

ANÁLISIS RCM PARA LA GENERACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO
BASADO EN CONFIABILIDAD PARA EL PROBADOR COMPACTO FQM – 5314
UBICADO EN LA ESTACIÓN GALAN DE LA REFINERÍA DE
BARRANCABERMEJA

ALEXANDER RISCANEVO PIEDRAHITA

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

2019

ANÁLISIS RCM PARA LA GENERACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO
BASADO EN CONFIABILIDAD PARA EL PROBADOR COMPACTO FQM – 5314
UBICADO EN LA ESTACIÓN GALAN DE LA REFINERÍA DE
BARRANCABERMEJA

ALEXANDER RISCANEVO PIEDRAHITA

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

Directora

ANDREA DEL PILAR GONZÁLEZ RODRÍGUEZ
Esp. en Gerencia de Mantenimiento

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

2019

DEDICATORIA

A mi esposa, mi hijo y señora madre;
quienes estuvieron a mi lado apoyándome
y por todos los sacrificios que nos tocó afrontar.

A Dios quien ha sido mi guía y fortaleza para poder cumplir mis sueños,
todos mis logros son para él.

Alexander Riscanevo Piedrahita

AGRADECIMIENTOS

Dios por ser el bastión en todos los proyectos que emprendo, dándome fuerzas para seguir adelante y guiándome por su buen camino.

Mi familia por sacrificar parte de nuestro tiempo compartiendo en aras de culminar esta especialización.

Amigos con quienes emprendimos esta gran iniciativa y estuvieron conmigo apoyándome y luchando por finalizar.

Todo el personal docente y administrativo de posgrados de la escuela de Mecánica de la UIS , quienes estuvieron siempre prestando un servicio de alta calidad técnica y humana

El Autor

TABLA DE CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	14
1. CONTEXTUALIZACIÓN	16
1.1 LA EMPRESA	16
1.1.1 Panorama de la planta Galán.	18
1.2 OBJETIVOS	20
1.2.1 Objetivo general	20
1.2.2 Objetivos específicos.	20
2. MARCO TEÓRICO	21
2.1 ¿QUÉ ES EL MANTENIMIENTO?	21
2.2 HISTORIA DEL MANTENIMIENTO	22
2.2.1 Primera generación (correctivo)	23
2.2.2 Segunda generación	24
2.2.3 Tercera generación	25
2.2.4 Cuarta generación	26
2.3 TIPOS DE MANTENIMIENTO	27
2.3.1 Mantenimiento ante fallo	27
2.3.2 Mantenimiento correctivo	29
2.3.3 Mantenimiento preventivo	29
2.3.4 Mantenimiento predictivo	30
2.4 MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD	32
2.4.1 Origen del RCM	33
2.4.2 Tipos de funciones	34
2.4.2.1 Funciones primarias	34

2.4.2.2 Funciones secundarias	34
2.4.2.3 Falla funcional.....	34
2.5 MODOS DE FALLA	35
2.5.1 Causas de falla	35
2.5.2 Efectos de las fallas	35
2.5.3 Consecuencias de las fallas.....	36
2.6 RCM FILOSOFIA SELECCIONADA	36
2.6.1 Los efectos de falla	37
2.6.2 Las consecuencias de la falla	38
2.6.3 Tareas proactivas	39
2.6.4 Aplicando el proceso de RCM.....	39
2.6.4.1 Planeamiento	39
2.6.4.2 Grupos de revisión	40
2.6.4.3 Facilitadores.....	40
2.6.4.4 Los resultados de análisis RCM.....	40
2.6.4.5 Auditoría o implementación.....	41
2.7 LISTADO DE FUNCIONES.....	41
2.8 ANÁLISIS DE MODOS DE FALLA Y SUS EFECTOS (AMFE).....	41
2.8.1 ¿Qué es un modo de falla?	41
2.8.2 ¿Por qué analizar los modos de falla?	42
2.9 CATEGORÍAS DE MODOS DE FALLA	42
2.10 NIVELES DE ANÁLISIS Y LA HOJA DE INFORMACIÓN	42
 3. ANÁLISIS DE LA LITERATURA RECOPILADA	 43
3.1 MARCO CONCEPTUAL	43
3.1.1 Confiabilidad del sistema	43
3.1.2 Confiabilidad de un Sistema Productivo en Serie	43
3.1.3 Atributos de la confiabilidad	44
3.2 ACTIVO.....	45
3.2.1 Activo físico.....	45

3.2.2 Calidad.....	45
3.2.3 Mantenibilidad.....	46
3.2.4 Efectividad de un sistema.....	46
3.2.5 Falla o fallo.....	46
3.2.6 Medios para aumentar la Confiabilidad.....	47
 4. RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	48
4.1 PRINCIPIO DE OPERACIÓN	48
4.2 PARTES Y FUNCIONALIDADES	50
4.2.1 Cilindro.....	50
4.2.2 Pistón o desplazador	51
4.2.3 Válvula Poppet.....	52
4.2.4 Sistema de posicionamiento (actuador mecánico) y sección calibrada	52
4.2.5 Detector de posición	53
4.2.6 Válvula de alivio de presión	54
4.2.7 Transmisor de presión y temperatura	54
4.2.8 Computador	54
 5. IMPLEMENTACIÓN DEL RCM.....	58
5.1 JA1011 y SAE JA1012.....	58
5.1.1 Columna H, S, E Y O	58
5.1.2 Columnas H1, H2, H3; S1, S2, S3; E1, E2, E3; O1, O2, O3.....	58
5.1.3 Columnas H4, H5 y S4. Registran las tareas “a falta de”.....	58
 6. CONCLUSIONES	60
 BIBLIOGRAFÍA.....	61
 ANEXOS.....	64

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Ubicación geográfica planta Galán Refinería de Barrancabermeja.	17
Figura 2. Fotografía satelital ubicación planta Galán Refinería de Barrancabermeja.	18
Figura 3. Distribución física Planta Galán Refinería de Barrancabermeja.	19
Figura 4. Interior Planta Galán Refinería de Barrancabermeja.	19
Figura 5. Patrón de falla primera generación.	23
Figura 6. Patrón de Falla Segunda Generación.	25
Figura 7. Probador compacto o Probador de bajo volumen.	48
Figura 8. Piston desplazador en estado de reposo.	49
Figura 9. Pistón desplazado estado arranque.	49
Figura 10. Cilindro de volumen conocido.	51
Figura 11. Sección transversal Pistón o desplazador.	52
Figura 12. Sistema de posicionamiento o actuador mecánico.	53
Figura 13. Sistema de interpolación de pulsos.	55
Figura 14. Interpolación de pulsos calculo fracciones inicio y fin.	56
Figura 15. Método doble Cronometría.	57
Figura 16. Árbol de toma de decisiones RCM.	59

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Hoja de información RCM.	64
Anexo B. Hojas de decisión RCM II.	65

RESUMEN

TÍTULO: ANÁLISIS RCM PARA LA GENERACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN CONFIABILIDAD PARA EL PROBADOR COMPACTO FQM – 5314 UBICADO EN LA ESTACIÓN GALAN DE LA REFINERÍA DE BARRANCABERMEJA.¹

AUTORES: ALEXANDER RISCANEVO PIEDRAHITA.²

PALABRAS CLAVES: RCM, CRITICIDAD, FALLA, CAUSA RAÍZ, INDICADORES RCM.

DESCRIPCIÓN O CONTENIDO:

Esta monografía expone el desarrollo de la metodología del mantenimiento centrado en confiabilidad RCM aplicada al mantenimiento del probador compacto ubicado en la planta Galán de la empresa colombiana de petróleo Ecopetrol S.A., con el fin de generar un plan de mantenimiento basado en confiabilidad que garantice la máxima disponibilidad del equipo.

Inicialmente se establecen los subsistemas y elementos que componen el equipo para determinar la operatividad y funcionalidad de cada uno de ellos a partir de la recopilación y consolidación de los diagramas funcionales que el fabricante presenta y los que operativamente se aplican al conjunto; posteriormente, se realiza un estudio detallado de las funciones de cada uno de los componentes y subsistemas establecidos, con el fin de determinar las fallas funcionales, los modos de falla o causa de las mismas, y el impacto de estos, determinando así las afectaciones más críticas en el funcionamiento del dispositivo.

Con el uso de las herramientas que brinda la metodología RCM se logran identificar las características funcionales y operativas que representan mayor criticidad para posteriormente definir y establecer las tareas que permitirán conservar la función del sistema de acuerdo a la criticidad de las consecuencias de falla; con la implementación de las tareas de mantenimiento obtenidas, se logrará aumentar la disponibilidad del dispositivo, así como de todos los subsistemas que lo conforman.

¹ Monografía.

² Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Especialización en Gerencia de Mantenimiento. Directora: Andrea del Pilar González Rodríguez, Especialista en Gerencia de Mantenimiento.

SUMMARY

TITLE: RCM ANALYSIS FOR THE GENERATION OF THE MAINTENANCE PLAN BASED ON RELIABILITY FOR THE COMPACT TESTER FQM - 5314 LOCATED AT THE GALAN STATION OF THE BARRANCABERMEJA REFINERY.³

AUTHOR: ALEXANDER RISCANEVO PIEDRAHITA.⁴

KEYWORDS: RCM, CRITICITY, FAILURE, ROOT CAUSE, RCM INDICATORS.

DESCRIPTION OR CONTENTS:

This monograph exposes the development of the maintenance methodology focused on reliability RCM applied to the maintenance of the compact tester located in the Galán plant of the Colombian oil company Ecopetrol SA, in order to generate a maintenance plan based on reliability that guarantees the maximum equipment availability.

Initially, the subsystems and elements that make up the equipment are established to determine the operability and functionality of each of them based on the collection and consolidation of the functional diagrams that the manufacturer presents and those that are operatively applied to the whole; Subsequently, a detailed study of the functions of each one of the components and subsystems established is carried out, in order to determine the functional failures, the failure modes or cause of them, and the impact of these, thus determining the most serious effects. Criticisms in the operation of the device.

With the use of the tools provided by the RCM methodology, it is possible to identify the functional and operational characteristics that represent greater criticality to later define and establish the tasks that will allow to conserve the function of the system according to the criticality of the consequences of failure; With the implementation of the maintenance tasks obtained, it will be possible to increase the availability of the device, as well as all the subsystems that comprise it.

³ Monography.

⁴ Faculty of Engineering Physics and Mechanics. Mechanical Engineering School. Specialization in Maintenance Management. Director: Andrea del Pilar González Rodríguez, Maintenance Management Specialist.

INTRODUCCIÓN

El crudo es un combustible fósil que está compuesto por hidrocarburos es decir por átomos de carbono e hidrógeno en cantidades variables, se produce en condiciones de alta presión y temperatura, es la principal fuente de energía, así como también el objeto más importante de comercio entre los países, no es renovable por lo que se considera como un recurso estratégico que provoca un declive en la economía mundial cuando existe carencia; denominado metafóricamente como el oro negro, donde tiene su origen en la descomposición de los minúsculos organismos acuáticos que vivían en los antiguos mares de la tierra hace millones de años.⁵

El petróleo debido a su naturaleza líquida y “escasa” tiene como enfoque una precisa medición y un transporte exacto desde la cabeza del pozo hasta el usuario final, es decir, un pequeño error podría ocasionar pérdidas grandes explicado con el siguiente ejemplo; la medición equívoca en 2 litros de petróleo puede representar el 1% de una tubería que entrega 30 barriles por minuto a \$100 USD por barril, al medirlo anualmente el valor de dicho error puede alcanzar los cuatro millones de dólares de los ingresos de cualquier persona, incertidumbre que cada vez se convierte en objeto de estudio, y que proporciona interés para la calibración exacta de flujo en condiciones dinámicas a través de probadores compactos.

Es de resaltar que hoy por hoy la implementación de herramientas, el análisis a través de sistemas de diseño tecnológico y metodologías preventivas orientadas a un óptimo mantenimiento de los procedimientos, ha sido durante años uno de los principales factores de mayor relevancia en las industrias al momento de requerir,

⁵ AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. Manual of Petroleum Measurement Standards. Chapter 4 - Proving Systems. [En línea]. Washington D.C.: El Instituto, 2005. 20 p. [Consultado el: 10 de enero de 2019]. Disponible en: http://ballots.api.org/copm/colm/ballots/docs/04_6w_er_e2_Reaf.pdf

conservar e incrementar los niveles de confiabilidad y productividad de acuerdo a los parámetros de rentabilidad y necesidades de la misma.

La siguiente monografía además de evaluar alternativas de solución se orienta a la minimización y eliminación de posibles ocurrencias de fallas potenciales en los equipos; identificará la causa y efecto de las fallas que proporcionan los elementos mecánicos y eléctricos, los riesgos de parada de emergencia y el grado de dificultad de los sistemas del probador compacto.

Asimismo se jerarquizarán los equipos, costos e impactos que generan el surgimiento de fallas para el desarrollo productivo, resaltando que no cuenta con la supervisión o monitoreo adecuado de las actividades de mantenimiento del dispositivo. Esto, con el objetivo de emplear factores preventivos que permitan afianzar la producción, conservar en adecuadas condiciones el proceso operativo de los equipos, mejorar los parámetros de frecuencia de control e indicadores actuales de mantenimiento preventivo, empleados por la empresa para elevar los niveles de confiabilidad y disponibilidad de los mismos.

1. CONTEXTUALIZACIÓN

1.1 LA EMPRESA

La estación Galán está ubicada en Barrancabermeja en el extremo nor – oeste del complejo industrial de Barrancabermeja.

Gran parte de la economía de la ciudad gira en torno a la industria Petroquímica que se asienta en este municipio. Entre otras labores económicas de la región, se destacan las industrias petroquímicas, la operación portuaria y el servicio para el transporte, la ganadería, la pesca, la agricultura y el comercio.⁶

⁶ ELIZALDE MEDRANO, Adrián; ROJAS RAMÍREZ, Jorge y TEJEIDA PADILLA, Ricardo. Medición Sistémica del Desempeño en el Transporte de Carga con GPS. [En línea]. En: Conciencia Tecnológica. Enero – junio, 2013, no. 45, pp. 24 - 30. [Consultado el: 28 de enero de 2019]. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=94427876009>

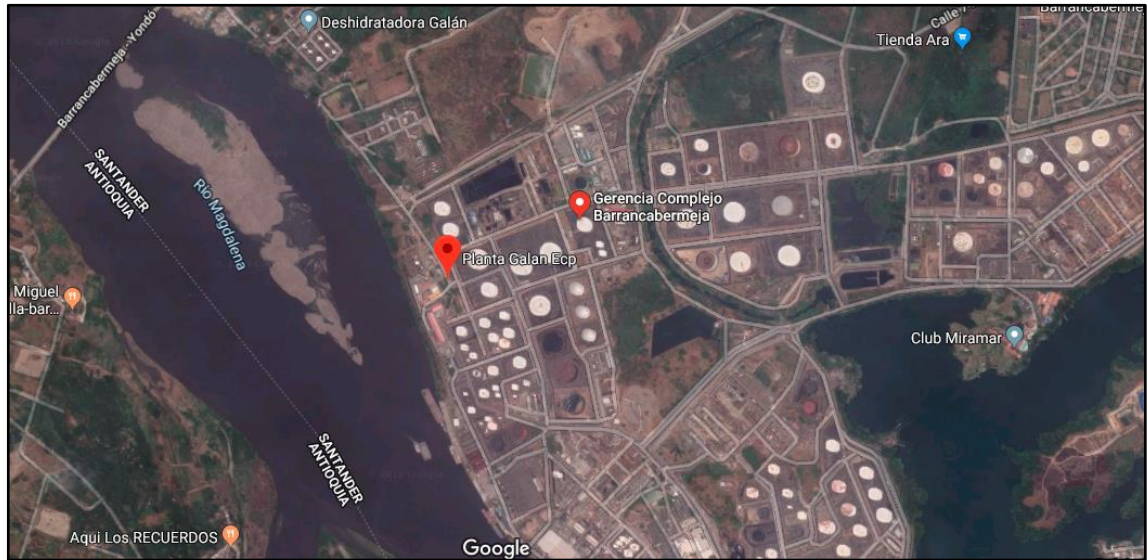
Figura 1. Ubicación geográfica planta Galán Refinería de Barrancabermeja.



Fuente: ECOPETROL S.A. Descripción de ubicaciones y procesos. Bogotá D.C.: La Compañía. 96 p.

1.1.1 Panorama de la planta Galán.

Figura 2. Fotografía satelital ubicación planta Galán Refinería de Barrancabermeja.



Fuente: GOOGLE LLC. Búsqueda en línea: Planta Galán Refinería de Barrancabermeja. [En línea]. [Consultado el: 30 marzo de 2018]. Disponible en: <https://www.google.com/maps/place/Planta+Galan+Ecp/@7.0755802,-73.8843223,2087m/>

Figura 3. Distribución física Planta Galán Refinería de Barrancabermeja.



Fuente: ECOPETROL S.A. Descripción de ubicaciones y procesos. Bogotá D.C.: La Compañía. 96 p.

Figura 4. Interior Planta Galán Refinería de Barrancabermeja.



1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo general. Implementar análisis RCM al probador compacto, para la generación del plan de mantenimiento basado en confiabilidad que garantice la máxima disponibilidad del equipo.

1.2.2 Objetivos específicos.

- Recopilar toda la información técnica necesaria para la identificación de sistemas, funciones y componentes del probador compacto.
- Reconocer los repuestos críticos, las funciones de los equipos y componentes del sistema y los procedimientos de operación.
- Comprender las fallas sistemáticas de los equipos y componentes.
- Establecer la respectiva metodología RCM que pueda lograr maximizar la confiabilidad y disponibilidad del probador compacto..

2. MARCO TEÓRICO

2.1 ¿QUÉ ES EL MANTENIMIENTO?

El mantenimiento es un conjunto de actividades encaminadas a garantizar el correcto funcionamiento de las máquinas e instalaciones que conforman un proceso de producción con el fin de alcanzar el máximo rendimiento.

Sus objetivos principales son; realizar listados de los equipos, asignar códigos de identificación de cada uno de los elementos y sistemas, ejecutar fichas técnicas con información de las características generales, técnicas y operacionales, generar actividades de mantenimiento ya sea eléctrico, mecánico, de lubricación e instrumentación, en todas las áreas de la empresa.⁷

La buena programación del mantenimiento hace que muchas empresas obtengan ventajas como:

- Elaboración de productos de alta calidad a bajo costo.
- La entrega del producto es en el tiempo estipulado.
- Los accidentes de trabajos son menos por mal estado de las máquinas.
- Bajo costos provocados por paradas de procesos.

⁷ AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. Manual of Petroleum Measurement Standards. Chapter 4 - Proving Systems. [En línea]. Washington D.C.: El Instituto, 2005. 20 p. [Consultado el: 10 de enero de 2019]. Disponible en: http://ballots.api.org/copm/colm/ballots/docs/04_6w_er_e2_Reaf.pdf

- Las fallas se detectan y se programan sin intervenir procesos.
- Evita daños irreparables de las máquinas.
- Proporciona un presupuesto acorde a las necesidades de la empresa.

En la actualidad el tipo de mantenimiento que se realiza en las empresas es el correctivo ya que es el encargado de actuar cuando los equipos fallan e inmediatamente se reparan e inspecciona las causas, pero también es de resaltar que existen otros tipos de mantenimientos como el predictivo, donde se realizan tareas como la comprobación de los niveles de lubricante, las vibraciones de algunos equipos (normalmente se analizan las vibraciones en los equipos que son más costosos de reparar, como por ejemplo la centrífuga); o el preventivo, en el caso de los guantes eléctricos, que pasan una revisión anual.⁸

2.2 HISTORIA DEL MANTENIMIENTO

Gracias a la evolución que ha sufrido la sociedad, el mantenimiento ha tenido que avanzar de igual manera. Este desarrollo se puede separar cronológicamente en cuatro generaciones, que cada una de ellas se caracteriza por tener una metodología específica.⁹

⁸ ECOPETROL S.A. Estándar de Ingeniería para la medición Dinámica de Cantidad y Calidad de Hidrocarburos Líquidos. Bogotá D.C.: La Compañía. 70 p.

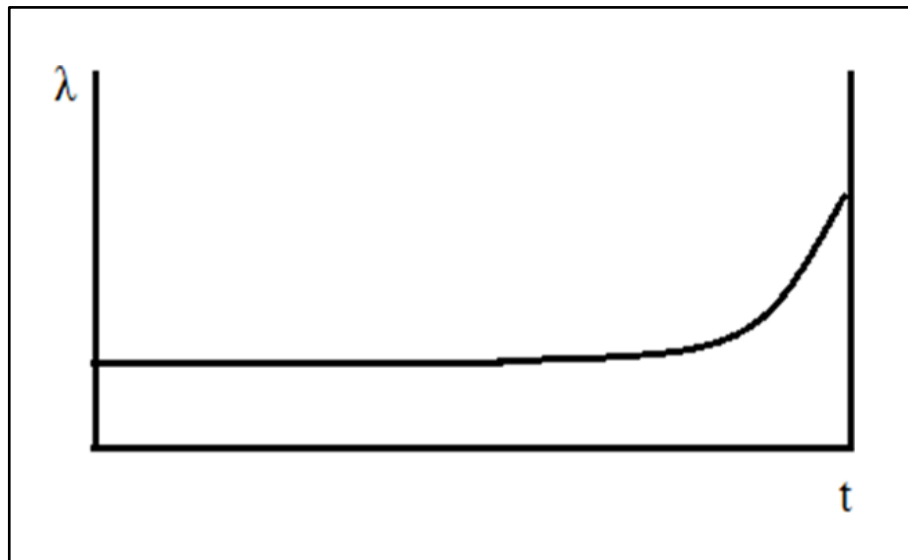
⁹ BARREDA BELTRÁN, Salvador. Plan de mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) en la Edar de Nules-Vilavella. [En línea]. Trabajo de grado Ingeniero Mecánico. Castellón de la Plana, España: Universitat Jaume I. 2015. 174 p. [Consultado el: 12 de febrero de 2019]. Disponible en: http://repositori.uji.es/xmlui/bitstream/handle/10234/128127/TFG_2015_BarredaBeltranS.pdf?sequence=1

2.2.1 Primera generación (correctivo). En las anteriores épocas el tiempo medio entre averías (MTBF período que cubre la etapa hasta la II Guerra Mundial, y se caracterizaba por el mantenimiento) no era tan importante, debido a que la industria no estaba muy mecanizada.

La maquinaria existente era sencilla y fácil de reparar. El mantenimiento se limitaba a la limpieza y lubricación de las máquinas, de manera que no era ni un mantenimiento sofisticado, ni se requería de un personal cualificado para ejercerlo.¹⁰

El patrón de esta generación muestra como a medida que los elementos físicos envejecen, tienen más probabilidad de fallar.

Figura 5. Patrón de falla primera generación.



¹⁰ BARREDA BELTRÁN, Salvador. Plan de mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) en la Edar de Nules-Vilavella. [En línea]. Trabajo de grado Ingeniero Mecánico. Castellón de la Plana, España: Universitat Jaume I. 2015. 174 p. [Consultado el: 12 de febrero de 2019]. Disponible en: http://repositori.uji.es/xmlui/bitstream/handle/10234/128127/TFG_2015_BarredaBeltranS.pdf?sequence=1

2.2.2 Segunda generación. En el transcurso de la II Guerra Mundial aumentó la demanda de todo tipo de productos, al igual que la mano de obra industrial disminuyó drásticamente; todo a causa de la mecanización. Las empresas empezaron a industrializarse y a depender cada vez más de sus equipos, a agilizar los procesos e implementar técnicas de calidad por la aparición de nuevos mercados.

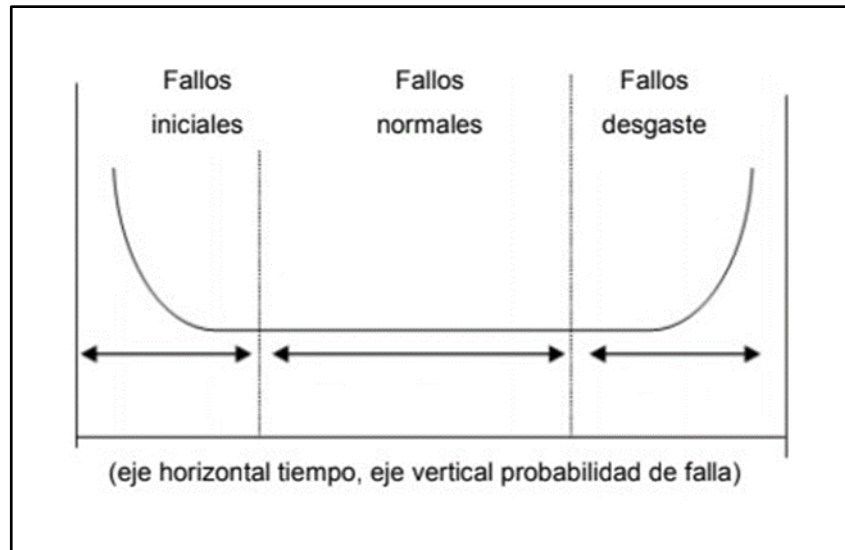
La nueva preocupación e interés se basó en reducir el tiempo entre averías debido a que la parada de la máquina cada vez era más crítica. Concluyendo al final que la prevención de fallas a través del mantenimiento podría mejorar dicha situación.

Aproximadamente para el año 1970 el mantenimiento preventivo que se aplicaba estaba basado en paradas totales programadas a cierto tiempo, en estos espacios se hacían reparaciones, dicho control sobre las máquinas produjo un aumento en el coste del mantenimiento y dio como resultado que las empresas empezaron a establecer sistemas de control y programación de mantenimientos.¹¹

Los cambios sufridos, hicieron que también variase el patrón. En este caso la gráfica es conocida como “curva de bañera”.

¹¹ ABRIL BLANCO, Henry y NARANJO, Omar. Metrología de Flujo de Petróleo en Brasil. [En línea]. En: Met&Flu. Enero – junio, 2010, no. 3, pp. 36 - 41. ISSN: 2145-5716 [Consultado el: 20 de febrero de 2019]. Disponible en: https://www.cdtdegas.com/images/Descargas/Nuestra_revista/MetFlu3/metflu_No3-5.pdf

Figura 6. Patrón de Falla Segunda Generación.



2.2.3 Tercera generación. Después de los 70 al considerar que para cubrir las necesidades productivas se debía tomar decisiones en cuanto a los equipos como prioridad, los cambios se hicieron más significativos en la implementación del mantenimiento en las compañías.¹²

Gracias a que la mecanización fue aumentando hasta verificar que los periodos no productivos tenían efectos en cuanto a la producción, costos y servicios de calidad al cliente, así como también a disminuir el nivel de competencias con respecto al comercio, se toma la opción como filosofía el justo a tiempo (just in time”) en dónde el inventario influyó para que fuese limitado, que al provocar la parada de toda una planta por fallos, desgaste, fallos iniciales, fallos normales, cubriese

¹² AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. Manual of Petroleum Measurement Standards. Chapter 4 - Proving Systems. [En línea]. Whashington D.C.: El Instituto, 2005. 20 p. [Consultado el: 10 de enero de 2019]. Disponible en: http://ballots.api.org/copm/colm/ballots/docs/04_6w_er_e2_Reaf.pdf

deliberadamente cualquier solicitud en el tiempo establecido y con el stock suficiente.¹³

Asimismo, las nuevas investigaciones están haciendo cambiar las creencias básicas del mantenimiento. Un ejemplo sería la conexión que, anteriormente, había entre el tiempo que lleva un equipo funcionando y la probabilidad de falla de este. Actualmente, después de muchos estudios e investigaciones se ha demostrado que esta relación no es directa, como antiguamente se creía.

Además, las empresas empezaron a tener en cuenta aspectos como la seguridad industrial y los daños medioambientales. Por todos estos factores, el mantenimiento se tornó una tarea cada vez más compleja y costosa.

2.2.4 Cuarta generación. Al inicio de los noventa, el mantenimiento se ha caracterizado por la sistematización de los procedimientos, actividades y estrategias. Otros avances como la automatización computarizada de sus procesos, ayudaron también a alcanzar un mayor grado de confiabilidad en los equipos.

Esta sistematización ha hecho posible definir etapas en el mantenimiento como son:

Recopilación de información, diagnóstico, definición de estrategia, planificación, programación, control y optimización. En cada una de estas etapas se han creado herramientas informáticas y diferentes aplicaciones que posibilitan la automatización computarizada de estos procesos.

¹³ ARIAS, Roberto, et al. Calibración dinámica de un probador bi-direccional. [En línea]. El Marqués, México: Departamento Nacional de Metrología. 9 p. [Consultado el: 25 de febrero de 2019]. Disponible en: <http://www.cenam.mx/fyv/publicaciones/calibraci%C3%B3n%20de%20probadores.pdf>

Actualmente, la Ingeniería del mantenimiento es la encargada en profundizar e investigar en la obtención de nuevos métodos y herramientas para la ya mencionada automatización computarizada, y hacer de esta forma más accesible su implementación en toda clase de empresas.

2.3 TIPOS DE MANTENIMIENTO

En la práctica existen varios tipos de mantenimiento diferenciados por la planificación, objetivos, necesidades. Las grandes empresas actualmente realizan un conjunto de tipos combinados con el fin de abarcar todos los recursos y optimizar la disponibilidad de los equipos. Existen clases de mantenimiento que se hallan en la industria, estos son:

2.3.1 Mantenimiento ante fallo. En este caso las operaciones de mantenimiento se efectuaran tras el fallo. El objetivo principal es reparar la máquina para que vuelva a funcionar en el menor tiempo posible (se reparan o se sustituyen las piezas que han fallado).

Aunque es un tipo de mantenimiento poco desarrollado, es uno de los que más se usan en la realidad (junto al correctivo). La causa de esto es en muchos casos el desconocimiento de técnicas de mantenimiento más avanzadas y la falta de organización.¹⁴

Esta clase de mantenimiento aporta ventajas como el aprovechamiento máximo de las piezas (ya que trabajan toda su vida útil, hasta la rotura) y la rapidez en que la

¹⁴ MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. Edición en español. Leicester: Aladon Ltd, 2004. 446 pp. ISBN 09539603-2-3.

maquina vuelve a estar operativa. Pero aunque tiene ciertas ventajas, las desventajas son mayores. Entre ellas podemos destacar las siguientes:

- No se busca el origen de la avería, de manera que esta se podrá repetir en poco tiempo después.
- No se puede planificar el mantenimiento, ya que no se sabe cuándo se puede producir el fallo.

Existe la posibilidad de producirse en el momento en el cual el personal de mantenimiento no se encuentra en planta, de modo que se retrasa la reparación y puesta en marcha de la máquina. Además existe la posibilidad de falla simultánea en varios equipos y sufrir una acumulación de trabajo que impida el funcionamiento normal de la planta.

- Para ejercer este tipo de mantenimiento, las empresas han de tener suficientes repuestos para poder actuar rápidamente en las averías y evitar las paradas de planta.
- Pero tener este stock de material supone un aumento de coste al tener un material inmovilizado.
- Las averías imprevistas pueden causar graves daños a la máquina, debido a la posibilidad del fallo en cadena. Es decir, al fallar un elemento cualquiera, puede provocar el fallo del elemento continuo.

2.3.2 Mantenimiento correctivo. Este tipo de mantenimiento es muy similar al anterior, ya que también actúa tras el fallo, pero se diferencia por la búsqueda del problema del fallo. Tras provocarse el fallo en la máquina se busca, diagnostica y se corrige la causa del fallo.

Las ventajas e inconveniente son los mismos que en el caso anterior, a diferencia que en este tipo prevenimos la repetición del mismo fallo. Solo podremos realizar esta clase de mantenimiento cuando exista un stock suficiente de repuestos y la reparación sea rápida, de modo que no cause interrupciones en el proceso productivo. Se suele usar en máquinas simples y con repuestos de bajo coste, donde este mantenimiento es el más eficiente.

2.3.3 Mantenimiento preventivo. El objetivo principal del mantenimiento preventivo es prevenir el fallo en los equipos. El más empleado es el mantenimiento planificado (PPM, “Planned Preventive Maintenance”), basado en una sustitución de piezas periódica. Normalmente la sustitución se realiza independientemente del estado del estado de la pieza, donde se tiene en cuenta el número de ciclos o tiempo trabajado.¹⁵

La elección de los intervalos de sustitución es la parte fundamental en este mantenimiento. La ventaja de este método frente al anterior, es la planificación del mantenimiento, ya que es menos compleja al no haber tantos imprevistos y paradas no programadas. Además, tampoco tendremos la necesidad de tener repuestos almacenados, porque estos serán adquiridos en los periodos planificados.

¹⁵ SOLANO DE LA TORRE, Filomeno. Propuesta de mejora para disminuir los niveles de pérdida en el despacho de gas licuado de petróleo en la estación de bombeo y al macenamiento de gas licuado de petróleo (GLP) El Chorrillo. [En línea]. Trabajo de grado Ingeniero Industrial. Guayaquil, Ecuador: Universidad de Guayaquil, Departamento Académico de Titulación, Facultad de Ingeniería Industrial. 2018. 106 p. [Consultado el: 15 de febrero de 2019]. Disponible en: <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/28349>

Pero por otro lado también se encuentran ciertas desventajas como: Si las piezas no agotan su vida útil puede resultar económicamente inviable. Esto es causado por una incorrecta planificación de los periodos de sustitución.

La sustitución de los elementos, puede provocar nuevos fallos en la máquina que no se producirían sin esta intervención. Hay máquinas que no funcionan de forma continua, de manera que han de controlarse mediante contadores para conocer los periodos de intervención.

Las paradas para realizar la sustitución de piezas afectan a la producción, de manera que pueden incrementar los costes. Para solucionar este problema, en ciertos casos, se aprovechan las paradas de producción por motivos técnicos para realizar las tareas de mantenimiento.

2.3.4 Mantenimiento predictivo. Este método corrige las desventajas del mantenimiento preventivo, ya que cambia las sustituciones por inspecciones. De forma que en vez de cambiar las piezas cada cierto tiempo, se inspeccionan periódicamente.

Cada pieza inspeccionada deberá cumplir una clase de parámetros, y en caso de no cumplirlos se deberá intervenir mediante una operación correctiva (reparación o sustitución).

Para realizar estas inspecciones no se requiere la detención de la máquina, de este modo no interrumpimos la producción. La medida de los parámetros (ruido, vibraciones, temperatura, lubricante) puede realizarse de forma periódica o

continua. El parámetro más utilizado en el mantenimiento es el de las vibraciones, al ser el que detecta con más fiabilidad los fallos de las máquinas.¹⁶

El mantenimiento predictivo se aplica generalmente a máquinas donde un fallo causa un problema de seguridad, el fallo catastrófico de la máquina o provoca una parada de la producción.

Las ventajas que presenta este método son:

La vida útil de las piezas se puede agotar al máximo, se disminuyen el número de intervenciones y se evitan los fallos inesperados.¹⁷

No hay necesidad de tener un stock de piezas, ya que las nuevas piezas se obtienen cuando se detecta un incorrecto funcionamiento de algún elemento.

Si se usan las técnicas adecuadas se puede detectar la causa de los fallos de la máquina, sin detener su funcionamiento. Incremento de la seguridad de la planta, ya que se reduce la posibilidad de accidentes por fallos imprevistos. Pero la

Aplicación de este método de mantenimiento también incorpora ciertas desventajas como:

El personal debe estar más formado para la aplicación de las diferentes técnicas de inspección. Ya que una mala interpretación de los datos podría suponer una parada innecesaria.

¹⁶ ELIZALDE MEDRANO, Adrián; ROJAS RAMÍREZ, Jorge y TEJEIDA PADILLA, Ricardo. Medición Sistémica del Desempeño en el Transporte de Carga con GPS. [En línea]. En: Conciencia Tecnológica. Enero – junio, 2013, no. 45, pp. 24 - 30. [Consultado el: 28 de enero de 2019]. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=94427876009>

¹⁷ *Ibíd.*

Falta de conocimiento sobre a partir de qué valor supone un riesgo para la máquina. Especialmente esto ocurre en las etapas iniciales donde todavía hay dudas sobre cuando hacer la parada para la reparación.

El aburrimiento de los trabajadores después de tomar datos repetitivos, sin que se produzcan cambios antes de una situación donde han de actuar.

2.4 MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD

El mantenimiento centrado en Confiabilidad (MCC), o Reliability-Centred Maintenance (RCM), ha sido desarrollado para la industria de la aviación civil hace más de 30 años. El proceso permite determinar cuáles son las tareas de mantenimiento adecuadas para cualquier activo físico.

El RCM ha sido utilizado en miles de empresas de todo el mundo: desde grandes empresas petroquímicas hasta las principales fuerzas armadas del mundo utilizan RCM para determinar las tareas de mantenimiento de sus equipos, incluyendo la gran minería, generación eléctrica, petróleo y derivados, metal-mecánica, etc. La norma SAE JA1011 especifica los requerimientos que debe cumplir un proceso para poder ser denominado un proceso RCM.¹⁸

¹⁸ ELIZALDE MEDRANO, Adrián; ROJAS RAMÍREZ, Jorge y TEJEIDA PADILLA, Ricardo. Medición Sistémica del Desempeño en el Transporte de Carga con GPS. [En línea]. En: Conciencia Tecnológica. Enero – junio, 2013, no. 45, pp. 24 - 30. [Consultado el: 28 de enero de 2019]. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=94427876009>

2.4.1 Origen del RCM. En 1960 el gobierno de los EEUU formó un grupo de trabajo que incluía representantes de la Agencia Federal de Aviación y de las aerolíneas, para investigar las capacidades del mantenimiento preventivo, esos primeros estudios, dirigidos por Stanley Nowlan y Howard Heap, originaron el RCM, de las palabras en inglés Reliability Centred Maintenance, traducido al español como Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad y fue el título del informe que presentaron sobre los procesos para preparar los programas de mantenimiento para aeronaves. La aplicación de los criterios de RCM permitió bajar la incidencia en los noventa a razón de dos accidentes graves con fatalidades por cada millón de despegues.

En la década de los ochenta, la técnica RCM7 a penetrar en la industria en general John Moubray y sus asociados fueron pioneros en elaborar una rigurosa metodología de aplicación de esta técnica en la industria, comenzaron a trabajar en los sectores de la minería y manufacturas, usaron una versión levemente modificada del diagrama de Nowlan y Heap, dando lugar a RCM2.

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.

Las siete preguntas básicas del RCM. Según la norma SAE JA 1011 las siete preguntas básicas del proceso RCM son:

- ¿Cuál es la función?, Lo que el usuario desea que la máquina haga.
- ¿Cuál es la falla funcional?, Razones por las que deja de hacer lo que el usuario desea que haga.
- ¿Cuál es el modo de falla?, Que pudo causar la falla funcional.

- ¿Cuál es el efecto de la falla?, falla?, Que ocurre cuando la falla se produce.
- ¿Cuál es la consecuencia de la falla?, Razones por las que importa que falle.
- ¿Qué se puede hacer para evitar o minimizar la consecuencia de la falla?.
- ¿Qué se hace si no se encuentra ninguna tarea para evitar o minimizar la consecuencia de la falla?

2.4.2 Tipos de funciones. Una función es lo que los usuarios esperan que los activos sean capaces de hacer.

2.4.2.1 Funciones primarias. Son aquellas que en primera instancia resumen el porqué de la adquisición del activo. Esta categoría de funciones cubre temas como velocidad, producción, capacidad de almacenaje o carga, calidad de producto y servicio al cliente.

2.4.2.2 Funciones secundarias. Los usuarios también tienen expectativas relacionadas con las áreas de seguridad, control, contención, confort, integridad estructural, economía, protección, eficiencia operacional, cumplimiento de regulaciones ambientales y hasta de apariencia del activo.

2.4.2.3 Falla funcional. Se define como la incapacidad de un elemento o componente de un equipo para satisfacer un estándar de funcionamiento deseado.

Una vez que las funciones y los estándares de funcionamiento de cada equipo se hayan definido, el paso siguiente es identificar cómo puede fallar cada elemento en la realización de sus funciones. Esto lleva al concepto de una falla funcional, que se define como la incapacidad de un elemento o componente de un equipo para satisfacer un estándar de funcionamiento deseado.¹⁹

2.5 MODOS DE FALLA

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

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

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

¹⁹ MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. Edición en español. Leicester: Aladon Ltd, 2004. 446 pp. ISBN 09539603-2-3.

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

2.5.3 Consecuencias de las fallas. Una vez que se hayan determinado las funciones, las fallas funcionales, los modos de falla y los efectos de los mismos en cada elemento significativo, el próximo paso en el proceso del RCM es preguntar cómo y (cuánto) importa cada falla.

La razón de esto es porque las consecuencias de cada falla dicen si se necesita tratar de prevenirlos. Si la respuesta es positiva, también sugieren con qué esfuerzo debemos tratar

2.6 RCM FILOSOFIA SELECCIONADA

La filosofía del RCM es escogido debido a ciertas preguntas que se generó y la relacionaba con el desarrollo acerca del activo o sistema a revisar.²⁰

- ¿Cuál es la función y los parámetros de funcionamiento asociados al activo en su actual contexto operacional?
- ¿De qué manera falla en satisfacer dichas funciones?

²⁰ AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. Manual of Petroleum Measurement Standards. Chapter 4 - Proving Systems. [En línea]. Washington D.C.: El Instituto, 2005. 20 p. [Consultado el: 10 de enero de 2019]. Disponible en: http://ballots.api.org/copm/colm/ballots/docs/04_6w_er_e2_Reaf.pdf

- ¿Cuál es la causa de cada falla funcional?
- ¿Qué sucede cuando ocurre cada falla?
- ¿Qué puede hacerse para prevenir o predecir cada falla?

Después de definir la función del activo en su contexto operacional, junto con los parámetros deseados, se designa las funciones primarias que resume del por qué la importancia del activo. El caracterizar los elementos del dispositivo se procede a identificar que las fallas pueden ocurrir en dos niveles:

- El analizar las circunstancias que llevaron a la falla.
- Los eventos que pueden causar que el activo falle.

Las fallas funcionales hacen que no se pueda cumplir una función de acuerdo al parámetro de funcionamiento que el usuario considera aceptable, es decir abarca en la que activo tiene un nivel de desempeño inaceptable. Una vez que se identifica cada falla, se procede a identificar los hechos que de manera razonablemente posible puedan haber causado cada estado de falla hechos que son denominados modos de falla, que deben ser detalladas para asegurar de que no se desperdicie el tiempo y esfuerzos intentando tratar síntomas en lugar de causas reales.

2.6.1 Los efectos de falla. Como cuarto proceso de RCM describe toda la información necesaria para apoyar la evaluación de las consecuencias de la falla que abarca el proceso:

- Qué evidencia existe de que la falla haya ocurrido.

- De qué manera afecta la producción o las operaciones.
- Qué daños físicos han sido causados por la falla.
- Qué debe hacerse para reparar la falla

2.6.2 Las consecuencias de la falla. Como análisis detallado que demuestre muchas posibilidades de modos de fallas que pueden afectar operacionalmente o a la calidad del producto, al servicio al cliente, la seguridad y el medio ambiente, la importancia de la filosofía es por reconocer que la única razón para hacer cualquier tipo de mantenimiento proactivo no es evitar las fallas, sino evitar o reducir las consecuencias de las fallas y dividir las como a continuación se mencionan:

- Consecuencias de fallas ocultas: no tienen un impacto directo, pero exponen a fallas múltiples con consecuencias serias y hasta catastróficas.
- Consecuencias ambientales y para la seguridad: una falla tiene consecuencias la seguridad si es posible que cause daño o la muerte.
- Consecuencias operacionales: cuando afecta a la producción (cantidad, calidad del producto, atención al cliente, o costos operacionales, además del costo directo de la operación).
- Consecuencias no operacionales: No afectan a la seguridad ni la producción, solo implican el costo directo de la reparación.

Teniendo clara las consecuencias se tienen dos categorías que son técnicas de manejo de fallas:

- Tareas proactivas: se emprenden antes de que ocurra la falla, lo que se conoce tradicionalmente como mantenimiento predictivo o preventivo.

- Acciones a falta de: están relacionado con el estado de la fallas y son elegidas cuando no es posible identificar una tarea proactiva efectiva.

2.6.3 Tareas proactivas. Divide las tareas en dos categorías:

- Tareas de reacondicionamiento cíclicas: Implican re fabricar un componente o reparar un conjunto antes de un límite de edad específico sin importar su condición en ese momento implican sustituir un componente antes de un límite de edad específico más allá de su condición en ese momento.
- Tareas a condición. Las mayorías de las nuevas técnicas se basan en el hecho de que la mayoría de las fallas dan algún tipo de advertencia de que están por ocurrir.

2.6.4 Aplicando el proceso de RCM.

2.6.4.1 Planeamiento. Logra grandes mejoras en la efectividad del mantenimiento y a menudo lo hace rápido con los elementos centrales del proceso son:

- Decidir cuales activos físicos se benefician.
- Evaluar recursos requeridos
- Asegurar que el contexto operacional de cada activo físico.

2.6.4.2 Grupos de revisión. El uso de estos grupos no sólo permite a los gerentes un acceso sistemático al conocimiento y la experiencia de cada miembro del grupo.²¹

2.6.4.3 Facilitadores. Los integrantes más importantes del proceso de revisión RCM es asegurar que:

- Los límites del sistema son claramente definidos.
- RCM claramente comprendido y correctamente aplicado.
- El análisis progresa rápidamente manejando el entusiasmo.

2.6.4.4 Los resultados de análisis RCM.

- Planes de mantenimiento.
- Procedimientos de operación revisados, para los operadores del activo.
- Lista de cambios que deben hacerse al diseño del activo físico o a la manera que es operado.

²¹ MONTILLA, Carlos; ARROYAVE, Juan Felipe y SILVA, Carlos Eduardo. Caso de aplicación centrado en la confiabilidad RCM, previa existencia de mantenimiento preventivo. [En línea]. En: Scientia Et Technica, diciembre, 2007, vol. 13, núm. 37, pp. 273 - 278. ISSN: 0122-1701. [Consultado el: 26 de marzo de 2019]. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84903746>

2.6.4.5 Auditoría o implementación. Las recomendaciones son implementadas incorporando los planes de mantenimiento.

2.7 LISTADO DE FUNCIONES

Las actividades de mantenimiento permanecen enfocadas hacia las necesidades reales, ayuda a absorber variaciones originadas por cambios de expectativas si hacer obsoleto todo el emprendimiento. Las funciones se listan en la columna izquierda de la hoja de información de RCM, las funciones primarias se escriben primero y se enumeran.

2.8 ANÁLISIS DE MODOS DE FALLA Y SUS EFECTOS (AMFE)

Al definir las funciones y parámetros de funcionamiento de cualquier activo se define los objetivos de mantenimiento, pero también se debe identificar aquellos modos de fallas que sean posibles causantes de cada falla funcional y determinar los efectos de falla asociados con cada modo de falla.

2.8.1 ¿Qué es un modo de falla? Evento que puede causar un estado de falla, es decir es cualquier evento que causa una falla funcional. La descripción es detallada para poder seleccionar la estrategia de manejo de falla apropiada pero no tanto como para no perder tiempo en el proceso.

2.8.2 ¿Por qué analizar los modos de falla? Las órdenes de trabajo o pedidos de trabajo surgen para cubrir los modos de fallas específicos, el planeamiento del mantenimiento diario se realizara para tratar modos de fallas específicos, los sistemas de registro de historia técnica registran modos de fallas individuales.²²

2.9 CATEGORÍAS DE MODOS DE FALLA

Los modos de fallas se clasifican en tres grupos:

- Cuando la capacidad cae por debajo del funcionamiento deseado.
- Cuando el funcionamiento deseado se eleva encima de la capacidad inicial.
- Cuando desde el comienzo el activo físico no es capaz de hacer lo que se quiere.

2.10 NIVELES DE ANÁLISIS Y LA HOJA DE INFORMACIÓN

El nivel de detalle que se usa para describir modos de falla en las hojas de información también influencia por el nivel en el cual se lleva a cabo el AMFE.

Nivel de análisis: RCM se define como un proceso usado para determinar qué es lo que debe hacerse para asegurar que cualquier activo físico continúe aquello que los usuarios quiere que se haga en cuanto a su contexto operacional presente.

²² ARIAS, Roberto, et al. Calibración dinámica de un probador bi-direccional. [En línea]. El Marqués, México: Departamento Nacional de Metrología. 9 p. [Consultado el: 25 de febrero de 2019]. Disponible en: <http://www.cenam.mx/fyv/publicaciones/calibraci%C3%B3n%20de%20probadores.pdf>

3. ANÁLISIS DE LA LITERATURA RECOPIADA

3.1 MARCO CONCEPTUAL

3.1.1 Confiabilidad del sistema. Obtener la confiabilidad de un artículo puede resultar relativamente sencillo, siempre y cuando se cuente con una muestra de datos de fallo suficientemente amplia. Sin embargo, para un sistema o una línea de producción industrial, donde existen equipos combinados de distintas formas, resulta complicado formular una expresión generalizada para obtener exactamente la confiabilidad de dicho sistema, a partir de las confiabilidades de sus componentes.

Puede darse el caso, que el fallo de un equipo puede venir provocado por el fallo de otro, por lo que, en el cálculo de la confiabilidad del sistema deberá tenerse en cuenta la aparición de probabilidades condicionadas entre sus componentes.

Además, lo que es aún más grave, puede ocurrir que el modelo de confiabilidad que se está utilizando para un equipo del sistema, no es exactamente válido para las condiciones funcionales del sistema.

3.1.2 Confiabilidad de un Sistema Productivo en Serie. Si un sistema productivo (o subsistema) está compuesto por “n” ítems que funcionan de manera independiente, acoplados en serie; es decir, operando uno a continuación de otro, de tal manera que el comportamiento de alguno de ellos, no afecta la confiabilidad de los restantes, entonces, la falla en cualquier equipo genera la paralización de todo el sistema productivo.

Por lo tanto, la probabilidad de que el sistema en serie no falle antes de un instante de tiempo dado; es decir, su confiabilidad, vendrá dada por el producto de las confiabilidades de los distintos equipos que constituyen dicho sistema.

3.1.3 Atributos de la confiabilidad. Hay muchos atributos que intervienen en la confiabilidad y cada atributo está definido de diferentes maneras en la literatura. Los atributos más importantes de la confiabilidad son:

- **Fiabilidad:** es el índice de continuidad de un servicio correcto.
- **Disponibilidad:** es el grado en el que un componente o sistema es accesible y puede operar cuando se requiere para el uso.
- **Mantenibilidad:** es la capacidad de un componente o sistema para sufrir reparaciones y modificaciones.
- **Seguridad:** es la ausencia de consecuencias catastróficas sobre el usuario y/o medio ambiente causados por el sistema y/o un componente.
- **Exactitud:** habilidad del componente o sistema de proporcionar las salidas requeridas dentro del rango deseado y con la precisión solicitada.
- **Garantía:** capacidad de un componente o sistema para resistir el mal uso, abuso y desastre.

3.2 ACTIVO

Es un recurso que es utilizado en la producción de bienes o servicios. Los activos pueden ser: físicos, humanos, financieros, tangibles, intangibles, entre otros.

3.2.1 Activo físico. Un activo físico es un bien de una empresa ya sea tangible o intangible, necesario para el funcionamiento de la misma. Son ejemplos de activos físicos: bienes inmuebles, los equipos, las máquinas, las instalaciones, el material de oficina, las inversiones en acciones, los bonos, los valores emitidos por empresas afiliadas, etc.

Los activos físicos tangibles son elementos que pueden ser tocados materialmente, tales como los terrenos, los edificios, la maquinaria, etc. y los activos físicos intangibles son elementos que no pueden ser tocados materialmente, tales como los derechos de una patente, etc.

3.2.2 Calidad. Es la totalidad de los rasgos y las características de un producto o servicio que se relacionan con su capacidad para satisfacer necesidades expresas o implícitas.

Esta definición sugiere que la “calidad” debe ajustarse a los requerimientos establecidos para satisfacer las necesidades de los usuarios o de cualquiera que entra en contacto con el producto o servicio. Por lo tanto, la “calidad” implica satisfacer las expectativas y requerimientos del cliente (tanto externo como interno). El cliente es un ser humano que como tal, no puede ser reducido a ningún esquema y tiene siempre la última palabra.

3.2.3 Mantenibilidad. En cualquier instalación industrial, tan importante como que un equipo no falle es que, cuando éste falla, se repare, y vuelva a ponerse en servicio lo antes posible aparece, pues, un nuevo concepto que intenta reflejar el tiempo que tarda un equipo que ha fallado, en volver a estar en condiciones operativas, lo que se denomina Tiempo Técnico de Reparación (tiempo que demora la reparación), o simplemente tiempo de reparación, y se denota como TTR (del inglés Time To Repair).

3.2.4 Efectividad de un sistema. Es definida como la probabilidad de que el sistema pueda satisfacer exitosamente una demanda operacional dentro de un tiempo dado cuando opera bajo condiciones especificadas. Entonces, se convendrá en que la confiabilidad es uno de los mejores atributos para determinar la efectividad del sistema.

3.2.5 Falla o fallo. Concepto básico de la Teoría de la Confiabilidad que se define como el hecho o evento que provoca la pérdida total o parcial de la capacidad de un ítem para realizar las funciones para las cuales fue diseñado. Es decir, es el cese del estado de capacidad de trabajo de un artículo .También, se puede decir, que una falla o un fallo es la terminación o degeneración de la propiedad de un artículo para realizar su función para lo cual fue diseñado.

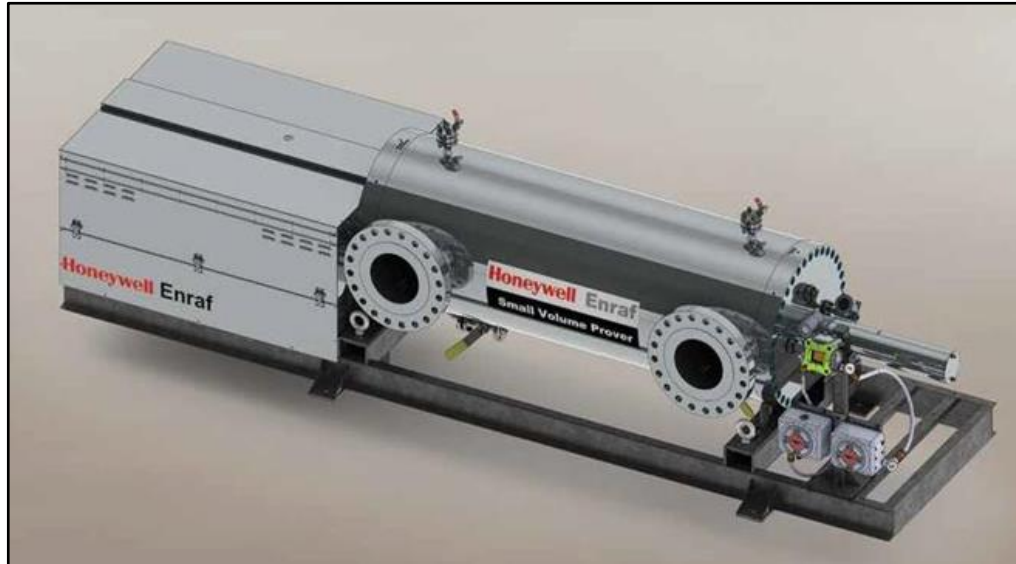
3.2.6 Medios para aumentar la Confiabilidad. Existen diversos medios para aumentar la confiabilidad. Estos buscan evitar y prevenir las amenazas y cuando no es posible buscan controlar dicha situación y en algunos casos se examina que el proceso siga funcionando, aunque esto afecte su desempeño y acorte su vida.²³

- División de los medios para el aumento de la confiabilidad.
- Prevención de fallas: busca prevenir la ocurrencia o introducción de fallas y se obtiene mediante técnicas de control de calidad empleadas durante el proceso de diseño y manufactura del hardware y software.
- Tolerancia a fallas: busca que el proceso dé un servicio correcto aun en presencia de fallas y se implementa generalmente mediante la detección de errores y sistemas subsecuentes de recuperación.
- Eliminación de fallas: trata de reducir el número o severidad de las fallas y se realiza durante su desarrollo del sistema y durante su vida de operación útil.
- La predicción de fallas trata de estimar el número de fallas presentes, la incidencia futura y las probables consecuencias de estas. Realiza una valoración de la conducta del sistema cuando ocurre o se activa una falla.

²³ ARIAS, Roberto, et al. Calibración dinámica de un probador bi-direccional. [En línea]. El Marqués, México: Departamento Nacional de Metrología. 9 p. [Consultado el: 25 de febrero de 2019]. Disponible en: <http://www.cenam.mx/fyv/publicaciones/calibraci%C3%B3n%20de%20probadores.pdf>

4. RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

Figura 7. Probador compacto o Probador de bajo volumen.

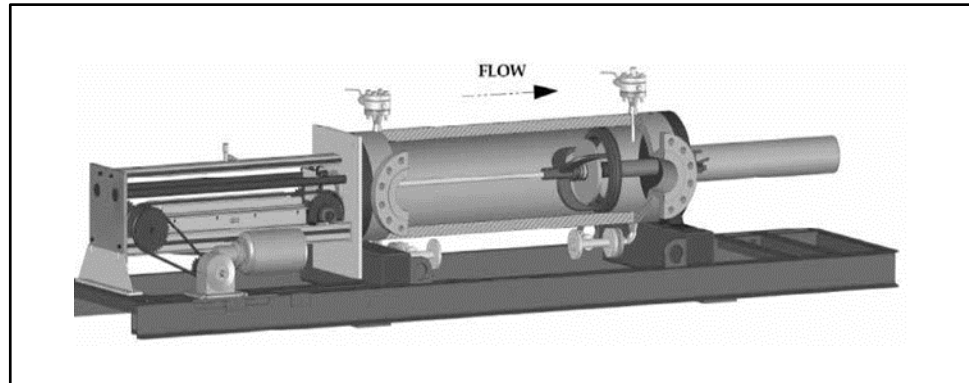


Fuente: HONEYWELL INCORPORATED. Honeywell Enraf Small Volume Prover Installation, Operation & Service Manual. Roswell, USA: La compañía, 2016. 136 p.

4.1 PRINCIPIO DE OPERACIÓN

En modo reposo (ver figura 8), el pistón (desplazador) se encuentra situado en la toma de descarga de fluido del probador, la válvula interna del pistón válvula poppet, se encuentra abierta, permitiendo paso del fluido libremente a través del pistón.

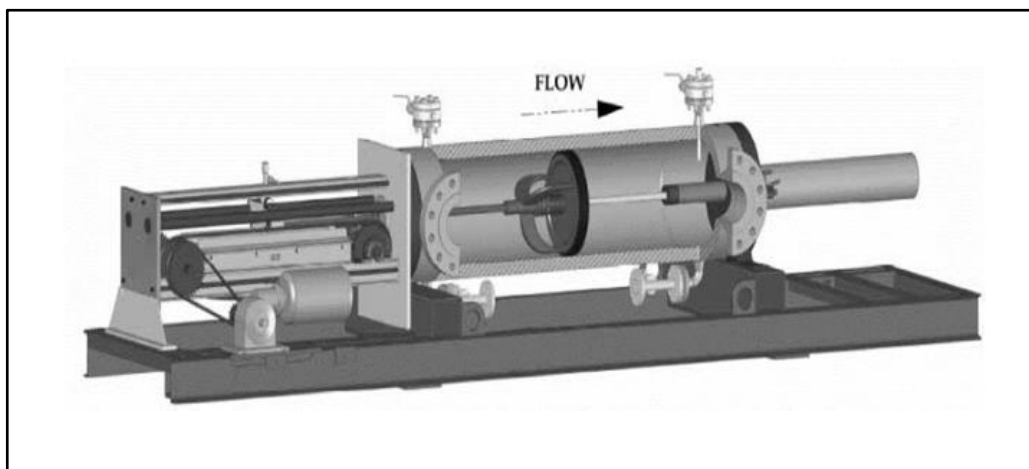
Figura 8. Piston desplazador en estado de reposo.



Fuente: HONEYWELL INCORPORATED. Honeywell Enraf Small Volume Prover Installation, Operation & Service Manual. Roswell, USA: La compañía, 2016. 136 p.

Cuando la secuencia de arranque (ver figura 9) inicia la operación del probador. El Computador activa el actuador mecánico conformado por un motor eléctrico y una transmisión por cadena, el motor impulsa la transmisión encargada de arrastrar el pistón y posicionarlo en la toma de ingreso de fluido del probador.

Figura 9. Pistón desplazado estado arranque.



Fuente: HONEYWELL INCORPORATED. Honeywell Enraf Small Volume Prover Installation, Operation & Service Manual. Roswell, USA: La compañía, 2016. 136 p.

En el instante donde el pistón es posicionado en la toma de ingreso de fluido se desconecta del actuador mecánica, liberando el pistón y cerrando la válvula poppet con ayuda de un resorte, de modo que el pistón se encuentra libre impulsado por el fluido que circula por el cilindro, sincronizando la velocidad del pistón con la velocidad del flujo del fluido.²⁴

Después de ser liberado el pistón y estar sincronizado con la velocidad del fluido, el switch de posición actúa y envía una señal al Computador, para que inicie la secuencia de conteo, mientras el pistón es impulsado por el fluido hacia la descarga de fluido, una vez llega el pistón al extremo final del cilindro donde está ubicada la toma de descarga el actuado nuevamente el switch de posición indicándole al Computador que detenga la secuencia de conteo.

Luego es detenido mecánicamente el pistón al llegar al extremo final del cilindro donde por la presión empuja el perímetro del pistón para abrir nuevamente la válvula poppet y repetir nuevamente la secuencia de arranque.

4.2 PARTES Y FUNCIONALIDADES

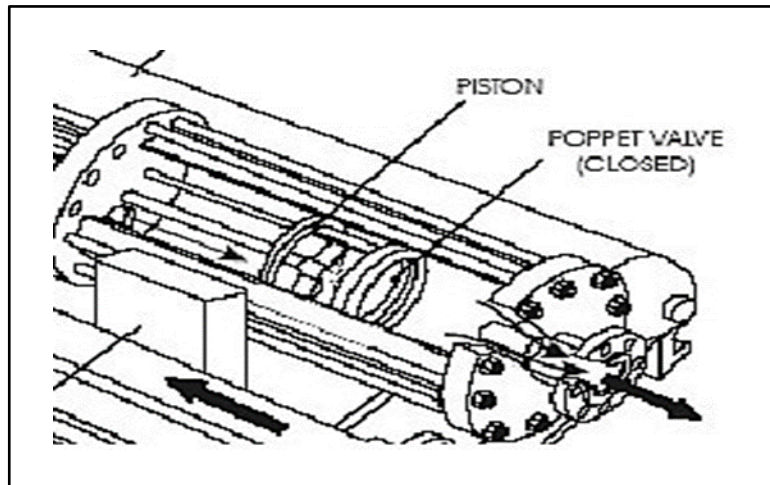
A continuación, se describen los elementos que componen el probador compacto y sus respectivas funciones.

4.2.1 Cilindro. Cilindro de volumen conocido y certificado en un laboratorio de metrología, dicho volumen es el patrón para realizar la comparación de flujo medido.

²⁴ HONEYWELL INCORPORATED. Honeywell Enraf Small Volume Prover Installation, Operation & Service Manual. Roswell, USA: La compañía, 2016. 136 p

En su interior se encuentra el desplazador y la válvula poppet como se observa en la figura 10.

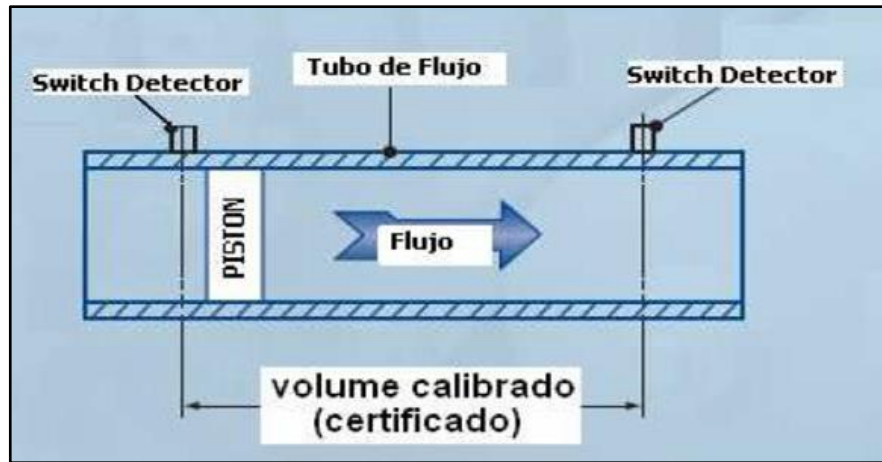
Figura 10. Cilindro de volumen conocido.



Fuente: HONEYWELL INCORPORATED. Honeywell Enraf Small Volume Prover Installation, Operation & Service Manual. Roswell, USA: La compañía, 2016. 136 p.

4.2.2 Pistón o desplazador. El desplazador está compuesto por un pistón que se mueve en el mismo sentido del flujo del fluido, entre dos detectores o switches de posición y el tiempo que tarda desplazándose entre los dos detectores de posición, dará como resultado una medida tiempo para calcular el caudal.

Figura 11. Sección transversal Pistón o desplazador.



Fuente: HONEYWELL INCORPORATED. Honeywell Enraf Small Volume Prover Installation, Operation & Service Manual. Roswell, USA: La compañía, 2016. 136 p.

4.2.3 Válvula Poppet. La válvula está ubicada dentro del desplazador y se acciona de la siguiente forma, se abre cuando el desplazador se mueve en contra flujo, permitiendo que el fluido circule a través de ella y se cierra cuando el desplazador va en el mismo sentido del flujo del fluido.²⁵

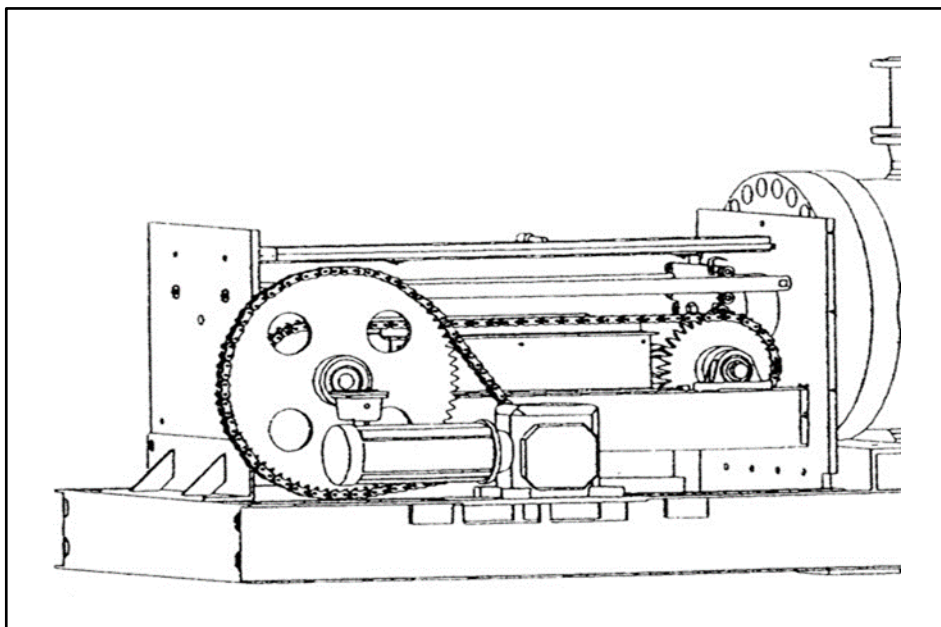
4.2.4 Sistema de posicionamiento (actuador mecánico) y sección calibrada. Es el encargado de posicionar el pistón en el extremo inicial de la sección calibrada. Dicho sistema lo componen un motor eléctrico, una transmisión por cadena y un arreglo de piñones.

La sección calibrada es el equivalente a la distancia recorrida por el pistón a lo largo del cilindro. Cada vez que el pistón llega al extremo final del recorrido de la sección calibrada, la válvula popper se abre y el sistema de posicionamiento (Motor eléctrico

²⁵ HONEYWELL INCORPORATED. Honeywell Enraf Small Volume Prover Installation, Operation & Service Manual. Roswell, USA: La compañía, 2016. 136 p.

y juego de cadena-piñones), posiciona el pistón en el extremo inicial de la sección calibrada.²⁶

Figura 12. Sistema de posicionamiento o actuador mecánico.



Fuente: HONEYWELL INCORPORATED. Honeywell Enraf Small Volume Prover Installation, Operation & Service Manual. Roswell, USA: La compañía, 2016. 136 p.

4.2.5 Detector de posición. Los detectores son sensores ópticos de alta precisión o switches de posición, su función es iniciar o parar el contador. Están ubicados en los extremos de la sección calibrada.²⁷

²⁶ HONEYWELL INCORPORATED. Honeywell Enraf Small Volume Prover Installation, Operation & Service Manual. Roswell, USA: La compañía, 2016. 136 p.

²⁷ *Ibíd.*

4.2.6 Válvula de alivio de presión. Encargada de aliviar la presión del cilindro en caso de sobrepresión.

4.2.7 Transmisor de presión y temperatura. Son los dispositivos encargados de medir la presión y temperatura del fluido o fluido mientras está encendido el probador.

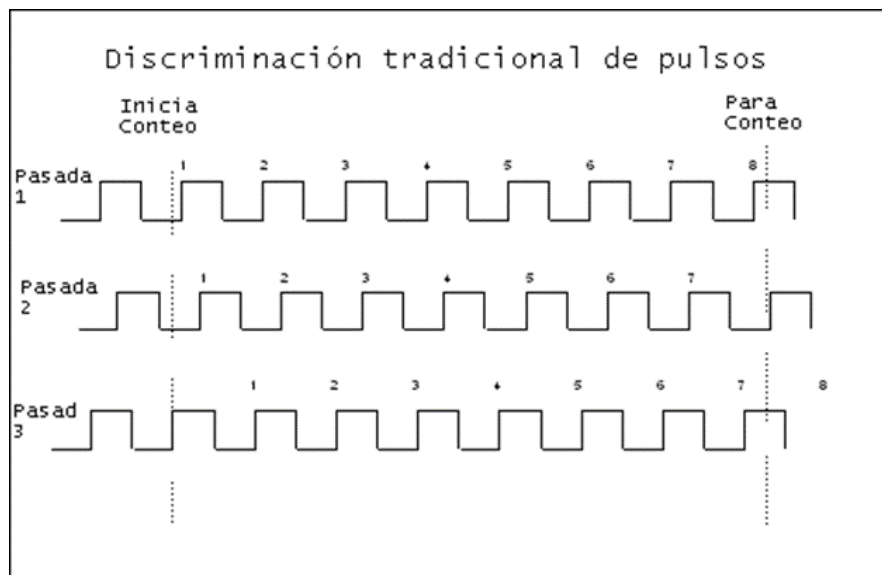
4.2.8 Computador. Es el encargado de procesar tanto las señales del probador como los pulsos emitidos por el medidor de flujo. Recibe la señal de inicio/parada del contador con ayuda de los detectores de pulso, el tren de pulsos del medidor de flujo y las señales de los transmisores de presión y temperatura. Para luego procesarla y mostrar los resultados de los cálculos realizados y enviarlos al cuarto de control o sala de operaciones remota.

A continuación, se describen las dos tareas más representativas del Computador:

- Fuente de energía: es la encargada de proporcionar energía eléctrica al computador.
- Medición de pulsos: Mide los pulsos generados por el medidor de flujo.
- Sistema de interpolación de pulsos: Uno de los principales criterios de diseño para probadores es que el conteo de pulsos del medidor entre los detectores aporte una cifra no mayor al 0.01% de la incertidumbre total del resultado de la calibración (1 pulso en 10000).

- Los métodos de conteo tradicionales discriminan un pulso completo, debido a que el paso por los detectores sucede aleatoriamente durante el tren de pulsos del medidor.
- Con turbinas de baja resolución (helicoidales) ó probadores de pequeño volumen (SVP), no se cumple el requerimiento de generar 10000 pulsos entre detectores.

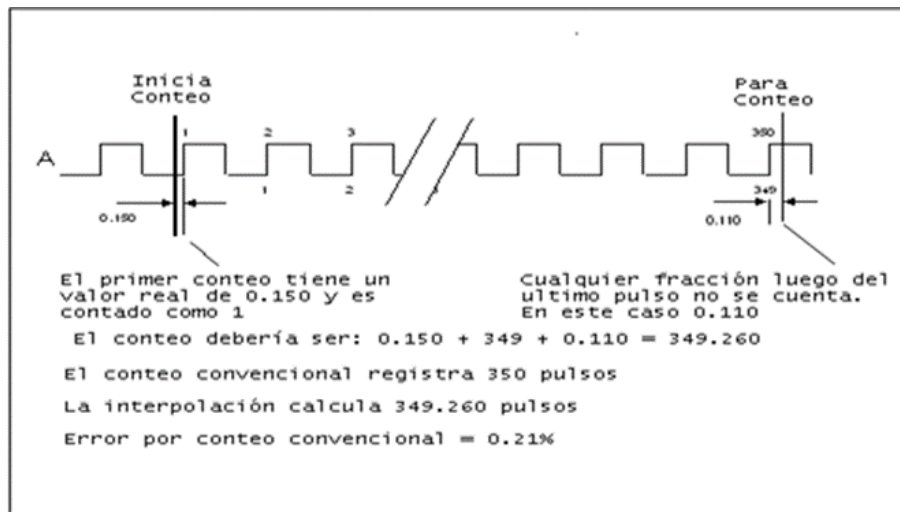
Figura 13. Sistema de interpolación de pulsos.



Fuente: ARIAS, Roberto, et al. Calibración dinámica de un probador bi-direccional. [En línea]. El Marqués, México: Departamento Nacional de Metrología. 9 p. [Consultado el: 25 de febrero de 2019]. Disponible en: <http://www.cenam.mx/fyv/publicaciones/calibraci%C3%B3n%20de%20probadores.pdf>

- Interpolación de Pulsos: Se cuentan los pulsos completos entre los detectores y se calculan las fracciones de pulso al inicio y final del ciclo.

Figura 14. Interpolación de pulsos calculo fracciones inicio y fin.



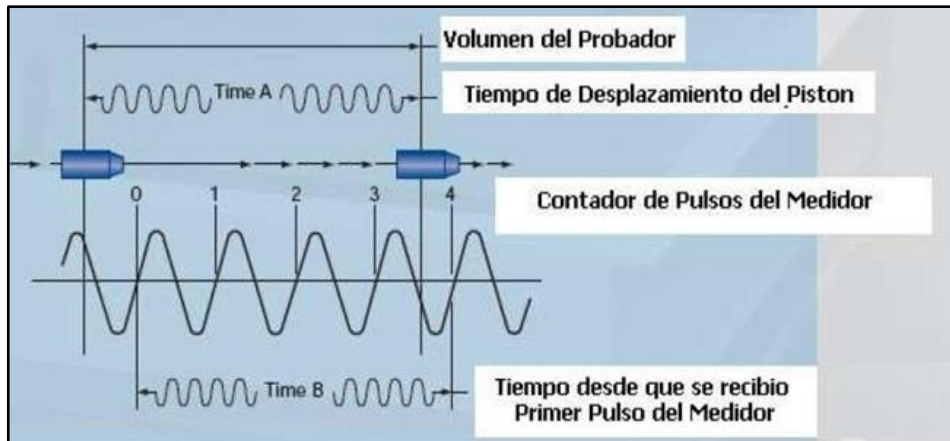
Fuente: ARIAS, Roberto, et al. Calibración dinámica de un probador bi-direccional. [En línea]. El Marqués, México: Departamento Nacional de Metrología. 9 p. [Consultado el: 25 de febrero de 2019]. Disponible en: <http://www.cenam.mx/fyv/publicaciones/calibraci%C3%B3n%20de%20probadores.pdf>

El método más común es Doble Cronometría, este método usa dos temporizadores; uno cronometra el tiempo entre los detectores y el otro el tiempo entre pulsos completos.²⁸

Usualmente estos temporizadores trabajan con un oscilador de 1MHz. Para doble cronometría el tiempo entre detectores y el tiempo entre pulsos, deben ser al menos 20000 veces el período del reloj (clock), es decir, debe haber un conteo mínimo de 20000 pulsos.

²⁸ HONEYWELL INCORPORATED. Honeywell Enraf Small Volume Prover Installation, Operation & Service Manual. Roswell, USA: La compañía, 2016. 136 p.

Figura 15. Método doble Cronometría.



Fuente: ARIAS, Roberto, et al. Calibración dinámica de un probador bi-direccional. [En línea]. El Marqués, México: Departamento Nacional de Metrología. 9 p. [Consultado el: 25 de febrero de 2019]. Disponible en: <http://www.cenam.mx/fyv/publicaciones/calibraci%C3%B3n%20de%20probadores.pdf>

5. IMPLEMENTACIÓN DEL RCM

La Hoja de información y el diagrama de decisión (ver anexo A), es el encargado de relacionar la información recolectada y las tareas de mantenimiento que se aplicarán para reducir la probabilidad o evitar las fallas funcionales.

La decisión tomada es elegida a través de una estructura lógica que se ajusta a las Normas SAE que se mencionan a continuación:

5.1 JA1011 y SAE JA1012

Antes de tomarse una decisión, se valoran las consecuencias de cada modo de avería para elegir la más adecuada. En el diagrama está formado por grupos de preguntas repartidas por las diferentes columnas:

5.1.1 Columna H, S, E Y O. Clasifican según las consecuencias de cada modo de avería.

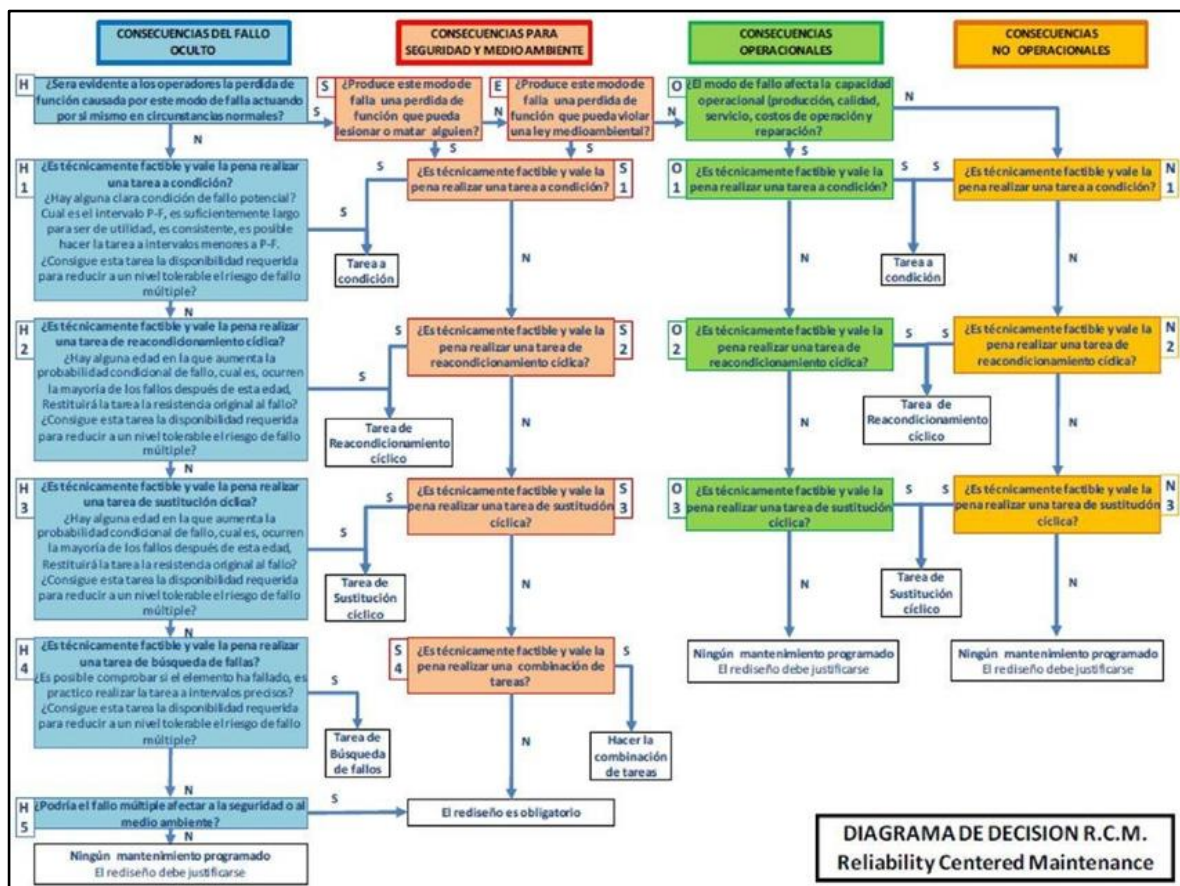
5.1.2 Columnas H1, H2, H3; S1, S2, S3; E1, E2, E3; O1, O2, O3. Tareas preventivas y predictivas.

5.1.3 Columnas H4, H5 y S4. Registran las tareas “a falta de”.

La Hoja de información (ver Anexo A) es la encargada de recoger las funciones, fallas funcionales, modos de avería y efectos de las averías.

La Hoja de Decisión (ver Anexo B) es la encargada de la evaluación de las consecuencias.

Figura 16. Árbol de toma de decisiones RCM.



Fuente: MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. Edición en español. Leicester: Aladon Ltd, 2004. 446 pp. ISBN 09539603-2-3.

6. CONCLUSIONES

Mediante la implementación del análisis RCM II se generó el programa de mantenimiento del probador compacto, obedeciendo a las consideraciones de seguridad y operación, para mayor vida útil del activo fijo.

Con base al análisis de falla que se realizó al probador compacto FQM - 5314, se determinó que el componente que presenta mayor número de fallas funcionales es el actuador mecánico.

El plan de mantenimiento propuesto se desarrolla con base a la orientación de la metodología RCM, en la cual se prioriza los recursos requeridos mediante la asignación de una escala basada en el número prioritario de riesgo para cada actividad de mantenimiento propuesta.

Con el desarrollo de la monografía se concluye que el mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) es una estrategia óptima para el probador compacto FQM-5314, ya que en la actualidad, no cuenta con una estrategia de mantenimiento soportada por un estudio previo.

Se determinó que los repuestos críticos del probador compacto son los kits de empaquetaduras y sellos del conjunto cilindro pistón, el kit de reparación del actuador mecánico

BIBLIOGRAFÍA

ABRIL BLANCO, Henry y NARANJO, Omar. Metrología de Flujo de Petróleo en Brasil. [En línea]. En: Met&Flu. Enero – junio, 2010, no. 3, pp. 36 - 41. ISSN: 2145-5716 [Consultado el: 20 de febrero de 2019]. Disponible en: https://www.cdtdegas.com/images/Descargas/Nuestra_revista/MetFlu3/metflu_No3-5.pdf

AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. Manual of Petroleum Measurement Standards. Chapter 4 - Proving Systems. [En línea]. Whashington D.C.: El Instituto, 2005. 20 p. [Consultado el: 10 de enero de 2019]. Disponible en: http://ballots.api.org/copm/colm/ballots/docs/04_6w_er_e2_Reaf.pdf

ARIAS, Roberto, et al. Calibración dinámica de un probador bi-direccional. [En línea]. El Marqués, México: Departamento Nacional de Metrología. 9 p. [Consultado el: 25 de febrero de 2019]. Disponible en: <http://www.cenam.mx/fyv/publicaciones/calibraci%C3%B3n%20de%20probadores.pdf>

BARREDA BELTRÁN, Salvador. Plan de mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) en la Edar de Nules-Vilavella. [En línea]. Trabajo de grado Ingeniero Mecánico. Castellón de la Plana, España: Universitat Jaume I. 2015. 174 p. [Consultado el: 12 de febrero de 2019]. Disponible en: http://repositori.uji.es/xmlui/bitstream/handle/10234/128127/TFG_2015_BarredaBeltranS.pdf?sequence=1

ECOPETROL S.A. Descripción de ubicaciones y procesos. Bogotá D.C.: La Compañía. 96 p.

_____. Estándar de Ingeniería para la medición Dinámica de Cantidad y Calidad de Hidrocarburos Líquidos. Bogotá D.C.: La Compañía. 70 p.

ELIZALDE MEDRANO, Adrián; ROJAS RAMÍREZ, Jorge y TEJEIDA PADILLA, Ricardo. Medición Sistémica del Desempeño en el Transporte de Carga con GPS. [En línea]. En: Conciencia Tecnológica. Enero – junio, 2013, no. 45, pp. 24 - 30. [Consultado el: 28 de enero de 2019]. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=94427876009>

GOOGLE LLC. Búsqueda en línea: Planta Galán Refinería de Barrancabermeja. [En línea]. [Consultado el: 30 marzo de 2018]. Disponible en: <https://www.google.com/maps/place/Planta+Galan+Ecp/@7.0755802,-73.8843223,2087m/>

HONEYWELL INCORPORATED. Honeywell Enraf Small Volume Prover Installation, Operation & Service Manual. Roswell, USA: La compañía, 2016. 136 p.

MONTILLA, Carlos; ARROYAVE, Juan Felipe y SILVA, Carlos Eduardo. Caso de aplicación centrado en la confiabilidad RCM, previa existencia de mantenimiento preventivo. [En línea]. En: Scientia Et Technica, diciembre, 2007, vol. 13, núm. 37, pp. 273 - 278. ISSN: 0122-1701. [Consultado el: 26 de marzo de 2019]. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84903746>

MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. Edición en español. Leicester: Aladon Ltd, 2004. 446 pp. ISBN 09539603-2-3.

SALGUERO MANOSALVAS, Milton. Diseño e implementación de un sistema de mantenimiento estratégico aplicando las filosofías RCM y FMEA a las máquinas y herramientas de la empresa Weatherford South America Inc, Base1, Francisco de Orellana. [En línea]. Trabajo de grado Ingeniero Mecánico. Sangolquí, Ecuador: Escuela Politécnica del Ejército. 2010. 121 p. [Consultado el: 18 de febrero de 2019]. Disponible en: <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/2418>

SOLANO DE LA TORRE, Filomeno. Propuesta de mejora para disminuir los niveles de pérdida en el despacho de gas licuado de petróleo en la estación de bombeo y al macenamiento de gas licuado de petróleo (GLP) El Chorrillo. [En línea]. Trabajo de grado Ingeniero Industrial. Guayaquil, Ecuador: Universidad de Guayaquil, Departamento Académico de Titulación, Facultad de Ingeniería Industrial. 2018. 106 p. [Consultado el: 15 de febrero de 2019]. Disponible en: <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/28349>

ANEXOS

Anexo A. Hoja de información RCM.

HOJA DE INFORMACION RCM II		ELEMENTO: Probador Compacto	Nº	Realizado por: Alexander Riscanevo Piedrahita	Fecha: 01/04/2019
		COMPONENTE:	Ref:	Revisado por: Andrea del Pilar Gonzalez Rodriguez	Fecha: 01/04/2019
FUNCION		FALLA FUNCIONAL		MODO DE FALLA	
1	Posicionar el pistón en el inicio de lectura (toma de proceso donde ingresa el fluido) del probador.	A	Incapacidad para posicionar el pistón	1	Rodamientos en mal estado
				2	Fatiga placas de eslabón de la cadena
				3	Abrasión entre pernos de cada eslabón y sus bujes
				4	Polea en mal estado
				5	Acople en mal estado
				6	Eje y polea desalineado
				7	Empaquetadura o sellos en mal estado
				8	Motor eléctrico en mal estado
2	Enviar señal de inicio o finalización del contador	A	switch de posición no envía señal de inicio o pare	1	Sensor óptico defectuoso o en mal estado
		B	Switch de posición no envía la señal correcta	2	Cable de comunicación en mal estado
3	Aliviar presión del cilindro cuando sobrepase el límite permitido de presión	A	Sobre presión en el Cilindro	1	Sensor óptico desalineado
4	Proporcionar energía eléctrica regulada al probador	A	Pérdida de potencia eléctrica actuador mecánico	1	Válvula no calibrada
				2	Fuente de poder en cortocircuito o en mal estado
5	Contener el fluido en el cilindro	A	Pérdida de la capacidad de contención	1	Cable de potencia eléctrica en mal estado
				2	Cilindro en mal estado, presenta fuga
6	Mantener la hermeticidad del cilindro y el pistón	A	Perdida de la hermeticidad	2	Perdida del sello entre el cilindro y el eje
7	Mantener la hermeticidad dela válvula poppet y el pistón.	A	Perdida de la hermeticidad	1	Empaquetadura del pistón en mal estado
8	Procesar y controlar todas señales de instrumentación	A	Procesamiento incorrecto de las señales	1	Empaquetadura de la válvula poppet en mal estado
				2	Borneras de la caja de conexiones del computador en mal estado
				3	Cable de potencia eléctrica en mal estado
9	Transmitir potencia mecánica	A	Pérdida de potencia	1	Cables de comunicación en mal estado
				2	Nivel bajo del reservorio de lubricante
10	Fijar la estructura del probador al base de concreto	A	Pérdida de anclaje o sujeción	1	Fatiga mecánica
				2	Pernos de sujeción en mal estado
				2	Pernos de sujeción de sueltos o desajustados.

Anexo B. Hojas de decisión RCM II.

HOJA DE DECISION RCM II																
ELEMENTO: PROBADOR COMPACTO										REALIZADO POR: Alexander Riscanevo Piedrahita				FECHA REALIZACION: 31/03/2019		
COMPONENTE:										REVISADO POR: Andrea del Pilar Gonzalez Rodriguez						
REFERENCIA INFORMACION			EVALUACION CONSECUENCIAS				H1 S1 O1	H2 S2 O2	H3 S3 O3	TAREAS A FALLA				TAREA PROPUESTA	FRECUENCIA INICIAL	REALIZA LA TAREA
F	FF	MF	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	S5				
1	A	1	S	N	N	S	N	N	S				Cambio de rodamientos del actuador mecánico	Anual	Técnico mecánico	
1	A	2	S	N	N	S	S						Revisar el estado de la cadena, de ser necesario realizar cambio.	Semestral	Técnico mecánico	
1	A	3	S	N	N	S	N	S					Lubricación de la Cadena	Semestral	Técnico mecánico	
1	A	4	S	N	N	S	S						Revisar el estado de la polea, de ser necesario realizar cambio.	Semestral	Técnico mecánico	
1	A	5	S	N	N	S	S						Revisar el estado del eje, de ser necesario realizar cambio.	Semestral	Técnico mecánico	
1	A	6	S	N	N	S	N	S					Realizar alineación de la polea y el eje	Anual	Técnico mecánico	
1	A	7	S	N	S	N	N	N	S				Realizar cambio de la empaquetadura del pistón	Anual	Técnico mecánico	
1	A	8	S	N	N	S	S						Inspeccionar estado físico del Motor	Anual	Técnico mecánico	
2	A	1	S	N	N	S	S						Revisar el estado del sensor óptico, de ser necesario realizar el cambio.	Semestral	Técnico de instrumentación	
2	A	2	S	N	N	S	S						Revisar el estado físico del cable de comunicaciones, de ser necesario cambiarlo.	Semestral	Técnico de instrumentación	
2	B	1	S	N	N	S	S						Revisar la alineación del sensor óptico, alinear de ser necesario.	Semestral	Técnico de instrumentación	
3	A	1	S	S	N	N	S						Revisar el indicador de presión del cilindro	Diaria	Técnico de instrumentación	
4	A	1	S	S	N	N	S						Revisar el estado físico de la fuente de energía	Anual	Técnico electricista	
4	A	2	S	N	N	S	S						Revisar el estado físico de los cables de potencia	Semestral	Técnico electricista	
5	A	1	S	N	S	N	S						Revisar el interior del cilindro con un <u>boroscopio</u> .	Anual	Técnico mecánico	
5	A	2	S	N	S	N	N	N	S				Realizar cambio de empaquetadura sello eje-cilindro	Anual	Técnico mecánico	
6	A	1	S	N	N	S	N	N	S				Realizar cambio de empaquetadura del pistón	Anual	Técnico mecánico	
7	A	1	S	N	N	S	N	N	S				Realizar cambio de empaquetadura de la válvula <u>poppet</u> .	Anual	Técnico mecánico	
8	A	1	S	N	N	S	S						Realizar limpieza y ajuste caja de conexionado señales	Semestral	Técnico de instrumentación	
8	A	2	S	N	N	S	S						Revisar el estado físico de los cables de potencia	Semestral	Técnico electricista	
8	A	3	S	N	N	S	S						Revisar el estado físico del cable de comunicaciones, de ser necesario cambiarlo.	Semestral	Técnico de instrumentación	
9	A	1	S	N	N	S	S						Revisar el nivel de aceite lubricante del reservorio de la caja reductora.	Mensual	Técnico mecánico	
9	A	2	S	N	N	S	S						Inspección visual y auditiva de la caja reductora	Diaria	Técnico mecánico	
10	A	1	S	N	N	S	S						Revisar estado físico de los pernos de sujeción	Diaria	Técnico mecánico	
10	A	2	S	N	N	S	N	S					Ajustar los pernos de sujeción	Semestral	Técnico mecánico	