abarcan la refabricación de un componente, o la restauración de un montaje antes de que termine su vida útil programada, sin tener en cuenta su condición en ese momento.

Del mismo modo, el descarte programado implica deshacerse de un ítem al, o antes del tiempo programado, sin importar su condición en ese momento. Colectivamente, estas tareas se conocen como mantenimiento preventivo. Solían ser por lejos la forma de mantenimiento proactivo mas utilizada. Sin embargo, por las causas detalladas anteriormente, se las utiliza notablemente menos que 20 años atrás.

Tareas en condición: La necesidad continua de prevenir ciertos tipos de fallas, y la creciente incapacidad de las técnicas clásicas para lograrlo, están muy por detrás del crecimiento de nuevos tipos de manejos de fallas. La mayoría de estas técnicas se basan en que gran parte las fallas, dan algún tipo de aviso de que están por ocurrir. Estos avisos se conocen como fallas potenciales, y se definen como condiciones físicas identificables que indican que una falla funcional, esta por ocurrir o está en proceso de ocurrir.

Las nuevas técnicas se usan para detectar fallas potenciales de manera que se pueda tomar acción para evitar las consecuencias que traerán si degeneran en fallas funcionales. Se las denomina tareas en condición por que los ítems son controlados bajo la condición de que estén

dentro de sus patrones normales de funcionamiento. (El mantenimiento en-condición incluye el mantenimiento preventivo, mantenimiento basado en la condición, y monitoreo de condición.)

Si se los usa apropiadamente, las tareas en condición son una muy buena forma de manejar las fallas, pero también pueden ser un gasto de tiempo muy costoso. RCM permite que se tomen dediciones en esta área con confianza particular.

Acciones de omisión: El RCM reconoce tres categorías principales:

- Descubrimiento de fallas: las tareas de detección de fallas implican controlar las funciones encubiertas periódicamente para determinar si es que hubo fallas (mientras que las tareas en condición implican chequear si algo esta fallando.
- Rediseño: implica realzar cambios en la capacidad interna del sistema. Esto implica modificaciones en el hardware y cubre los cambios de procedimientos.
- Mantenimiento no programado: Como es nombre lo implica, esta omisión implica no realizar ningún esfuerzo en anticipar o prevenir los modos de fallas a los que se aplica, de modo que se permite que las fallas sucedan y luego se reparan. Este default también se conoce como acudir a la falla.

Proceso de selección de tareas de RCM. Una de las grandes fortalezas de RCM es el modo en que ofrece un criterio simple, preciso y fácilmente entendible, para decidir cuál de las tareas proactivas (si las hubiere) es la realizable en cualquier contexto, y de ser así para decidir que tan seguido deben realizarse y quien debe hacerlas.

Si las tareas proactivas son técnicamente viables o no, depende de las características técnicas de la tarea, y de la falla que se supone prevenga. Si es conveniente hacerlo depende de que tan bien se manejen las consecuencias de las fallas. Si una tarea proactiva no cumple con los

requisitos de ser viable y productiva, entonces debe tomarse las acciones de default correspondientes. A continuación se detalla la esencia del proceso de selección de tareas.

- Para fallas ocultas, vale la pena realizar una tarea proactiva si esta va a reducir el riesgo de fallas múltiples asociadas con esa función, a un nivel tolerablemente bajo. Si hay seguridad en elegir la tarea adecuada, entonces se debe llevar un proceso de detección de fallas. Si el proceso adecuado para esto no se puede determinar, la decisión secundaria de omisión es que el ítem, deba ser rediseñado (dependiendo de las consecuencias de fallas múltiples).
- Para fallas con consecuencias medioambientales y de seguridad, solo es válido realizar una tarea proactiva, si esta reduce el riesgo de ese problema en sí mismo, a un nivel muy bajo, de no eliminarlo directamente. Si no se encuentra una solución que disminuya el riesgo a un nivel tolerablemente bajo, el ítem debe ser rediseñado, o se debe cambiar de proceso.
- Si la falla trae consecuencias operativas, solo vale la pena realizar una tarea proactiva si el costo total de realizarla durante un periodo de tiempo determinado, es menor que los costos de las consecuencias operativas y de reparación durante el mismo periodo. En otras palabras, la tarea debe tener un justificativo económico. Si no tiene esta justificación, la decisión de default inicial es mantenimiento no programado (Si esto ocurre, y las consecuencias operativas son aun inaceptables, entonces la segunda decisión de default es nuevamente el rediseño.)

Si una falla tiene consecuencias no operativas, solo vale la pena realizar una tarea proactiva, si el costo de ésta sobre un determinado periodo de tiempo es menor, al costo de reparación durante el mismo periodo. De modo que estas tareas también deben tener un

justificativo económico. Si no lo tuviera, la decisión va a ser nuevamente un mantenimiento no programado, y si los costos de reparación fueran demasiado altos, la decisión de default secundaria es nuevamente el rediseño (Moubray, J, 2004, pp. 16-24).

Esto significa que las tareas proactivas, se especifican únicamente para las fallas que inevitablemente lo requieran, lo que a su vez lleva a una reducción sustancial en la carga laboral de rutina. Menos trabajo de rutina trae aparejado, que el resto de las tareas pueden ser realizadas con mayor precisión. Esto, junto a la eliminación de tareas contraproducentes, lleva a un mantenimiento más efectivo.

Comparen esto con el método tradicional del desarrollo de políticas de mantenimiento. Tradicionalmente, los requerimientos de mantenimiento de cada bien, se evalúan en relación a sus características técnicas reales, sin considerar las consecuencias de las fallas. Los programas resultantes son aplicables para todos los bienes que poseen características similares, nuevamente sin considerar que las consecuencias serán diferentes de acuerdo al contexto operativo. Esto trae aparejado el desperdicio de un gran número de programas, no porque estén equivocados, sino porque no logran sus objetivos.

Se debe tener también en cuenta que el proceso de RCM considera las necesidades de mantenimiento de cada bien, antes de plantear la posible necesidad de un rediseño. Esto sucede simplemente por el hecho de que el Ingeniero de mantenimiento que esta de turno hoy, 19 tiene que procurar el mantenimiento del equipo existente en su estado actual, no como podría o debería encontrarse en el futuro.

Aplicación del proceso de RCM Antes de establecer y analizar los requisitos de mantenimiento de cualquier organización, necesitamos conocer sus bienes, y decidir cuáles de

ellos serán los sometidos al proceso de revisión de RCM. Esto significa que se debe preparar un registro de la planta si es que no hubiere uno. En realidad la gran mayoría de las organizaciones industriales hoy en día poseen registros de plantas, que se adecuan a este propósito.

Planificación Si se aplica correctamente, el RCM brinda mejoras remarcables en la efectividad del mantenimiento, y generalmente lo logra a una velocidad sorprendente. Sin embargo la aplicación exitosa de RCM depende de una preparación y planificación meticulosas. Los elementos claves para este proceso de planificación son:

- Decidir que bienes son lo que obtendrán un mayor beneficio del proceso de RCM, y como exactamente se verán beneficiados. *
- Evaluar los recursos necesarios para aplicar el proceso a los bienes seleccionados.
- En los casos donde los posibles beneficios justifican la inversión, decidir detalladamente quién llevara a cabo el proceso y quién auditara cada análisis, dónde y cómo, y hacer todos los arreglos para que reciban el entrenamiento necesario.
- Asegurar que el contexto operativo del bien, se entienda con claridad.

Grupos de revisión

Vimos anteriormente como el proceso de RCM da forma a 7 preguntas básicas. En la práctica, el personal de mantenimiento, simplemente no puede responder todas esas preguntas por si solos. Esto es porque muchas de las respuestas solo pueden ser provistas por personal de operación o producción. Esto se aplica especialmente a preguntas con respecto a funciones, desempeño deseado, efectos y consecuencias de las fallas.

Por esta razón se debe realizar una revisión de los requisitos de mantenimiento, esto debe ser realizado por grupos pequeños, que incluyan al menos una persona responsable de

mantenimiento y una persona de la función operativa. La categoría de los miembros del grupo es menos importante que el real conocimiento que posean de cómo funciona el equipo. Cada miembro debe además haber sido capacitado en RCM.

- Facilitador
- Supervisor de operaciones
- Supervisor de ingeniería
- Operador
- Responsable de trabajo manual
- Especialista externo(si fuera requerido)

Un grupo Tipo de revisión de RCM.

Facilitadores: Los grupos de revisión de RCM trabajan bajo la guía de especialistas altamente capacitados, conocidos como facilitadores.

Los facilitadores son las personas más importantes en el proceso de RCM, su rol es garantizar que:

- El análisis de RCM se lleva a cabo al nivel correcto, que los límites del sistema están claramente definidos, que los ítems de importancia no son pasados por alto, y que los resultados del análisis son registrados apropiadamente.
- Que todos los miembros del grupo comprenden y aplican correctamente el proceso de RCM.
- El grupo concuerda en general de un modo convincente, mientras se retiene el entusiasmo y compromiso individual de los miembros.

- El análisis progresa con una rapidez razonable, y termina a tiempo.

Los Facilitadores trabajan a menudo con los jefes de proyecto de RCM o con los sponsors, para asegurar que cada análisis es planeado correctamente y goza del manejo y apoyo logístico necesario.

Resultados del análisis de RCM

Si es aplicado del modo sugerido anteriormente, el análisis de RCM aporta tres resultados tangibles:

- Rutinas de mantenimiento a seguir por el sector competente.
- Procedimientos operativos seguros para los operadores del bien.
- Una lista de áreas donde deban realizarse cambios, ya sean de diseño o del modo operativo, para revertir las situaciones en las que no se están logrando los niveles productivos deseados con la configuración actual.

Dos resultados menos tangibles son los conocimientos que los participantes adquieren y el hecho en mejoran sus técnicas de trabajo en equipo.

Auditorías e implementación. Inmediatamente después de haber concluido la revisión de cada bien, los managers senior, con responsabilidad superior en el área deben estar satisfechos de que las decisiones tomadas por el grupo son sensibles y defendibles.

Después de que se aprueba cada revisión, las recomendaciones se implementan incorporando rutinas de mantenimiento en las planificaciones y sistemas de control, cambios en los procedimientos operativos del bien, y proveyendo recomendaciones de modificaciones de diseño a las autoridades del sector correspondiente.

Que logra el RCM.

Los resultados descriptos anteriormente, deberían ser solo considerados como los medios para un fin.

Mayor seguridad e integridad medioambiental: el RCM considera las implicaciones medioambientales y de seguridad de cada falla, antes de considerar sus efectos en las operaciones. Esto significa que se siguen determinados pasos para minimizar los riesgos ambientales, y la seguridad relativa a los equipos, de no lograrse eliminarlos por completo. Al integrar el aspecto seguridad en la corriente de toma de decisiones de mantenimiento, RCM también logra mejorar las actitudes en este punto.

Desempeño operativo optimizado: (rendimientos, calidad y servicio al cliente): RCM reconoce que todo tipo de mantenimiento es valedero, y proporciona reglas para decidir cuál es el más aplicable en cada situación. De este modo, asegura que se escogen los métodos mas apropiados de mantenimiento para cada bien en particular, y que se llevan a cabo las acciones necesarias en los casos en los que el mantenimiento no pueda ser de ayuda. Este esfuerzo de mantenimiento que presenta un enfoque mas centrado conduce a una mejora productiva de los bienes existentes donde se la requiere. RCM fue desarrollado para ayudar a las aerolíneas a diseñar un programa de mantenimiento para nuevas aeronaves antes de que entren en servicio. Como resultado, demostró ser un sistema ideal para desarrollar programas para nuevos bienes, especialmente equipos complejos de los cuales no se posee información histórica. Esto ahorra gran parte del sistema de prueba y error, tan utilizado en los programas de mantenimiento; - la prueba, que implica frustración y consumo de tiempo, y error, que puede ser sumamente costoso.

Mejor relación costo-efectividad: RCM enfoca la atención continuamente en las actividades de mantenimiento que producen en mayor efecto en el desempeño de la planta. De este modo se asegura que lo invertido en mantenimiento, se utilizó de la manera prioritaria. Lo que es mas, si RCM se aplica correctamente a los sistemas de mantenimiento existentes, disminuye la cantidad de trabajo de rutina (en otras palabras, las tareas de mantenimiento se llevaran a cabo en una base cíclica) destinando en cada periodo, generalmente entre el 40% y 22 el 70%. Si RCM es utilizado para desarrollar un nuevo programa de mantenimiento, la carga de trabajo es sumamente menor que si dicho programa se basa en cualquier otro método.

Mayor vida útil en equipos de costos elevados: debido al énfasis centrado el uso de técnicas de manutención en condición.

Un banco de datos comprensible: Todo reporte de RCM termina con un registro completo y totalmente documentado de los requisitos de mantenimiento de todos los bienes significativos utilizados por la organización.

Esto hace posible adaptarse a circunstancias cambiantes (como ser rotaciones o nueva tecnología) sin tener que reconsiderar todas las políticas de mantenimiento desde la base. Esto también permite a los operadores, demostrar que sus programas de mantenimiento están basados en fundamentos racionales (las auditorias son requeridas por cada vez mas entes reguladores). Finalmente la información almacenada en las planillas de RCM reducen los efectos de la rotación de personal, que trae aparejada una pérdida de experiencia. También provee una visión mucho mas clara de las herramientas requeridas para el mantenimiento de cada bien, y para decidir sobre los repuestos que deben conservarse en stock. Un producto derivado de gran valor son también los gráficos y manuales mejorados.

Mejoras en la motivación individual: especialmente de las personas involucradas en las revisiones. Esto lleva un entendimiento mucho más claro del equipo en su contexto operativo, conjuntamente con una mayor propiedad de los problemas de mantenimiento y sus soluciones. También significa que estas soluciones tenderán a una mayor duración.

Mejora en el trabajo en equipo: RCM provee un lenguaje perfectamente entendible para toda persona involucrada con mantenimiento. Esto da a los operadores y personal de mantenimiento un claro entendimiento de que se puede o no realizar para mejorar el desempeño. Todas estas características, forman parte de la corriente principal de la administración de mantenimiento, y muchas son actualmente el objetivo de programas mejorados. Una de las ventajas principales de RCM es que provee una estructura efectiva de seguimiento paso a paso, para abarcar a todas al mismo tiempo, y para hacer partícipes a toda aquella persona que tenga que ver con el equipo durante el proceso.

RCM otorga resultados inmediatamente. En realidad si son enfocados y aplicados correctamente, RCM cubre sus propios gastos en cuestión de unos meses o hasta de unas semanas. La revisión transforma tanto la percepción que la organización tiene de los requisitos de mantenimiento de un determinado equipo, como también la percepción general que se tiene de los programas de mantenimiento. Los resultados son una mejor relación costo- efectividad, mayor armonía, y un mantenimiento mucho más exitoso (Moubray, J, 2004, pp. 16-24).

Funciones

Funciones primarias: Las organizaciones adquieren bienes físicos por una, a veces dos, y raramente más de tres razones principales. Estas “razones” son definidas por enunciados apropiados. Al ser las razones principales por las cuales el bien fue adquirido, se las conoce

como funciones primarias. Son el único motivo por el que el bien existe, por lo tanto se debe tener especial cuidado para definir las con precisión. Las funciones primarias son generalmente fáciles de reconocer. En realidad el nombre de la mayoría de los bienes industriales esta basado en sus funciones primarias. Por ejemplo, la función primaria de una maquina empacadora, es empacar, De una aplanadora, aplanar algo y así sucesivamente. Como se menciona anteriormente, el desafío real yace en definir las expectativas actuales de desempeño asociadas con estas funciones. Para la mayoría de los equipos, estos niveles de desempeño involucran velocidad, volumen y capacidad de almacenamiento. La calidad del producto también debe ser considerada en esta etapa.

Funciones secundarias: Se espera que la mayoría de los bienes sean útiles para una o más funciones adicionales, además de su función primaria. Estas son conocidas como funciones secundarias. Por ejemplo, la función primaria de un automotor puede ser descripta de la siguiente manera:

Para transportar hasta 5 personas a una velocidad de 90 m/h a través de rutas construidas. Si esta fuera la única función del vehiculo, entonces el único objetivo del programa de mantenimiento seria preservar su habilidad para transportar 5 personas a una velocidad de 90 m/h. Pero, esto es solo una parte de la historia, porque la mayoría de los propietarios de autos esperan mucho más de sus vehículos, desde la capacidad para transportar equipaje, hasta que posea un indicador de cuanto combustible tiene en el tanque.

Para ayudarnos a asegurar que ninguna de estas funciones son pasadas por alto, se dividen en las siguientes 7 categorías:

- Integridad medioambiental.

- Integridad estructura/seguridad
- Control/ contención/ confort
- Estética
- Protección
- economía/ eficiencia
- Funciones superfluas.

A pesar de ser generalmente menos obvias que las funciones primarias, la pérdida de funciones secundarias puede también traer serias consecuencias- a veces mas serias que la pérdida de una función primaria. Como resultado, las funciones secundarias necesitan tanto o más mantenimiento que las primarias, de modo que también deben ser claramente identificadas.

Las características principales de estas funciones en mayor detalle.

Integridad medioambiental. Las expectativas medioambientales de la sociedad se han convertido en un punto crítico del contexto operativo de cualquier bien. RCM comienza el proceso de cumplimiento de las normas relacionadas, incorporándolas en los enunciados de funcionamiento.

Seguridad La mayoría de los usuarios quieren estar razonablemente seguros de que sus bienes no les ocasionaran daños o muerte. En la práctica, la mayoría de los riesgos de seguridad emergen en el proceso de RCM como fallas. Sin embargo en algunos casos es necesario redactar en enunciados funcionales las amenazas a la seguridad. Por ejemplo, dos funciones relacionadas a seguridad de una tostadora pueden ser “impedir que los usuarios toquen elementos eléctricamente activos” y “no quemar al usuario” Muchos procesos son incapaces de satisfacer las expectativas de seguridad de los mismos dueños. Esto dio cabida a funciones adicionales con

la forma de dispositivos de protección. Estos representan uno de los mayores desafíos que enfrenta el departamento de mantenimiento en plantas industriales modernas. Es por eso que los analizamos por separado:

Un subgrupo de las funciones relacionadas a Seguridad son las que se tratan la contaminación e higiene del producto. Estas se encuentran con mayor frecuencia en las industrias farmacéuticas y alimenticias. Los niveles de producción son generalmente especificados con precisión y llevan a rigurosas rutinas de mantenimiento. (Limpieza y evaluación/validación).

Integridad estructural Muchos bienes tienen una función estructural secundaria. Esta generalmente implica respaldar algún otro bien, subsistema o componente. Por ejemplo, la función primaria del paredón de un edificio, puede ser proteger personas y equipos de las inclemencias del tiempo, pero también se espera que sostenga el techo, (y balancee el peso de estanterías y cuadros) Las estructuras grandes y complejas, con varios soportes de carga y altos niveles de redundancia necesitan ser analizadas utilizando una versión especial de RCM. Ejemplos típicos de tales estructuras son armazones de aeronaves o casco de un barco o elementos estructurales de plataformas petrolíferas mar adentro. Las estructuras de este tipo no son comunes en la industria en general, de modo que las técnicas analíticas relevantes no están cubiertas en este libro. Sin embargo, los elementos estructurales son de célula simple del mismo modo que cualquier otra función.

Control: En muchos casos los usuarios no solo quieren que los bienes cumplan las funciones a un determinado nivel de desempeño, sino que también quieren tener a posibilidad de regular ese nivel.

Contención: En el caso de bienes utilizados para almacenar cosas, la función primaria sería contener lo que fuera que esta siendo almacenado. Sin embargo, esta debería ser considerada una función secundaria de todos los dispositivos utilizados para transferir material de cualquier tipo especialmente líquidos. Esto abarca cañerías, bombas, cintas transportadoras, sumideros, tanques alimentadores y sistemas neumáticos e hidráulicos.

La función de contención es también importante en ítems como ser en cajas de cambios o engranajes y transformadores.

La mayoría de las personas esperan que sus bienes no les causen ansiedad, pena o dolor. Estas expectativas se alistan bajo el título de “confort”, porque los principales diccionarios lo definen como estar libre de ansiedad, dolor, pena, y así sucesivamente. (Estas también se pueden entrar en la categoría de ergonomía.)

La excesiva carencia de confort afecta la moral, de modo que es rechazada desde el punto de visto humano. Es también un negocio perjudicial ya que las personas que están ansiosas o en dolor, son más propensas a tomar decisiones incorrectas. La ansiedad es causada por sistemas de control ininteligibles, que generen poca confianza o que son explicados remotamente, este afecta tanto en electrodomésticos como en refinerías de petróleo. El dolor es causado por ítems, como ser muebles o ropa, que son incompatibles con las personas que los usan.

El mejor momento para hacerse cargo e este problema, es por supuesto, la etapa de diseño. Sin embargo, el deterioro, o las nuevas expectativas, pueden llevar a que esta categoría de funciones tenga fallas como cualquier otra. El mejor modo de garantizar que esto no suceda es definir las funciones específicamente.

Por ejemplo, una función de un panel de control podría ser, “indicar claramente a un operador daltónico a cinco pies de distancia si es que la bomba A está operando o apagada”. Una silla en una sala de control debería “permitir a los operadores sentarse cómodamente por más de una hora por vez, sin producir somnolencia. “

Estética/ Apariencia La apariencia de muchos de los bienes constituye una función secundaria específica. Por ejemplo la función primaria del trabajo de pintura en la mayoría de los equipos industriales es protegerlos de la corrosión, pero un color brillante puede ser usado para mejorar la visibilidad por razones de seguridad. De la misma manera, la función primaria de un cartel afuera de una fábrica, es mostrar el nombre de la compañía que ocupa ese predio, pero la función secundaria es proyectar una imagen.

Dispositivos de protección A medida que los bienes físicos se vuelven más complejos, el número de posibles fallas es más exponencial. Esto trae aparejado un crecimiento también en la severidad de las fallas y en sus consecuencias. En el intento de eliminar (o al menos reducir) estas consecuencias, se incrementó el uso de dispositivos de protección. Estos trabajan de las cinco siguientes maneras:

Llamando la atención de los operadores en condiciones anormales (luces de advertencia y alarmas sonoras que responden a los efectos de las fallas. Estos son monitoreados por un número de sensores incluyendo interruptores de nivel, células de carga, dispositivos de sobrecarga o exceso de velocidad, sensores de vibración o proximidad, medidores de presión o temperatura, etc.)

- Apagando el equipo en caso de falla, (estos dispositivos también responden a los efectos de las fallas, utilizando el mismo tipo de sensores, y a menudo el mismo circuito que las alarmas, pero con programaciones diferentes.)
- Eliminando o aminorando las condiciones anormales que causa una falla, y que de otro modo podría producir un daño mayor (equipos de matafuegos, válvulas de seguridad, discos de ruptura, discos de estallado, equipo médico de emergencia.)
- Compensando una función que falla (Planta de reserva de cualquier tipo, componentes estructurales redundantes.)
- Previniendo que surjan las situaciones de peligro (guardias).

El propósito de estos dispositivos es proteger al personal, a las maquinarias o al producto, en algunos casos a todos ellos juntos.

Los dispositivos de protección aseguran que la falla de la función bajo protección, será mucho menos seria que si no estuviera protegida. En estos casos los requerimientos de mantenimiento son menos estrictos que si no hubiera dispositivos de protección.

Consideren una fresadora, cuyo cortador rotatorio es dirigido por una correa dentada. Si esta correa se fuera a cortar sin protección alguna, el mecanismo de alimentación provocaría que la cortadora fija dañe la pieza trabajada (o viceversa) y cause serios daños secundarios. Esto puede evitarse de dos maneras.

- Implementando una rutina de mantenimiento proactiva diseñada para prevenir la falla de la correa.
- O proveyendo protección como ser un detector de rompimiento de correa, que apague la maquina apenas la correa se corte. En este caso la única consecuencia de una correa rota,

es una interrupción breve mientras se la reemplaza, de modo que la política de mantenimiento de mejor relación costo/efectividad podría simplemente ser dejar que la correa falle. Pero será solo válido si el detector de rompimiento de correa está trabajando, y se deben seguir los pasos correspondientes para asegurar que así sea.

El mantenimiento de los dispositivos de protección – especialmente de los que no están excepto de fallas, sin embargo este ejemplo demuestra dos puntos fundamentales.

- Que los dispositivos de protección necesitan en general de una mayor rutina de mantenimiento que el equipo que estos protegen.
- Que no podemos desarrollar un programa de mantenimiento sensible para una función protegida, sin considerar los requisitos de mantenimiento del dispositivo de protección.

Solo podemos considerar los requisitos de mantenimiento de los dispositivos de protección, si primero entendemos su función. De modo que al enunciar las funciones de cualquier bien, debemos alistar las funciones de todos los dispositivos de protección.

Un último punto sobre estos dispositivos implica el modo en el que se debe describir sus funciones. Estos reaccionan a excepciones (en otras palabras, cuando algo no está bien) de modo que es importante describirlos correctamente. En particular, los enunciados de las funciones de protección deberían incluir las palabras “si es que” o “en el caso de”, seguidas por un resumen de las circunstancias o eventos que activarían la protección.

Economía/ eficiencia Cualquier persona que utilice bienes de algún tipo posee recursos financieros limitados. Esto los lleva a medir lo que están dispuestos a gastar en operar y mantener esos bienes. Cuanto están preparados para gastar depende de la combinación de tres factores:

- Monto real de sus recursos financieros,
- Que tanto necesitan o quieren lo que ese bien otorga,
- La disponibilidad y costos de otros modos competitivos de alcanzar el mismo fin.

A nivel del contexto operativo, las expectativas de funcionamiento en lo que respecta a costos se clasifican generalmente como presupuestos de gastos.

A nivel del bien, todo lo relacionado a la economía puede ser mencionado directamente en enunciados que describan lo que los usuarios esperan en áreas como ser economía de combustibles o pérdidas en materiales de proceso (Moubray, J, 2004, p.38,42).

La mayoría de los ingenieros se inclinan a esta profesión porque sienten cierta afinidad con sistemas, ya sean mecánicos, eléctricos o estructurales. Esta afinidad los lleva a sentir placer cuando los bienes están en buen estado, y a sentirse ofendidos en el caso de que se encuentren en situaciones desfavorables.

Estos reflejos siempre estuvieron en el corazón del mantenimiento preventivo. Dieron nacimiento a conceptos como el de “cuidado de equipos”, que como el nombre implica, busca el cuidado de los bienes por sí mismos. También llevaron a algunas estrategias de mantenimiento a creer que solo se trata de preservar la confiabilidad o capacidad inherente de todo bien.

En realidad, esto no es así. A medida que tenemos un entendimiento más profundo del rol de los bienes en las empresas, empezamos a apreciar el hecho de que todo bien es puesto en funcionamiento porque hay alguien que requiere que este cumpla una función. De esto surge que cuando mantenemos un bien, este debe conservar un estado tal que siga cumpliendo sus funciones del modo en que lo requiere el usuario. Más adelante en este capítulo, veremos que este estado- que los usuarios desean- difiere totalmente de la capacidad inherente del bien.

Este énfasis, puesto más en lo que el bien hace que en lo que el bien es, provee un modo totalmente nuevo de definir los objetivos de mantenimiento de cualquier bien; uno que se enfoca en lo que el usuario quiere. Este es el punto más destacable de RCM, y es por qué muchas personas se refieren a RCM como “TQM aplicado a bienes físicos.”

Para definir los objetivos de mantenimiento en términos de requerimientos del usuario, debemos tener un entendimiento sumamente claro de las funciones de cada bien, junto con los estándares de desempeño.

Es por eso que el proceso de RCM comienza preguntando: *

- ¿Cuáles son las funciones y los estándares de desempeño del bien en su contexto operativo actual?: Describe como se deben definir las funciones, explora los dos tipos principales de normas desempeño, revisa diversas categorías de funciones y muestra cómo deben alistarse.

Descripción de funciones.

Está claramente establecido en los principios de ingeniería, que la descripción de una función debe consistir de un verbo y un objeto. Es también muy útil, comenzar esa descripción con la palabra “para” (“para bombear agua” “para transportar personas”, etc.). Los usuarios, no solo esperan que el bien cumpla una función. También esperan que lo haga a un nivel de desempeño aceptable. De modo que la definición de una función, y por lo tanto, la definición de los objetivos de mantenimiento de un bien, no es completa, a menos que especifique con la mayor precisión posible, el nivel de desempeño deseado por el usuario (diferenciándolo de la capacidad inherente del bien).

Criterios de Desempeño

El objetivo de mantenimiento es que los bienes continúen cumpliendo sus funciones del modo en que lo requieren sus usuarios. El grado en que cualquier usuario pretende que un bien funcione, puede ser definido por un criterio mínimo de desempeño. Si pudiéramos fabricar un bien que lograra ese mínimo nivel de desempeño sin deteriorarse para nada, ese sería el fin del problema. El equipo podría trabajar continuamente sin necesidad de mantenimiento.

Sin embargo en el mundo real, las cosas no son tan simples.

Las leyes físicas nos dicen que cualquier sistema organizado, que se expone al mundo real, sufrirá deterioro. El resultado final de este deterioro es una desorganización total (también conocida como caos o entropía), a menos que se tomen los recaudos necesarios para detener la causa del deterioro del sistema (Moubray, J, 2004, pp. 16-24).

Capítulo III

3. Estudio inicial del sistema de distribución y almacenamiento de agua potable del hospital José David Padilla Villafañe ESE.

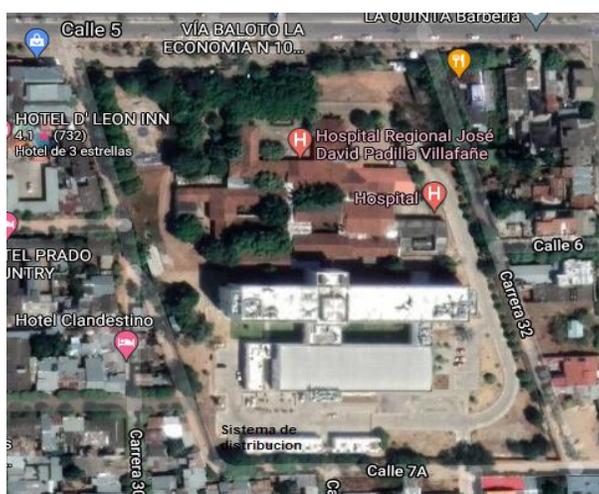
3.1 Ubicación del sistema de distribución y almacenamiento de agua potable del hospital José David Padilla Villafañe ESE.

El sistema de distribución y almacenamiento de agua potable del Hospital José David Padilla Villafañe está ubicado en lado adyacente del perímetro del hospital Regional del municipio de Aguachica, se encuentra las diferentes áreas como cuarto de manifolds, sistema de vacío medicinal, sistema de aire medicinal y el área de mantenimiento de la institución.

En figuras 1 se observa la ubicación del sistema de bombas en el GPS del Google Maps y en la figura 2 se visualiza el área del sistema de bomba en los planos arquitectónico de la institución.

Figura 1

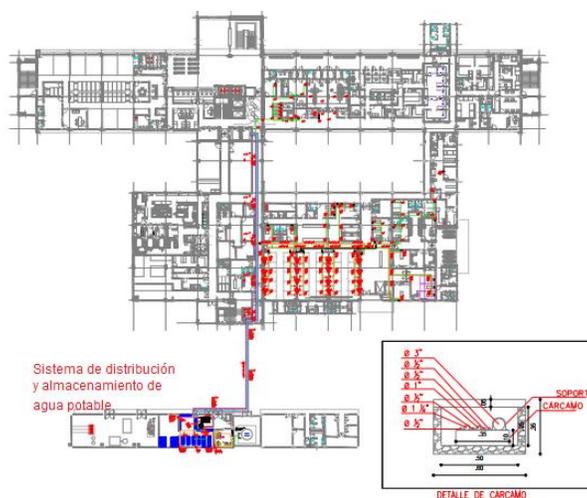
Ubicación geográfica del sistema de distribución y almacenamiento de agua potable del Hospital Regional José David Padilla Villafañe



Fuente 1: Google Maps

Figura 2

Ubicación arquitectónica del sistema de distribución de agua potable de Hospital Regional José David Padilla Villaña



Fuente 2: Planos de la institución

En el área del sistema de bombas también se encuentra el equipo contraincendios de la institución y el sistema de distribución y almacenamiento de agua potable del hospital regional está distribuido por.

En la figura 3 podemos observar el equipo contraincendios el cual fue ubicado en esta área para la disposición del tanque de almacenamiento de agua para su uso.

Figura 3*Sistema Contraincendios*

Fuente 3. Autor

Componente del sistema de distribución.

SISTEMA DE CAPTACION

Pozos

Tubería de succión

➤ **ELEMENTOS DE SUCCION**

Válvula de pie

Válvula tipo compuerta

Bomba centrifugas

Soporte en concreto

➤ **SISTEMA ELECTRICO DE CONTROL**

Conductores

Breaker

Contactor

Fusibles

Logo

➤ SISTEMA DE RESPALDO DE PRESION

Hidroflos

Presostato

En las figuras 4 y 5 se observa todo el sistema en general del equipo de distribución y almacenamiento de agua potable de la institución, el cual muestra las líneas de succión, Asesoríos y demás partes que tiene el sistema de bombas.

Figura 4

Sistema de distribución y almacenamiento de agua potable del Hospital Regional José David Padilla Villafañe



Fuente 3. Autor

Figura 5

Sistema de distribución y almacenamiento de agua potable del Hospital Regional José David Padilla Villafañe



Fuente 4. Autor

Capítulo IV

4. Diseño e implementación de plan mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM).

4.1 Establecer los estándares de funcionamiento a partir de la caracterización de las funciones y el contexto de operación de los equipos.

4.1.1 El sistema de distribución y almacenamiento de agua potable del hospital regional.

EL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN Y ALMACENAMIENTO DE AGUA POTABLE es la encargada de suministrar agua a todos los servicios para la disposición del fluido a los usuarios y personal de la institución cuando requiera del servicio, por lo cual se debe mantener la disponibilidad de los equipos al 100% confiable y dispuesto a encender las 24 horas del día y los 7 días de la semana.

4.1.2 Proceso de captación, almacenamiento, y distribución de agua potable del Hospital Regional José David Padilla Villafañe.

El agua potable es recibida de las redes de distribución de la empresa del acueducto del municipio, las tuberías están acopladas en los dos tanques que tiene el sistema de distribución y almacenamiento de agua potable del hospital regional. Pero no solo esa es la forma de conseguir el agua almacenamiento y distribución, también se cuenta con unos pozos subterráneos los cuales por medio de una bomba nos envían el fluido por tubería a los tanques y también se le compra al acueducto unos carros tanques de agua porque el consumo es elevado en la institución.

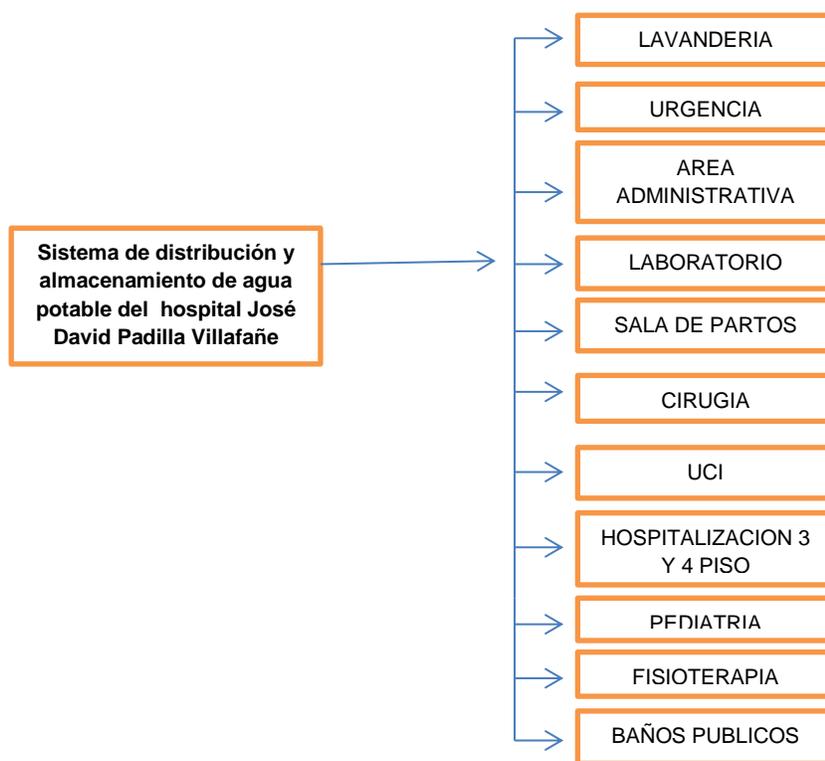
La distribución se hace de la siguiente manera el sistema de bombeo cuenta con 3 líneas de succión las cuales están conectadas a los dos tanques, las 3 bombas centrifugas se accionan por medio de presostato de presión que mandan la señal de encendido y apagado cuando la presión en la tubería aumenta y disminuye. La succión capta el agua almacena y es enviada por

medio de las tuberías que están distribuidas por toda la red hidrosanitaria del hospital la cual está distribuida por sus diferentes áreas.

En la figura 6 se observa el diagrama de flujo de las diferentes áreas conectadas al sistema de distribución y almacenamiento de agua potable de la institución.

Figura 6

Distribución de agua potable del Hospital Regional José David Padilla Villafañe



Fuente 5. Autor

4.2 Determinar la criticidad de las fallas en los componentes de los equipos en base a los modos, efectos y consecuencias de las mismas.

4.2.1 Análisis de funciones y modo de fallas.

Para el análisis de funciones, modo de fallas y sus consecuencias se diseñó una hoja de información de RCM, donde se especifica la función de cada sistema y por medio de esta

información se determinan las fallas funcionales con lo cual se busca los modos de fallas en los diferentes componentes que conforman el sistema, una vez analizado e identificado el modo de falla se determina la consecuencia que genera este efecto.

En figura 7 se muestra la hoja de información RCM en donde se especifica toda la información requerida de las funciones y modos de falla del sistema de distribución y almacenamiento, en el cual se estipula los daños que generan las fallas.

Figura 7

Hoja de información RCM

FUNCION		FALLA FUNCIONAL		MODO DE FALLA		CONSECUENCIA DEL MODO DE FALLA
1	Succión de agua en el tanque de almacenamiento	A	Encendido de la bomba pero no succiona el agua del tanque	1	Trabajo en vacío	El sistema de distribución se puede notar que el presostato envía la señal de encendido de la bomba pero no suministra agua por la tubería, esto se debe que la bomba capto aire y trabajo en vacío.
				2	Tubería de succión obstruida	
				3	Tubería desnivelada	
2	Abrir compuerta de la válvula para absorber agua del tanque	B	No retiene el agua en la línea de succión	1	Empaque de válvula con impureza	La línea de succión no se mantiene cargada para el nuevo encendido de la bomba, el motivo se presenta por que el empaque tiene impureza por falta de mantenimiento y no deja que la compuerta selle bien la válvula y se devuelve el agua otra vez al tanque
				2	Falta de limpieza	
				3	Falta de estanqueidad	
3	Bomba centrífuga de succión de agua	C	fugas de agua y encendido del motor forzado	1	Sello mecánico desgastado	Se presenta fuga de agua en cabezal de la bomba por el desgaste del sello y bomba enciende de manera forzada ya que los rodamiento tienen falta de lubricación momento de su funcionamiento
				2	Falta de lubricación en rodamiento	

Fuente 6. Autor

4.2.2 Hoja de decisiones.

Ya teniendo la hoja de información con todos los datos se inicia a llenar la hoja de decisiones. En la figura 8 se observa los ítems que se debe tener en cuenta para la evaluación de las consecuencias de las fallas y se organiza actividades de mantenimiento para dar solución.

Para realizar las tareas de mantenimiento y los tiempos para ejecutar las tareas se tomó de referencia la información suministrada por el técnico y la toma de datos que se adquirió en el área.

Figura 8

Hoja de decisión RCM

Hospital Regional José David Padilla Villafañe Empresa Social del Estado													HOJA DE DECISIÓN RCM											
Fecha:													Supervisor:											
Ubicación:													Servicio:											
SISTEMA DE DISTRIBUCION Y CAPTACION																								
Referencia de información			Evaluación de las consecuencias				H2			H3			H4			Acción a la falta de			Tareas Propuestas				Intervalo Inicial	A realizar por
							S2	S3	S4	O2	O3	O4	N2	N3	N4									
F	FF	FM	H1	S1	E1	O1							H5	H5	S5									
																	Realizar inspección para verificar fugas y observar filtraciones de aire al sistema				Mensual	Técnico		
																	Realizar limpieza de la línea de succión tanto vertical como horizontal desde la salida de la bomba hasta la final donde está la válvula				Mensual	Técnico		
																	Realizar inspección de la estructura donde se reposa la tubería para verificar y evitar que el desnivel se esté aumentando				Semanal	Técnico		
																	Realizar inspección de los empaques del sello de la válvula				Mensual	Técnico		
																	Realizar limpieza y cambio si es necesario de los empaques de la válvula de pie				Mensual	Técnico		
																	verificación de estanqueidad				Trimestral	Técnico		
																	Realizar inspección y cambio si es necesario del sello mecánico				Anual	Técnico mecánico		
																	Realizar limpieza, lubricación y cambio si es necesario del rodamiento				Anual	Técnico mecánico		

Fuente 7. Autor

4.2.3 Plan de mantenimiento centrado en confiabilidad del sistema de distribución y almacenamiento de agua potable del hospital José David Padilla Villafañe.

Por lo último se diseña un plan de mantenimiento en donde se identifica los partes de cada circuito que componen el sistema de distribución y analizando el óptimo funcionamiento de las actividades de mantenimiento.

En la figura 9 podemos observar las actividades diseñadas para cada equipo, accesorio y pieza que conforman el sistema de distribución y almacenamiento de agua potable del hospital Regional José David Padilla Villafañe.

Figura 9

Plan de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad

 Hospital Regional José David Padilla Villafañe Empresa Social del Estado		PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO CENTRADO EN CONFIABILIDAD PARA EL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN Y ALMACENAMIENTO DE AGUA POTABLE DEL HOSPITAL REGIONAL JOSE DAVID PADILLA VILLAFAÑE		
	PARTES	ACTIVIDAD A REALIZAR	FRECUENCIA	ELABORADO
1	Bombas centrífugas 1	-Limpieza y lubricación de las partes externas de la bomba	Mensual	Técnico
		- Realizar inspección y cambio si es necesario del sello mecánico	Anual	Técnico Mecánico
		- Realizar limpieza, lubricación y cambio si es necesario del rodamiento	Anual	Técnico
2	Bombas centrífugas 2	-Limpieza y lubricación de las partes de la bomba	Mensual	Técnico
		- Realizar inspección y cambio si es necesario del sello mecánico	Anual	Técnico Mecánico
		- Realizar limpieza, lubricación y cambio si es necesario del rodamiento	Anual	Técnico Mecánico
3	Bombas centrífugas 3	-Limpieza y lubricación de las partes de la bomba	Mensual	Técnico
		- Realizar inspección y cambio si es necesario del sello mecánico	Anual	Técnico Mecánico
		- Realizar limpieza, lubricación y cambio si es necesario del rodamiento	Anual	Técnico Mecánico
4	Tubería de succión	-Verificar y ajustar tornillería		
		- Realizar inspección para verificar fugas y observar filtraciones de aire al sistema		
		- Realizar limpieza de la línea de succión tanto vertical como horizontal desde la salida de la bomba hasta la punta donde está la válvula	Mensual	Técnico
		-Verificar válvulas del sistema		
5	Válvulas	- Realizar inspección de los empaques del sello de la válvula de pie		
		- Realizar limpieza y cambio si es necesario de los empaques de la válvula de pie		
		-Verificación de estanqueidad	Mensual	Técnico
		-Inspección del cerrado de las válvulas tipo compuerta del sistema		
6	Asesoríos eléctricos	-Inspección de los contactores		
		-Inspección de breques	Semestral	Técnico eléctrico
		-Inspección de presostato		
		-Inspección de luces de encendido y emergencia		
7	Circuito de control y de potencia	-Medición de voltaje de entrada y salida por el circuito de control		
		-Medición de corriente que circulan por el circuito de potencia		
		-Medición eléctrica entregado a las bombas	Semestral	Técnico eléctrico
		-Inspección de las bobinas de los contactores		

Fuente 8. Autor

4.3 Definir acciones, recomendaciones, intervalos, frecuencias y demás actividades del plan de mantenimiento para el mejoramiento de los indicadores.

4.3.1 Implementación del plan de mantenimiento centrado en confiabilidad.

Para la implementación del plan de mantenimiento del sistema de distribución y almacenamiento se debe diseñar un cronograma o su vez una programación de actividades de mantenimiento para ejecución de las tareas, para poder llevar un control de las actividades que van a ejecutar los colaboradores en necesario diseñar un formato de orden de trabajo, con el fin de mantener un registro de los mantenimientos programados.

4.3.2 Programación de mantenimiento centrado en confiabilidad.

La programación de mantenimiento se realiza sobre las condiciones en las cuales se puede intervenir los equipos, ya que su función es de tema fundamental para la institución. Con la ayuda del coordinador de mantenimiento se organiza las actividades mensuales para unos accesorios y semestrales para otros como se observa en el plan de mantenimiento, es decir para organizar el personal y los recursos necesarios para intervenir si se presenta correctivos en tareas a realizar.

4.3.3 Diseño de órdenes de trabajo.

Las ordenes de trabajo se diseñado para organizar las actividades que deben ejecutar los colaboradores de mantenimiento y se organice un control de material, repuesto y mano de obra. Por tal motivo se diseñó un formato en work de las tareas de mantenimiento.

La orden de trabajo está distribuida de la siguiente manera.

En la figura 10 se muestra la fecha de ejecución, la persona quien realizo la actividad, el logo de la empresa, equipo, ubicación, tipo de mantenimiento, numero de orden, observaciones, cierre de la actividad, entre otras.

Figura 10

Orden de trabajo

		Hospital Regional José David Padilla Villafañe Empresa Social del Estado			
		HOSPITAL REGIONAL JOSE DAVID PADILLA VILLAFañE ESE			
		ORDEN DE TRABAJO			
Equipo:		Orden N°:			
Ubicación:		Prioridad:	Urgencia:	Rutina:	
Fecha inicio:		Fecha de terminación:			
Requerido por:		Aprobado por:			
Objetivo del trabajo					
Material y herramienta					
N°:	Descripción de la actividad	Tipo de mantenimiento	Realizado por		
Observación:					

Fuente 9. Autor

El equipo: El nombre del equipo que se va a intervenir y la marca del dispositivo.

Numero de Orden: Esto se realiza para llevar un control de las actividades que se están ejecutando y se mas fácil la búsqueda de este formato por el número de orden.

Ubicación: Lugar donde está la maquina con el fin de orientar al personal donde va a realizar la actividad. **Prioridad:** El valor con el cual se debe realizar la tarea, ya sea rutinaria o de emergencia por una posible falla que se esté presentando.

Fecha de inicio y final: Inicio de la actividad y fecha de terminación de la tarea. Ya sea por horas o por días. **Requerido por:** Persona quien ordena realizar la ejecución de la actividad.

Aprobado por: La persona encargada del área donde está ubicado el equipo. **Objetivo del trabajo:** El propósito por el cual se debe realizar la actividad.

Material y herramienta: Las piezas que se van a remplazar y las herramienta que se utiliza para ejecutar las funciones. **Descripción de las actividades:** Lo que se va a realizar ya sea limpieza o cambio de pieza del dispositivo.

Tipo de mantenimiento: Que mantenimiento se va a ejecutar ya sea preventivo o correctivo. **Realizado por:** El personal o la persona que va realizar la actividad

4.3.4 Implementación del plan de mantenimiento.

Se desarrollaron las taras programadas de mantenimiento en el sistema de distribución y almacenamiento de agua potable del hospital regional para aumentar la confiabilidad de los equipos que se quiere con la implementación del RCM.

En la inspección que se realizó a las bombas se determinó que el rodete de las bombas se encontraba corrosivo por el contacto permanente con el fluido, también se intervino el sello mecanico de una de las bombas por el desgaste que ha tenido por fallas ocasionadas por la tubería de succión y se realizó lubricación, limpieza en general. Dentro de la funciones se ejecutaron tareas correctivas a los equipos.

En la figura 11 se observa el desmote de 2 de las 3 bombas centrifugas para el desarrollo del mantenimiento. En la figura se evidencia que se deja una bomba en funcionamiento para no suspender el servicio del agua para la institución.

Figura 11

Desmote de 2 de las 3 bombas centrifugas



Fuente 10. Autor

En la figura 12 se observa el pintado de cada rodete de las bombas con pinturas anticorrosivo para evitar el deterioro por el contacto que tiene esta pieza con el agua.

Figura 12

Lijado y pintado con pintura anticorrosivo de los rodetes de las bombas centrifugas



Fuente 11. Autor

En la figura 13 se puede observar el cambio de sello mecánico de la bomba #2 que estaba presentando filtración de agua al momento de su funcionamiento.

Figura 13

Cambio de sello mecánico de una de las bombas centrifuga



Fuente 12. Autor

En la figura 14 se observa el desarme del motor de la bomba para realizar revisión de rodamiento y lubricación.

Figura 14

Desarme por partes de las bombas centrifugas



Fuente 13. Autor

En la figura 15 se observa la limpieza de las partes de las bombas y lubricación de rodamiento.

Figura 15

Lubricación de rodamiento y partes de las bombas centrífugas



Fuente 14. Autor

En la figura 16 se observa el armado de las bombas con su respectivo mantenimiento.

Figura 16

Armado de las bombas después de la lubricación y limpieza



Fuente 15. Autor

En la figura 17 se observa el montaje de las dos bombas retiradas para el mantenimiento.

Figura 17

Montaje final de las bombas en las estructura del sistema de distribución y almacenamiento de agua potable



Fuente 16. Autor

En la inspección de la tubería y las válvulas de pie, se realizó un ajuste de acoples de universal para fácil desmonte de las línea de succión que está dentro de los tanques y limpieza de las válvulas.

En la figura 18 se observa las piezas que se utilizaron para la adecuación de las líneas de succión del sistema de captación de agua en los pozos.

Figura 18

Acople para la tubería de las líneas de succión de las válvulas de pie



Fuente 17. Autor

En la figura 19 se observa la limpieza del sello mecánico de las válvulas de pie.

Figura 19

Limpieza de empaque de la válvula de pie



Fuente 18. Autor

En la figura 20 se observa la verificación de retención de agua en las válvulas de pie.

Figura 20

Verificación de retención de agua en la válvula de pie



Fuente 19. Autor

En la figura 21 se observa la verificación de filtración del empaque de la válvula con todos sus accesorios de la válvula completa.

Figura 21

Verificación de filtración de agua por el empaque de la válvula de pie



Fuente 20. Autor

En la figura 22 se observa las líneas de succión dentro del tanque de almacenamiento de agua sin la adecuación que se le realizó para el fácil desmonte de las válvulas.

Figura 22

Líneas de succión antes de intervenirlas



Fuente 21. Autor

En la figura 23 se observa la adecuación realizada a la línea de succión para poder desmontar las válvulas y realizar limpieza de empaques.

Figura 23

Línea de succión con universal para el desmontaje de la válvula de pie



Fuente 22. Autor

4.3.5 Mejoramiento de los indicadores

El sistema de distribución y almacenamiento de agua potable del Hospital Regional José David Padilla Villafañe, cuenta con 3 bombas centrifugas que son las que distribuyen el agua potable a las instalaciones. Se realizó un registro de tiempo de cada bomba en donde se tomó los tiempos que dura encendida cada bomba y también la duración de apagado, igualmente se tomó el registro de duración en minutos que se tiene entre bombas para cumplir con el ciclo programa para este sistema. En las figuras se observa los tiempos tomados antes de implementar el mantenimiento centrado en confiabilidad.

En la figura 24 y 25 se observa los datos recolectado para mirar los tiempos de encendió, apagado y tiempo entre bombas antes de la implementación

Figura 24

Datos de tiempo de bomba antes de la implementación

Sistema de distribución y almacenamiento de agua potable del HOSPITAL REGIONAL JOSE DAVID PADILLA VILLAFÑE ESE				
Equipo	Fecha	Tiempo de encendido(h,m,s)	Tiempo de apagado(h,m,s)	Tiempo entre bombas(h,m,s)
Bomba centrifuga 1	25/06/2021	01:25.46	00:38.67	01:25.46
Bomba centrifuga 2	25/06/2021	01:13.54	00:37.41	03:55.08
Bomba centrifuga 3	25/06/2021	00:56.29	00:35.64	05:27.01

Fuente 23. Autor

Figura 25

Datos de tiempo de las bombas antes de la implementación

Sistema de distribución y almacenamiento de agua potable del HOSPITAL REGIONAL JOSE DAVID PADILLA VILLAFÑE ESE				
Equipo	Fecha	Tiempo de encendido(h,m,s)	Tiempo de apagado(h,m,s)	Tiempo entre bombas(h,m,s)
Bomba centrifuga 1	06/08/2021	00:29.31	00:31.70	00:29.31
Bomba centrifuga 2	06/08/2021	00:50.00	00:31.51	01:51.01
Bomba centrifuga 3	06/08/2021	01:42.43	00:33.20	04:04.95

Fuente 24. Autor

Indicadores de disponibilidad de los equipos

La siguiente tabla muestra la disponibilidad del equipo antes de implementación del plan de mantenimiento.

En la figura 26 se observa los indicadores de disponibilidad obtenido con la información de la base de datos de los tiempos de las bombas antes de la implementación.

Figura 26

Indicadores de disponibilidad

1	equipos	Tiempo	numero de paradas	horas totales de parada	mantenimiento preventivos	mantenimientos correctivos	mtr	mtbf	Disponibilidad
2	Bomba 1	1440	4	200	60	140	50	360	0,861111111
3	Bomba 2	1440	4	180	60	120	45	360	0,875
4	Bomba 3	1440	4	210	60	150	52,5	360	0,854166667
5	tuberia de succion	4200	4	400	120	280	100	1050	0,904761905
6									
7									

Fuente 25. Autor

Siguiendo con el estudio del análisis del RCM e implementación del plan de mantenimiento como se observó en las evidencias del capítulo 4, en donde se tienen unas figuras de los trabajos realizado en el mantenimiento. Se llevó un seguimiento de funcionamiento de los equipos con el nuevo plan implementado con el fin de observar mejorías de los equipos y con esto demostrar la importancia que nos arrojan estas propuesta de mejora.

En las figuras se llevó un registro como se realizó el mantenimiento de la implementación con el fin de observar los cambios obtenidos, los resultados que podemos mirar en los registros son el aumento de tiempo de las bombas en reposo, lo cual nos ayuda a que los equipos trabajen menos y se disminuya la temperatura de funcionamiento, también se mejoró la captación de agua por la tubería de succión y perdida por filtración de agua en las válvulas de pie y mas

estanquidad de agua en la línea de succión, ya que las válvulas de pie están sellando por completo el regreso de agua cuando la bomba está en reposo. Lo cual nos ayuda que la línea de captación este cargada siempre y no se tengas burbuja de aire que hacen que las bombas trabajen en vacío y no se accione el mando de parar el dispositivo y se recaliente las máquinas.

La siguiente tabla con lleva a la disponibilidad del equipo poniendo en marcha el plan de mantenimiento planeado durante una identificación de los problemas se mejora su disponibilidad.

Figura 27 se observa los indicadores de los equipos después de la implementación donde se aumentó la disponibilidad.

Figura 27

Indicadores de disponibilidad implementada el plan de mantenimiento

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	equipos	Tiempo	numero de paradas	horas totales de parada	mantenimiento preventivos	mantenimientos correctivos	mtr	mtbf	Disponibilidad
2	Bomba 1	1440	4	46	43	3	11,5	360	0,968055556
3	Bomba 2	1440	4	44	44	0	11	360	0,969444444
4	Bomba 3	1440	4	48	46	2	12	360	0,966666667
5	tuberia de succion	4200	4	42	41	1	10,5	1050	0,99
6									
7									

Fuente 26. Autor

Igualmente, tenemos una mejora muy notoria de las bombas centrifuga en los entretiempos de accionamiento como lo demuestra los siguientes datos que han sido tomados en su programación.

En la figura 28 se observa el aumento de los tiempos de reposo entre bombas.

Figura 28

Datos de tiempo de las bombas después de la implementación del mantenimiento

Sistema de distribución y almacenamiento de agua potable del HOSPITAL REGIONAL JOSE DAVID PADILLA VILLAFÑE ESE				
Equipo	Fecha	Tiempo de encendido(h,m,s)	Tiempo de apagado(h,m,s)	Tiempo entre bombas(h,m,s)
Bomba centrífuga 1	06/10/2021	01:28.80	00:34.89	01:28.80
Bomba centrífuga 2	06/10/2021	01:37.03	01:04.73	03:08.42
Bomba centrífuga 3	06/10/2021	01:50.04	01:07.38	05:52.83

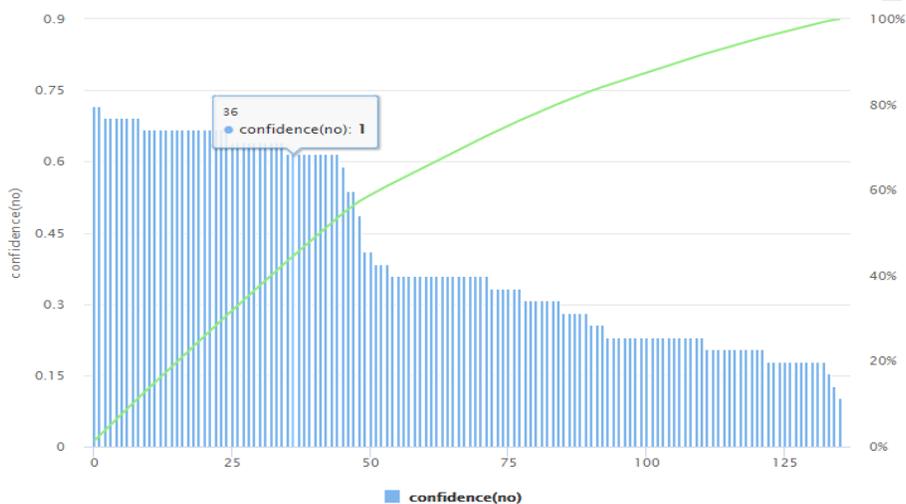
Fuente 27. Autor

Con la ayuda del programa rapidminer se cuantifico la confiabilidad del equipo, antes del plan de mantenimiento la cual demuestra una disminución notoria de estas se identifica con las barras azules, luego de identificar y plantear un nuevo plan de mantenimiento el cual es identificado con la línea verde caracterizando los fallos para planeación de correcciones la cual conlleva a un aumento en la confiabilidad optima del equipo.

En la figura 29 se observa la gráfica donde muestra con la línea verde el aumento de la disponibilidad.

Figura 29

Gráfica de disponibilidad de antes y después de la implementación del mantenimiento



Fuente 28. Autor

5. Conclusiones

Con la implementación del plan de mantenimiento centrado en confiabilidad se identifican las funciones concurrente de los equipos y se estandariza los mantenimientos preventivos, logrando así un óptimo funcionamiento de las bombas centrifugas y mejoramiento de la vida útil de los equipos.

Se identificaron las fallas funcionales y los modos de falla de cada componente de los equipos del sistema de distribución. También se determinó los efectos que causan la falla del sistema de distribución y las consecuencias que genera la falla cuando se presenta en su funcionamiento.

Se organizó y se implementó el plan de mantenimiento preventivo centrado en confiabilidad para el sistema de distribución y almacenamiento de agua potable, con el cual se buscó tareas proactivas de mantenimiento y el desarrollo del cronograma de actividades de mantenimiento de los equipos, en donde se estipulan las frecuencias y personal encargado de realizar las tareas organizadas para cada activo. Con la implementación del mantenimiento centrado en confiabilidad se logró la disminución de mantenimientos correctivos y gastos de funcionamientos.

6. Recomendaciones

Cumplir con las actividades de mantenimiento programado de manera efectiva para poder mantener en óptimo funcionamiento los equipos.

Proponer el mantenimiento centrado en confiabilidad en los demás equipos de las diferentes áreas para poder obtener un plan maestro en general y disminuir las fallas a largo plazo y aumentar su confiabilidad por ser una empresa prestadora de servicios de salud.

Referencias

- Cárdenas Salinas, R. D. (2017). *Diseño e implementación de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad para el sistema de bombeo "El Socavón de la EP- EMAPA Ambato* [Bachelor's thesis, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo].
- Da Costa Burga, M. (2011). *Aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad a motores a gas de dos tiempos en pozos de alta producción.*
- Marchena Sosa, F. A. (2013). *Implementación del mantenimiento centrado en confiabilidad (rcm) para aumentar la productividad del área de producción de tableros de la empresa Sertes SAC.* [Lima, 2018].
- Moubray, J. (2004). *Mantenimiento centrado en confiabilidad.* [Gran Bretaña: Aladon ltda].
- Quezada Banchon, M. A. (2014). *Plan para la implementación del mantenimiento centrado en la confiabilidad en plantas de tratamiento de agua potable.* [Bachelor's thesis].
- Rodríguez Machado, A. (2012). *Manual de gestión de mantenimiento.* [Doctoral dissertation, Universidad Central" Marta Abreu" de Las Villas].
- Sarmiento Melendez, L. A. (2017). *Gestión de mantenimiento centrado en la confiabilidad de estación de bombeo N° 1 de la planta de tratamiento de agua potable N° 1 de Chiclayo en la empresa Epsel SA para el aumento de la producción en el servicio de agua potable en la ciudad de Chiclayo.*

Apéndice

Apéndice 1

Hoja de decisión diligenciada para actividad de mantenimiento

													HOJA DE DECISIÓN RCM																														
													Fecha:		07/09/2021	Supervisado:		Ing. Roque Sanchez																									
													Ubicación:		Sistema de presión diferencial	Servicio:		Distribución y almacenamiento de agua potable																									
SISTEMA DE DISTRIBUCION Y CAPTACION																																											
Referencia de información			Evaluación de las consecuencias				H2			H3			H4			Acción a la falta de			Tareas Propuestas			Intervalo Inicial	A realizar por																				
							S2			S3			S4																														
F			FF				FM				H1			S1			E1			O1			H5			S5																	
1			A				1				N			N			N			N			S2			N3			N4			S5			N5			N5			Realizar inspección para verificar fugas y observar filtraciones de aire al sistema	Mensual	Técnico
1			A				2				N			N			N			N			S2			N3			N4			S5			N5			N5			Realizar limpieza de la línea de succión tanto vertical como horizontal desde la salida de la bomba hasta la final donde está la válvula	Mensual	Técnico
1			A				3				N			N			N			N			S2			N3			N4			S5			N5			N5			Realizar inspección de la estructura donde se reposa la tubería para verificar y evitar que el desnivel se esté aumentando	Semanal	Técnico
2			B				1				N			N			N			N			S2			N3			N4			S5			N5			N5			Realizar inspección de los empaques del sello de la válvula	Mensual	Técnico
2			B				2				N			N			N			N			S2			N3			N4			S5			N5			N5			Realizar limpieza y cambio si es necesario de los empaques de la válvula de pie	Mensual	Técnico
2			B				3				N			N			N			N			S2			N3			N4			S5			N5			N5			verificación de estanqueidad	Trimestral	Técnico
3			C				1				N			N			N			N			S2			N3			N4			S5			N5			N5			Realizar inspección y cambio si es necesario del sello mecánico	Anual	Técnico mecánico
3			C				2				N			N			N			N			S2			N3			N4			S5			N5			N5			Realizar limpieza, lubricación y cambio si es necesario del rodamiento	Anual	Técnico mecánico

Fuente 29. Autor

Apéndice 2

Hoja de Información de mantenimiento diligenciada

		HOJA DE INFORMACIÓN RCM				
		Fecha:	07/09/2021	Supervisado:	Ing. Roque Sanchez	
		Ubicación:	Sistema de presión diferencial	Servicio:	Distribución y almacenamiento de agua potable	
FUNCION		FALLA FUNCIONAL		MODO DE FALLA		CONSECUENCIA DEL MODO DE FALLA
1	Succión de agua en el tanque de almacenamiento	A	Encendido de la bomba pero no succiona el agua del tanque	1	Trabajo en vacío	El sistema de distribución se puede notar que el presostato envía la señal de encendido de la bomba pero no suministra agua por la tubería, esto se debe que la bomba capto aire y trabajo en vacío.
				2	Tubería de succión obstruida	
				3	Tubería desnivelada	
2	Abrir compuerta de la válvula para absorber agua del tanque	B	No retiene el agua en la línea de succión	1	Empaque de válvula con impureza	La línea de succión no se mantiene cargada para el nuevo encendido de la bomba, el motivo se presenta por que el empaque tiene impureza por falta de mantenimiento y no deja que la compuerta selle bien la válvula y se devuelve el agua otra vez al tanque
				2	Falta de limpieza	
				3	Falta de estanqueidad	
3	Bomba centrífuga de succión de agua	C	fugas de agua y encendido del motor forzado	1	Sello mecánico desgastado	Se presenta fuga de agua en cabezal de la bomba por el desgaste del sello y bomba enciende de manera forzada ya que los rodamiento tienen falta de lubricación momento de su funcionamiento
				2	Falta de lubricación en rodamiento	

Fuente 30. Autor

Apéndice 6

Orden de trabajo diligenciada línea de succión y válvula de pie

 Hospital Regional José David Padilla Villafañe <small>Empresa Social del Estado</small>		HOSPITAL REGIONAL JOSE DAVID PADILLA VILLAFANE ESE			
ORDEN DE TRABAJO					
Equipo:	Línea de succión y válvula de pie	Orden N°:	04		
Ubicación:	Sistema de Presión diferencial	Prioridad:	Urgencia:	x	Rutina:
Fecha inicio:	07-09-2021	Fecha de terminación:	09-09-2021		
Requerido por:	Iny Johan Alvarez	Aprobado por:	Iny Roque Sanchez		
Objetivo del trabajo	Ajuste de línea de succión y limpieza de válvula de pie				
Material y herramienta	<ul style="list-style-type: none"> o Universal, union PVC, segunte o llave de tubo, llave expansiva, llave de seguenta 				
N°:	Descripción de la actividad	Tipo de mantenimiento	Realizado por		
1	Corte de tubería y acople de universal	Correctivo	Casar Martinez		
2	Limpieza de empuje	Preventivo	Casar Martinez		
3	Prueba de estanqueidad	Preventivo	Casar Martinez		
4	Inspección de base de soporte de tubería	Preventivo	Casar Martinez		
5	Inspección de filtración de aire	Preventivo	Casar Martinez		
Observación:					

CS Escaneado con CamScanner

Fuente 34. Autor