

INTEGRACIÓN DE ESTRATEGIAS, TÉCNICAS Y HERRAMIENTAS DE
CONFIABILIDAD BAJO EL ENFOQUE DE GESTIÓN POR PROCESOS

DANNY CARDONA CUELLAR

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

2014

INTEGRACIÓN DE ESTRATEGIAS, TÉCNICAS Y HERRAMIENTAS DE
CONFIABILIDAD BAJO EL ENFOQUE DE GESTIÓN POR PROCESOS

DANNY CARDONA CUELLAR

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

Director: JUAN DAVID LESMES GÓMEZ

Especialista en Gerencia de Mantenimiento

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICO-MECÁNICAS

ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO

BUCARAMANGA

2014

AGRADECIMIENTOS

Mi más especial agradecimiento a mi madre Gladys Cuéllar, por su apoyo incondicional para el desarrollo de esta especialización. Igualmente a mi esposa María Isabel y a mis hijas, por su comprensión frente a las dificultades presentadas durante el tiempo empleado para alcanzar este logro.

De igual forma agradezco a mi amigo Jefferth Valencia por su apoyo, gestión y confianza durante el desarrollo de la especialización, así como a todas las personas que de una u otra forma aportaron para el desarrollo de este documento.

Danny Cardona Cuéllar

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	15
1. CONTEXTUALIZACIÓN	16
1.1 CONFIABILIDAD	17
1.2 DISPONIBILIDAD	17
1.3 MANTENIBILIDAD	17
1.4 CONFIABILIDAD OPERACIONAL	18
1.5 PILARES DE LA CONFIABILIDAD	19
1.6 ENTORNOS DE GESTIÓN	20
1.7 GESTIÓN POR PROCESOS	21
1.7.1. MAPA DE PROCESOS	21
1.7.2. CARACTERIZACIÓN DE PROCESOS	22
2. ESTRATEGIAS, TÉCNICAS Y HERRAMIENTAS DE MANTENIMIENTO Y CONFIABILIDAD	23
2.1 ANALISIS DE CAUSA RAIZ (RCA)	25
2.2 REPORTE DE FALLA (RF)	26
2.3 ANALISIS DE FALLAS	27
2.4 ELIMINACION DE MALOS ACTORES	28
2.5 MANTENIMIENTO BASADO EN LA CONDICION (CBM)	28
2.6 CUIDADO BASICO DE EQUIPOS	29
2.7 ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD / CONTROL DE LA CALIDAD (QA/QC)	29

2.8	ANÁLISIS DE MODOS, FALLAS Y EFECTOS (FMEA)	29
2.9	MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM)	31
2.10	OPTIMIZACIÓN DEL MANTENIMIENTO PLANEADO (PMO)	32
2.11	INSPECCIÓN BASADA EN EL RIESGO (RBI)	33
2.12	ANÁLISIS DE DATOS DE VIDA DE COMPONENTES Y SISTEMAS	35
2.13	DIAGRAMAS DE BLOQUES DE CONFIABILIDAD	36
2.14	ANÁLISIS DE CONSECUENCIAS Y CRITICIDAD	38
2.15	ANÁLISIS DE PELIGROS OPERACIONALES (HAZOP)	38
2.16	ANÁLISIS DE RIESGOS Y PUNTOS CRÍTICOS DE CONTROL (HACCP)	40
2.17	ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLAS HUMANAS (HFMEA)	41
2.18	DIVULGACION DE LECCIONES APRENDIDAS	42
2.19	OBSERVACION DE TAREAS	43
2.20	BENCHMARKING	44
2.21	MATRIZ DE LA EXCELENCIA	45
2.22	PAM / SAM	46
2.23	COSTO DEL CICLO DE VIDA (LCC)	47
2.24	INDICADORES TÉCNICO – FINANCIEROS	49
2.24.1	INDICADORES DE RENTABILIDAD	49
2.24.2	INDICADORES TÉCNICOS DE CONFIABILIDAD	50
3	PROCESO DE CONFIABILIDAD	51
3.1	DEFINICIÓN DE PROCESOS DE CONFIABILIDAD	51
3.2	PROCESOS DE CONFIABILIDAD EN EL MAPA DE PROCESOS	54

4	PROPUESTA DE INTEGRACIÓN DE PROCESOS DE CONFIABILIDAD	58
4.1	PROCESO DE CONFIABILIDAD DE ACTIVOS INDUSTRIALES	
	[NIVEL 1].	58
4.2	PROCESOS INTEGRADOS DE CONFIABILIDAD [NIVEL 2].	59
4.2.1	ANÁLISIS DEL PROCESO PRODUCTIVO.	59
4.2.2	CONFIABILIDAD HUMANA.	60
4.2.3	OPTIMIZACIÓN DE PLANES DE MANTENIMIENTO E INSPECCIÓN.	60
4.2.4	ANÁLISIS DE CONDICIÓN DE EQUIPOS.	61
4.2.5	MODELAMIENTO DE SISTEMAS.	62
4.2.6	MEDICIÓN DE INDICADORES DE CONFIABILIDAD.	62
4.2.7	EVALUACIÓN FINANCIERA DE ACTIVOS.	63
4.2.8	AUDITORÍA DEL PROCESO DE MANTENIMIENTO.	64
4.2.9	ELIMINACIÓN DE DEFECTOS.	64
5	CARACTERIZACIÓN DE PROCESOS DE CONFIABILIDAD NIVEL 2	66
5.1	CARACTERIZACIÓN ANÁLISIS DEL PROCESO PRODUCTIVO	66
5.2	CARACTERIZACIÓN CONFIABILIDAD HUMANA	67
5.3	CARACTERIZACIÓN OPTIMIZACIÓN DE PLANES DE MANTENIMIENTO E INSPECCIÓN	68
5.4	CARACTERIZACIÓN ANÁLISIS DE CONDICIÓN DE EQUIPOS	69
5.5	CARACTERIZACIÓN MODELAMIENTO DE SISTEMAS	70
5.6	CARACTERIZACIÓN MEDICIÓN DE INDICADORES DE CONFIABILIDAD	71
5.7	CARACTERIZACIÓN EVALUACIÓN FINANCIERA DE ACTIVO	72
5.8	CARACTERIZACIÓN AUDITORIA DEL PROCESO DE MANTENIMIENTO	73
5.9	CARACTERIZACIÓN PROCESO ELIMINACIÓN DE DEFECTOS	74

6	CONCLUSIONES	75
7	RECOMENDACIONES	76
	BIBLIOGRAFÍA	77

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Enfoque de la confiabilidad operacional	18
Figura 2. áreas o pilares del conocimiento de la smrp.....	20
Figura 3. Marco de referencia propuesto para la confiabilidad de sistemas	23
Figura 4. Estrategias, técnicas y herramientas de confiabilidad	24
Figura 5. Representación gráfica de un árbol lógico de falla	26
Figura 6. Plantilla para registro de un FMEA	30
Figura 7. Esquema de implementación de RBI para activos	34
Figura 8. Estructura bloques de confiabilidad y gráfico de disponibilidad media ...	37
Figura 9. Esquema proceso HACCP	41
Figura 10. Costos en el ciclo de vida de activos industriales	49
Figura 11. Procesos de confiabilidad de sistemas.	51
Figura 12. Ejemplo básico de un mapa de procesos	54
Figura 13. Estructura de procesos por niveles.....	55
Figura 14. Gestión de activos industriales basado en el ciclo de vida de activos ..	57
Figura 15. Propuesta de integración de procesos de confiabilidad.....	58
Figura 16. Mapa procesos análisis del proceso productivo [nivel 2]	59
Figura 17. Mapa procesos confiabilidad humana [nivel 2]	60
Figura 18. Mapa procesos optimización de planes de mantenimiento[nivel 2]	61
Figura 19. Mapa procesos análisis de condición de equipos [nivel 2].....	61
Figura 20. Mapa procesos modelamiento de sistemas [nivel 2].....	62
Figura 21. Mapa procesos medición de indicadores de confiabilidad [nivel 2].....	63
Figura 22. Mapa procesos evaluación financiera de activos [nivel 2]	63
Figura 23. Mapa procesos auditoría del proceso de mantenimiento [nivel 2]	64
Figura 24. Mapa procesos eliminación de defectos [nivel 2].....	65
Figura 25. Caracterización análisis del proceso productivo	66
Figura 26. Caracterización confiabilidad humana	67

Figura 27. Caracterización optimización de planes de mantenimiento e inspección	68
Figura 28. caracterización análisis de condición de equipos	69
Figura 29. caracterización modelamiento de sistemas	70
Figura 30. caracterización medición de indicadores de confiabilidad	71
Figura 31. caracterización evaluación financiera de activos	72
Figura 32. caracterización auditoría del proceso de mantenimiento	73
Figura 33. caracterización eliminación de defectos	74

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 AGRUPACIÓN DE PROCESOS DE CONFIABILIDAD	52
---	----

RESUMEN

TÍTULO: INTEGRACIÓN DE ESTRATEGIAS, TÉCNICAS Y HERRAMIENTAS DE CONFIABILIDAD BAJO EL ENFOQUE DE GESTIÓN POR PROCESOS*

AUTORES: DANNY CARDONA CUELLAR**

PALABRAS CLAVES: Confiabilidad, Sistema, Mapa de Procesos, Caracterización de Proceso. Gestión por procesos, Confiabilidad Operacional, Pilares SMRP, Filosofía, Técnica, Herramienta,

DESCRIPCION: La finalidad de este documento es evidenciar la capacidad de adaptación y flexibilidad de las diferentes filosofías, técnicas y herramientas de confiabilidad, al realizar una combinación de procesos estructurados bajo las pautas de gestión por procesos, dentro de un marco de referencia compuesto por los pilares de confiabilidad la society for maintenance and reliability professionals (SMRP) y el enfoque de la confiabilidad operacional.

Los conceptos aquí presentados fueron recolectados a través del estudio del estado de implementación por diferentes industrias, siempre que estuvieran dentro del marco de referencia anteriormente citado, dando cobertura a diferentes aspectos de la ingeniería de mantenimiento y confiabilidad. Dichos conceptos fueron agrupados posteriormente e integrados en un mapa de procesos de confiabilidad orientado a soportar técnicamente las acciones de mantenimiento.

El resultado es un proceso estructurado lógicamente bajo los criterios de planear, hacer, verificar y actuar del ciclo Deming, conteniendo en cada una de sus etapas los diferentes procesos aquí estructurados y enfocados en analizar las condiciones de proceso, la confiabilidad humana, la optimización de planes de mantenimiento e inspección, el análisis del estado de equipos, el modelamiento de sistemas, el análisis de indicadores financieros y de confiabilidad, la auditoria de los sistemas y la eliminación de defectos. Con este ejercicio se muestra la capacidad de combinar lógicamente procesos de confiabilidad, así como permite tener una ruta a seguir para iniciar un modelo de implementación.

*Monografía

** Facultad de ingenierías Físico-Mecánicas. Especialización en Gerencia de Mantenimiento.
Director: Juan David Lesmes Gómez. Especialista en Gerencia de Mantenimiento.

SUMMARY

TÍTULO: INTEGRATION OF STRATEGIES, TECHNIQUES AND TOOLS OF RELIABILITY UNDER PROCESS MANAGEMENT APPROACH*

AUTHOR: DANNY CARDINA CUELLAR**

KEY WORDS: Reliability, System, Process Map, Process Characterization. Process Management, Operational Reliability, Pillars SMRP, Philosophy, Technique, Tool,

DESCRIPTION: The purpose of this document is to show the adaptability and flexibility of different philosophies, techniques and tools for reliability by performing a combination of structured processes under the guidelines process management within a framework composed of the pillars of the society reliability for maintenance and reliability professionals (SMRP) and the focus of operational reliability.

The concepts presented here were collected through study of the status of implementation for different industries, provided they were within the framework mentioned above, covering different aspects of engineering maintenance and reliability. These concepts were grouped into reliability processes subsequently integrated into a process map technically oriented support maintenance actions.

The result is a logically structured under the criteria of plan, do, check and act the Deming cycle, containing process in each of the different process stages here analyze structured and focused on the process conditions, human reliability, optimizing maintenance and inspection plans, analyzing the state of equipment, systems modeling, analysis of financial and reliability indicators, systems auditing and eliminating defects. With this exercise the ability to logically combine reliability processes shown and allows a path to follow to start a deployment model.

* Monograph

** School of Mechanical Engineering. Maintenance Management Specialization

Director: Juan David Lesmes Gómez. Maintenance Management Specialist.

INTRODUCCIÓN

El reto de las organizaciones por optimizar la eficiencia y eficacia en la producción de bienes y la prestación servicios, el mejoramiento de la calidad y la integridad de personas y su medio ambiente, ha generado la aparición de decenas de conceptos y técnicas de mantenimiento y confiabilidad, por lo que las organizaciones que han querido proyectarse como “clase mundo” han dejado de ver a la función mantenimiento como un gasto necesario, y han pasado a vislumbrarla como una inversión, apropiando muchos de estos conceptos, con los que ya se han evidenciado numerosos éxitos en algunas industrias.

Este proyecto va orientado a recopilar diferentes estrategias, técnicas y herramientas de confiabilidad con las que es posible realizar diagnósticos, análisis y optimización de sistemas, e integrarlas bajo el esquema de gestión por procesos, resaltando que el objetivo es lograr una integración de procesos de confiabilidad a pesar de que cada organización es un universo diferente con características y entornos particulares.

El desarrollo de este trabajo inicia con la relación de los conceptos de mantenimiento y confiabilidad que según el contexto de su uso, diferentes autores las han definido como filosofías, técnicas o herramientas, los cuales para efecto de este estudio han sido considerados como procesos de transformación de entradas en salidas. Posteriormente se realiza la agrupación de estos en procesos de confiabilidad definidos según el área de conocimiento que aborden y finalmente se define una propuesta de integración de procesos de confiabilidad.

Considerando que actualmente la aplicación de estos conceptos ha sido exclusiva en algunos sectores industriales y que solo hasta ahora se están popularizando en otras industrias, este documento pretende abrir una ventana a esta área del conocimiento y facilitar futuras integraciones en modelos de gestión específicos según los contextos operacionales de cada organización.

1. CONTEXTUALIZACIÓN

Analizando el estado del arte respecto al nivel de implementación de los diferentes conceptos de ingeniería de confiabilidad, se puede observar un claro crecimiento en el número de industrias que poco a poco han adoptado estos conceptos. Todo gracias a los beneficios que se han evidenciado en las industrias pioneras en este campo como la han sido la aeronáutica y la petrolera.

Es importante resaltar que los conceptos de confiabilidad inicialmente aplicados al mantenimiento han sido poco a poco integrados a otros sistemas dentro de las organizaciones como son producción, recursos humanos, compras e inventarios. Esta transición se ha realizado gracias a la gran versatilidad de varias de las técnicas y herramientas de confiabilidad, así como a las necesidades cambiantes de los mercados que impulsan a las organizaciones a tener procesos cada vez más eficientes.

La misma versatilidad que le ha permitido a los conceptos de confiabilidad hacer incursión en otras áreas de las organizaciones, permite realizar diferentes combinaciones en su uso. Es decir, dependiendo del contexto operacional es posible utilizar diferentes técnicas o herramientas de confiabilidad para soportar técnicamente los diferentes procesos de la organización.

Al indagar en diferentes industrias sobre los niveles de implementación de procesos de confiabilidad, se encuentra que el concepto más utilizados es el de confiabilidad operacional, así como se encuentran organizaciones internacionales como la sociedad para profesionales de mantenimiento y confiabilidad (SMRP, por sus siglas en ingles) que dictan lineamientos de estructuración de dichos procesos.

Otra constante que se encuentran en las industrias que han implementado procesos de confiabilidad es la de poseer sistemas integrados de gestión en aras de mantener las exigencias de competitividad de los mercados.

Para el mejor entendimiento de las acciones propuestas en este documento se hace necesaria la aclaración de algunos conceptos importantes.

1.1 CONFIABILIDAD

El concepto de confiabilidad tiene varias definiciones y enfoques, entre las cuales la de mayor aceptación a nivel general es la de “la probabilidad de que un equipo o sistema opere sin falla por un determinado periodo de tiempo, bajo unas condiciones de operación previamente establecidas”.

Este concepto de confiabilidad, sale del entorno mantenimiento, y entra a constituir un factor clave para asegurar la forma correcta de hacer las cosas en otros sistemas como son los procesos productivos, los procesos administrativos, los procesos de recursos humanos y los procesos de almacén y compras.

1.2 DISPONIBILIDAD

La probabilidad de que el equipo funcione satisfactoriamente en el momento que sea requerido después del comienzo de su operación, cuando se usa bajo condiciones estables, donde el tiempo total considerado incluye el tiempo de operación, tiempo activo de reparación, tiempo inactivo, tiempo de mantenimiento preventivo, tiempo administrativo, tiempo de funcionamiento sin producir y tiempo logístico.

1.3 MANTENIBILIDAD

Es la probabilidad de que un elemento, maquina o dispositivo pueda regresar nuevamente a su estado de funcionamiento normal, después de una avería, falla o

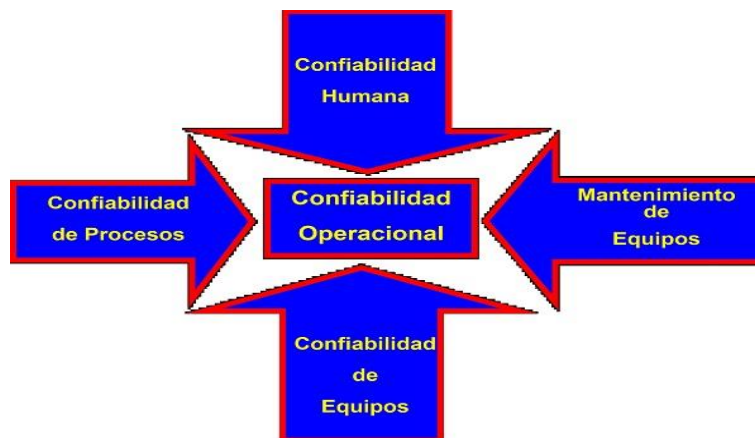
interrupción productiva (funcional o de servicio), mediante una reparación que implica la realización de tareas de mantenimiento para eliminar las causas inmediatas que generan la interrupción.

1.4 CONFIABILIDAD OPERACIONAL

Se define como una serie de procesos de mejora continua, que incorporan en forma sistemática, avanzadas herramientas de diagnóstico, metodologías de análisis y nuevas tecnologías, para optimizar la gestión, planeación, ejecución y control, de la producción industrial.

La Confiabilidad Operacional, es la capacidad de una instalación o sistema (integrado por procesos, tecnología y gente), para cumplir su función dentro de sus límites de diseño y bajo un contexto operacional específico. Es importante puntualizar que en un programa de Confiabilidad Operacional, es necesario el análisis de cuatro factores habilitadores: Confiabilidad humana, confiabilidad de los procesos, confiabilidad de equipos y confiabilidad del diseño enfocada en la mantenibilidad de los equipos.

Figura 1. Enfoque de la confiabilidad operacional



Fuente. The Woodhouse Pamertship Ltd.

1.5 PILARES DE LA CONFIABILIDAD

La SMRP – society for maintenance and reliability professionals (sociedad para profesionales de mantenimiento y confiabilidad) establece cinco pilares o áreas del conocimiento requeridas al momento de establecer un programa de confiabilidad.

Los pilares de la confiabilidad o áreas del conocimiento dictadas por la SMRP se ilustran en la figura 2

- Negocios y administración

Describe las habilidades usadas para trasladar las metas de la organización en metas apropiadas de mantenimiento y confiabilidad que soporten y contribuyan a los resultados del negocio de la organización.

- Administración del personal

Describe los procesos para asegurar que el staff de mantenimiento y confiabilidad es el mejor calificado y mejor asignado para alcanzar las metas de la organización de M&R.

- Administración del trabajo

Esta área está enfocada en las habilidades usadas para obtener la realización de los trabajos de mantenimiento y confiabilidad. Incluye las actividades de planeación, programación, aseguramiento de la calidad de las actividades de mantenimiento, almacén y manejo de inventarios.

- Confiabilidad del proceso de manufactura

Este tema se relaciona con las actividades de mantenimiento y confiabilidad relacionadas con el proceso de fabricación de la organización para asegurarse de que estas actividades efectivamente mejoran el proceso de fabricación.

- Confiabilidad del equipo

Esta área describe dos clases de actividades que aplican a los equipos y procesos y de los cuales el profesional de mantenimiento y confiabilidad es responsable. La primera de esas actividades es usada para evaluar la capacidad actual de los equipos y procesos en términos de confiabilidad, mantenibilidad y criticidad. La segunda son las actividades usadas para seleccionar y aplicar las prácticas de mantenimiento más adecuadas para que los equipos y procesos continúen entregando su capacidad de diseño de la manera más segura y costo efectiva.

Figura 2. Áreas o pilares del conocimiento de la SMRP



Fuente. Society for maintenance and reliability professionals. (SMRP)

1.6 ENTORNOS DE GESTIÓN

Son los diferentes escenarios en los que una organización debe desenvolverse de forma eficiente para satisfacer las necesidades un extenso conjunto de factores que delimitan su marco de actuación.

Los entornos en los cuales las organizaciones de mantenimiento optan por gestionar a raíz de los altos niveles de competitividad a nivel empresarial son los siguientes:

- Gestión de la calidad (ISO 9000)
- Gestión Ambiental (ISO 14000)
- Gestión de la seguridad industrial y salud ocupacional (OSHAS 18000)
- Gestión de la calidad de la información de mantenimiento (ISO 14224)
- Gestión del riesgo (ISO 31000)
- Gestión energética (ISO 50000)
- Gestión de activos (ISO 55000)

1.7 GESTIÓN POR PROCESOS

Es un enfoque organizacional en el cual se generan y agrupan procesos que siguen los objetivos y metas de la organización, los cuales interaccionan entre sí y se fundamentan en las expectativas y necesidades de sus clientes.

En la gestión por procesos se busca estructurar procesos que sean capaces de satisfacer los ciclos de mejoramiento continuo PHVA.

1.7.1. MAPA DE PROCESOS

Herramienta sistémica que permite ver la organización como un todo, examinar todos sus procesos, su desempeño y forma de interacción.

Los mapas de proceso parten de los procesos globales de la organización (denominados macroprocesos) entre los que se encuentran los procesos estratégicos, los procesos claves y los procesos de apoyo, soporte y verificación, los cuales posteriormente se desagregan en niveles inferiores con el fin de identificar claramente los procesos y subprocesos que lo conforman y la forma en que operan.

1.7.2. CARACTERIZACIÓN DE PROCESOS

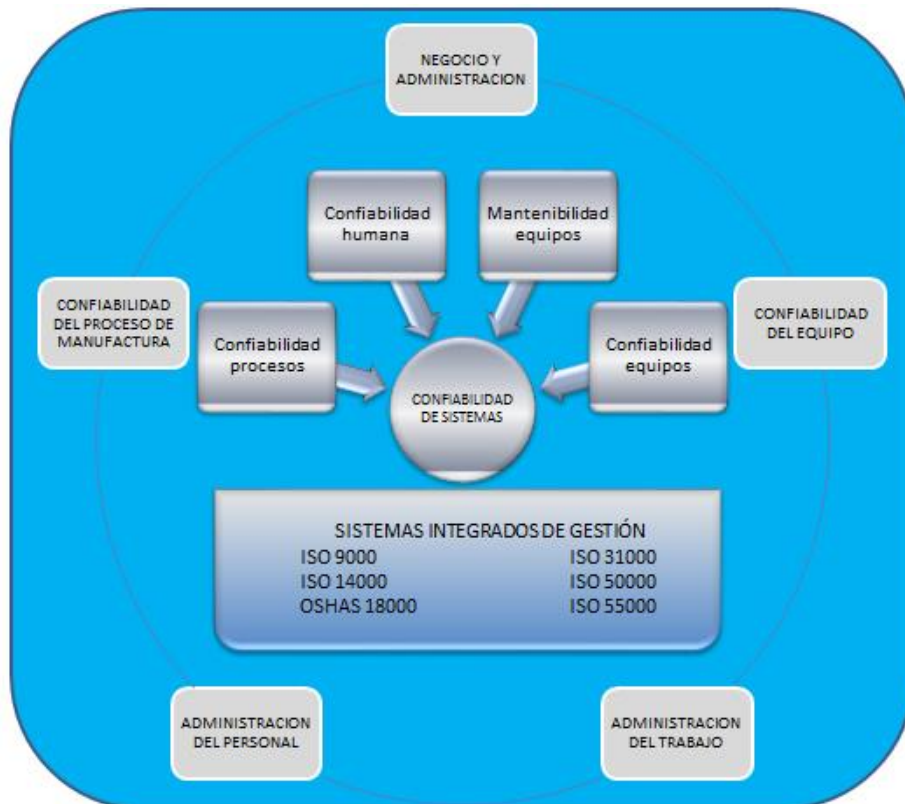
Es la identificación del conjunto de atributos que componen cada proceso en sus diferentes niveles. En la caracterización del proceso se analiza la finalidad, los límites, se establecen las entradas y las salidas, lo cual permite tener una idea global de las actividades incluidas en cada proceso y a la vez comprender de una manera más clara la organización en su conjunto.

2. ESTRATEGIAS, TÉCNICAS Y HERRAMIENTAS DE MANTENIMIENTO Y CONFIABILIDAD

Basado en los pilares de confiabilidad de la SMRP (llamados también áreas del conocimiento de la SMRP), los componentes de la denominada confiabilidad operacional y los sistemas integrados de gestión más usados en las organizaciones de mantenimiento analizadas, se crea un marco de referencia para seleccionar los diferentes conceptos de mantenimiento y confiabilidad (estrategias, técnicas y herramientas) que contribuyan a garantizar el óptimo desempeño de los activos industriales.

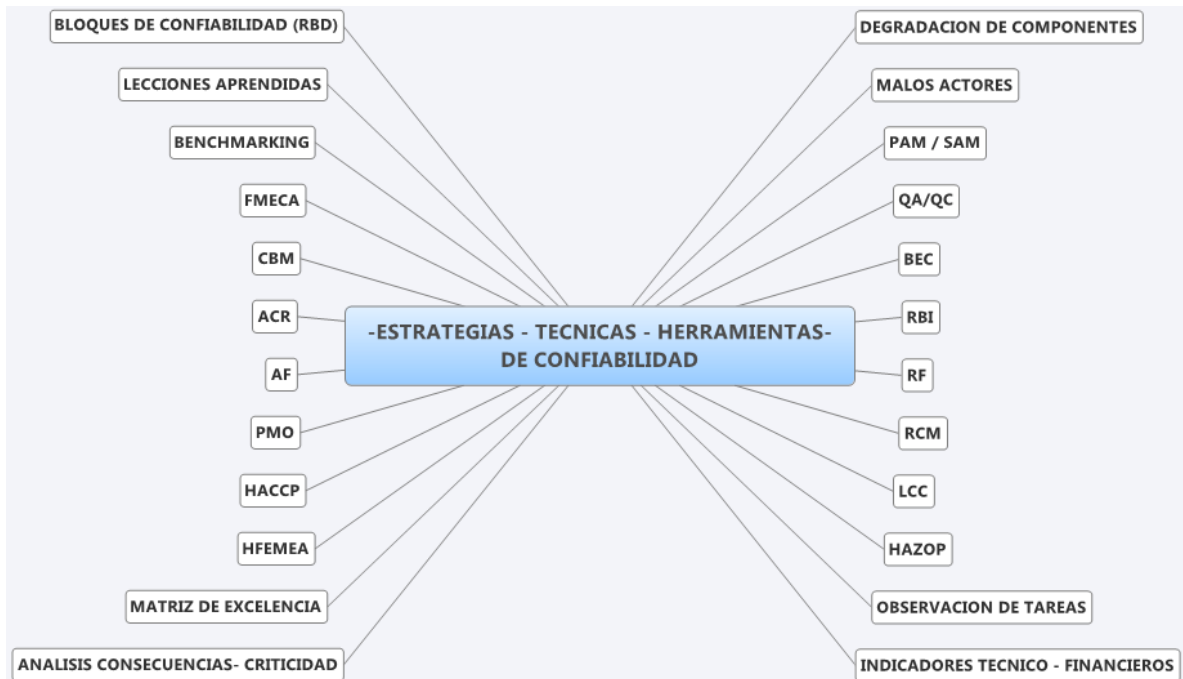
La figura 3 ilustra el marco de referencia propuesto para seleccionar los diferentes conceptos de mantenimiento y confiabilidad

Figura 3. Marco de referencia propuesto para la confiabilidad de sistemas



Posterior al análisis del estado del arte en cuanto a implementación de estrategias, técnicas y herramientas de confiabilidad en diferentes industrias, se obtiene el grupo ilustrado en la siguiente figura.

Figura 4. Estrategias, técnicas y herramientas de confiabilidad



A continuación se da una breve descripción de cada uno de estos conceptos de confiabilidad, tratando de agruparlos según similitud en la función práctica que desempeña cada una de ellas.

Se resalta que más que profundizar en cada una de estos conceptos, el objetivo de esta sección es listar e identificar el rol que puede desempeñar cada uno y tener un criterio básico de sus características con el fin de facilitar la agrupación en procesos de confiabilidad.

2.1 ANALISIS DE CAUSA RAIZ (RCA)

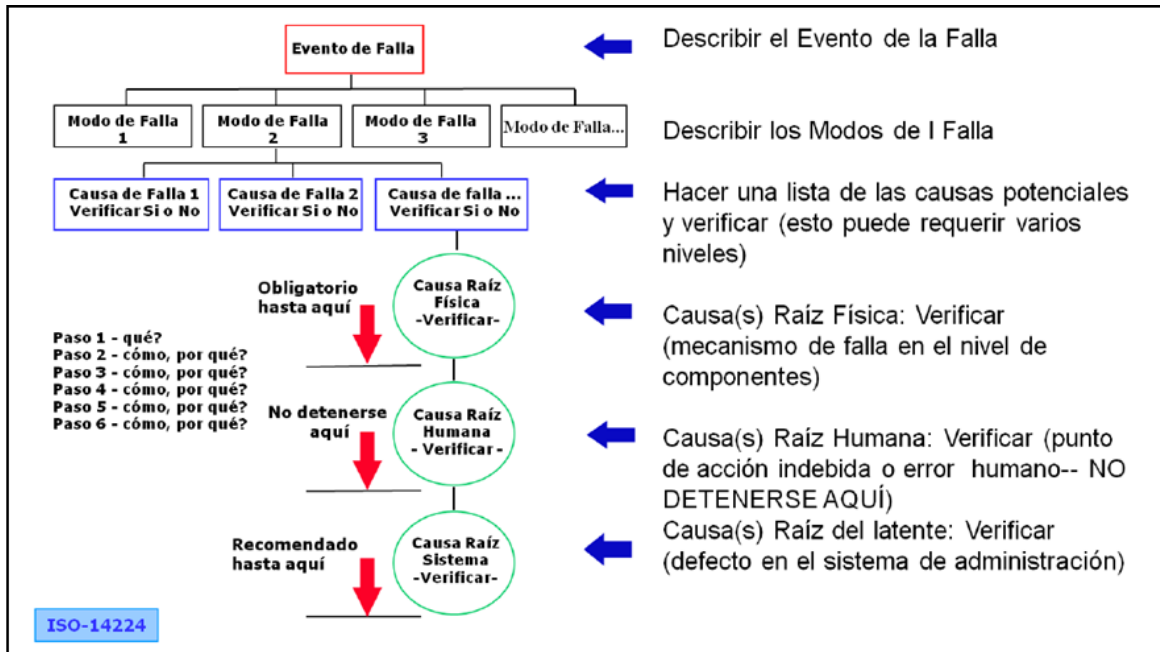
Es una de las metodologías más usadas por diferentes industrias para eliminar defectos. Existen diferentes herramientas para realizar el análisis de fallas, entre ellas el “diagrama de causa - efecto de Ishikawa” y el análisis de “los 5 por qué”, pero la más usada en el ámbito industrial es el análisis de árbol de fallas.

El árbol de fallas en una investigación se utiliza para la identificación de causas básicas o raíces, que de poder evitarlas o en su defecto mitigarlas, puede evitarse toda la cadena de sucesos que conducen a la generación del evento de estudio y sus respectivas consecuencias. Cuando el análisis es referente a un evento de falla, la metodología es considerada como un análisis de causas raíces de falla (RCFA).

Su desarrollo se basa en la representación gráfica de la lógica de la falla mediante la definición de seis pasos definidos que en su desarrollo deben confrontarse contra evidencias para su aprobación como verdad o rechazo definitivo. Los pasos que conforman el árbol de falla son: el evento de falla (objeto de estudio), el modo de falla (como se identifica o manifiesta la falla), hipótesis (una o varias posibilidades de causas de falla las cuales deben validarse), causas físicas (asociadas a aspectos físicos como rotura, fatiga, sobre presión, etc.), Causas humanas (asociadas a aspectos humanos que pueden haber generado falla como son errores de operación o de ensamble de equipos) y causas latentes (asociadas a aspectos organizacionales no asegurados como son la falta de procedimientos, falta de políticas, etc.).

El análisis es realizado por un grupo interdisciplinario y orientado por un facilitador experto en la metodología, con el objetivo de generar un plan de acción costo – efectivo para evitar o mitigar en su defecto las consecuencias del evento estudiado.

Figura 5. Representación gráfica de un árbol lógico de falla



Fuente. Instructivo para el desarrollo de análisis de causa raíz. Ecopetrol

2.2 REPORTE DE FALLA (RF)

Herramienta usada en primera instancia para recopilar toda la información asociada con los eventos generadores de falla entre los que se encuentran:

- Nombre, fecha y hora del evento.
- TAG del equipo o sistema en falla.
- Componentes en falla.
- Evidencias y antecedentes de la falla.
- Descripción de pérdidas asociadas al evento.

Dependiendo del esquema organizacional para la eliminación de defectos, el reporte de falla se utiliza para analizar las fallas de eventos con pérdidas asociadas bajas, generando las recomendaciones necesarias para evitar la recurrencia de eventos.

Cuando la valoración de pérdidas del reporte de falla muestra niveles altos, normalmente se declara como reporte de falla preliminar, sirviendo este de entrada para un análisis más detallado, usando alguna técnica de análisis de causa raíz para identificar las causas básicas.

2.3 ANALISIS DE FALLAS

Procedimiento sistemático para encontrar el ¿cuándo?, ¿dónde?, ¿cómo?, Y ¿por qué? Un componente estructural falló, con el fin de evitar su recurrencia y prevenir fallas en componentes similares¹.

Este procedimiento se apoya en la inspección visual, técnicas de análisis y ensayos de laboratorio, así como de simulaciones en software especializados, con el fin de identificar para un componente estructural las causas probables de falla (fallas mecánicas, micro estructurales, fomentadas por interacción con el medio o fallas de proceso fomentadas por errores humanos)

Las etapas de un análisis de falla son las siguientes:

- Recolección de información y selección de muestras.
- Inspección visual y macrofotografías de la falla.
- Evaluación preliminar de la parte fallada y generación de hipótesis.
- Inspección de componentes fallados por métodos no destructivos (END).
- Pruebas, análisis y ensayos de laboratorio (análisis mecánico, químico, metalográfico y fractográfico)
- Simulación y modelamiento de los mecanismos de daño planteados.
- Análisis de evidencias, verificación de hipótesis y conclusiones.

Regularmente, por el nivel de tecnología empleado para la realización del análisis de fallas, este se solicita de manera externa a laboratorios certificados en la materia y con los que normalmente se manejan convenios.

¹ SERNA, Aníbal. Memorias curso de integridad. Especialización en gerencia de mantenimiento. Bogotá.2013

2.4 ELIMINACION DE MALOS ACTORES

“Mal actor” es un concepto utilizado en ingeniería de mantenimiento y confiabilidad para clasificar bajo ciertos criterios establecidos por la organización, que activos o grupo de activos generan altos impactos negativos en el desempeño del negocio.

Aunque de organización a organización estos criterios pueden cambiar, regularmente se utiliza para la determinación de “malos actores” los siguientes:

- Lucro cesante en producción debido a fallas en equipos o pérdida de eficiencia.
- Altos costos de mantenimiento debido a reiteración de fallas en equipos, consumiendo recursos como repuestos y mano de obra especializada.

Posterior a la evaluación de “malos actores”, la cual se debe realizar en periodos de tiempo que permitan llevar la estadística de los indicadores claves para su determinación (costos mantenimiento por periodo, MTBF, MTTR, Disponibilidad, etc.), se establece un plan de acción para su eliminación o mitigación según el origen de sus causas, las cuales se determinan mediante las diferentes metodologías existentes en esta materia.

2.5 MANTENIMIENTO BASADO EN LA CONDICION (CBM)

Estrategia de mantenimiento con la cual a través del continuo seguimiento a diversas variables como son la temperatura, vibración, corrientes, espesores, entre otros, y comparándolas con patrones definidos ya sea contra normas específicas o los patrones normales de comportamiento ya definidos en su contexto operacional, se establece el momento adecuado de intervención del equipo para eliminar el defecto identificado y recuperar la capacidad de funcionamiento del mismo.

2.6 CUIDADO BASICO DE EQUIPOS

Hace referencia al seguimiento de las variables operacionales básicas de funcionamiento de los equipos y sistemas por parte del operador del equipo, su atención inmediata en términos de ajuste, limpieza y lubricación, así como su oportuno reporte en caso de manifestarse defectos fuera de su alcance operativo.

2.7 ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD / CONTROL DE LA CALIDAD (QA/QC)

Son el conjunto de procesos para medir y asegurar la calidad de un producto como medio de prevención de errores o defectos desde el punto de vista del aseguramiento y procesos enfocados al cumplimiento de las expectativas de los usuarios o consumidores desde el punto de vista del control de la calidad.

Es así como QA / QC se enfoca en la prevención de errores y defectos por un lado y a la identificación de defectos en el producto o servicio total.

El enfoque de control de la calidad se centra en tres aspectos:

- Elementos de control, administración del trabajo y buenas prácticas.
- Evaluación de competencias, conocimiento, habilidades y experiencia.
- Integridad y cultura organizacional, motivación y espíritu de equipo.

En mantenimiento, el proceso de QA / QC adopta desde la evaluación y control de proveedores, validación de las buenas practicas, verificación y control metrológico, identificación de defectos de manufactura e integridad, trazabilidad de repuestos y reparaciones, hasta la capacitación y motivación del personal ejecutor.

2.8 ANALISIS DE MODOS, FALLAS Y EFECTOS (FMEA)

Es una técnica analítica para identificar y analizar el nivel de influencia en el negocio de los potenciales modos de falla de un producto (proyecto, procesos y sistemas) o servicio, cuyos efectos deban ser considerados, eliminados o minimizados.

En esta técnica se consideran tres índices para identificar el nivel de influencia de la ocurrencia de cada modo de falla (probabilidad de ocurrencia de falla, nivel de severidad y posibilidad de detección), los cuales se computan en un tercer factor determinado número de prioridad de riesgo (NPR), siendo usado este último para jerarquizar cada uno de los modos de falla y así mismo dar prioridad a los mecanismos de seguimiento y control para cada uno de ellos.

Esta técnica la cual es muy utilizada a nivel de desarrollo de productos, es utilizada también para el diseño de planes de mantenimiento de equipos y la mitigación de fallas en procesos productivos, siendo usada para este fin como técnica individual o integrada en algunas técnicas más complejas como lo es el RCM (mantenimiento centrado en la confiabilidad).

El uso de esta técnica es tan versátil que incluso se tiene una variante para evaluar y desarrollar de planes de acción para la eliminación o mitigación de errores humanos en procesos productivos.

La plantilla general para el desarrollo de un FMEA se ilustra en la siguiente figura.

Figura 6. Plantilla para registro de un FMEA

ANALISIS FUNCIONAL				ANALISIS MODAL DE EFECTOS			VALORACION				ACCIONES	
COMPONENTE	PARTE	FUNCION	FALLA FUNCIONAL	MODOS DE FALLA	CAUSA	EFECTO	D	O	S	NPR	CONTROLES	TAREA

2.9 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 actual². Es importante aclarar que el contexto operacional hace referencia al entorno donde se opera el activo y su forma de ser operado.

El RCM es entonces una filosofía de mantenimiento que busca garantizar primordialmente la continuidad de la función de un activo (confiabilidad), mediante la generación de planes de mantenimiento, revisión de procedimientos y un listado de acciones para mejorar el diseño del activo o la forma en que es operado cuando su condición de operación actual no es la apropiada para lograr el objetivo.

Colateral a los resultados tangibles anteriormente citados, otros beneficios de la aplicación de RCM al mantenimiento son las siguientes:

- Mayor seguridad e integridad ambiental.
- Mejor funcionamiento operacional (cantidad, calidad del producto y servicio al cliente)
- Mayor costo – eficacia del mantenimiento.
- Mayor vida útil de componentes de alto costo.
- Mejor trabajo en equipo.

Para la obtención de dichos beneficios, se realizan talleres interdisciplinarios bajo la asesoría de un facilitador experto en la metodología, el cual debe velar por la adecuada planeación en cuanto a la definición de los activos a analizarse, recursos requeridos para la aplicación del proceso, logística y entrenamiento del personal si se considera necesario, así como asegurar la claridad de funcionalidad y contexto operacional de cada uno de los activos a evaluar.

² MOUBRAY, John. Mantenimiento centrado en confiabilidad. México: Aladon, 2004.

Durante la ejecución del taller se formula para cada uno de los activos que se intenta revisar las siete preguntas básicas del RCM.

- ¿Cuáles son las funciones y los parámetros de funcionamiento asociados al activo en su actual contexto operacional?
- ¿De qué manera falla en satisfacer dichas funciones?
- ¿Cuál es la causa de cada falla funcional?
- ¿Qué sucede cuando ocurre cada falla?
- ¿En qué sentido es importante cada falla?
- ¿Qué puede hacerse para prevenir o predecir cada falla?
- ¿Qué debe hacerse si no se encuentra una tarea proactiva adecuada?

Esta filosofía en algunas industrias es utilizada de manera única como estrategia para la generación de planes de mantenimiento y continuidad operacional, mientras que en otras hace parte integral de otras filosofías como el “lean maintenance³” o implementadas en conjunto con otras como el “TPM”.

2.10 OPTIMIZACIÓN DEL MANTENIMIENTO PLANEADO (PMO)

Es una metodología de análisis para la generación o actualización de estrategias de mantenimiento en plantas maduras. Es decir, en plantas donde los equipos ya tienen un determinado tiempo de servicio y por ende ya poseen históricos de mantenimiento y fallas para generar un “plan vivo de mantenimiento” (retroalimentado permanentemente por sus históricos)

El PMO recomienda realizar actualizaciones de los planes de mantenimiento independiente del origen que estos hayan tenido, realizando una revisión de los históricos de fallas, los cambios operacionales y la aparición de nuevas tecnologías.

³ PAREDES RODRIGUEZ, Francis. “LEAN MAINTENANCE” El nuevo enfoque para optimizar el mantenimiento, [consultado julio 2014]. Disponible en http://es.wikipedia.org/wiki/Lean_manufacturing

Se tiene varios métodos creados como PMO, todos con algunas diferencias, sin embargo, en el sector industrial se ha venido impulsando el desarrollo e implementación de PMO2000, siendo usado en industrias del pacífico y Australia, popularizándose en el sector minero.

La metodología del PMO se fundamenta en las siguientes preguntas:

- ¿Qué tareas de mantenimiento se llevan a cabo por personal de mantenimiento y operaciones? (recopilación de tareas).
- ¿Cuáles son los modos de falla asociados a una inspección de planta? (análisis de modos de falla. Se revisan modos de falla del plan actual y modos de fallas emergentes en los históricos de falla).
- ¿Qué funciones se perderán si se presenta de forma inesperada cada modo de falla? (funciones) [paso opcional].
- ¿Qué pasa cuando ocurre cada falla? (efectos de falla).
- ¿En qué forma afecta cada falla? (consecuencias de la falla).
- ¿Qué se debe hacer para predecir o prevenir cada falla? (tareas proactivas y sus intervalos).
- ¿Qué se debe hacer si una tarea proactiva no previene la falla? (acciones por omisión).

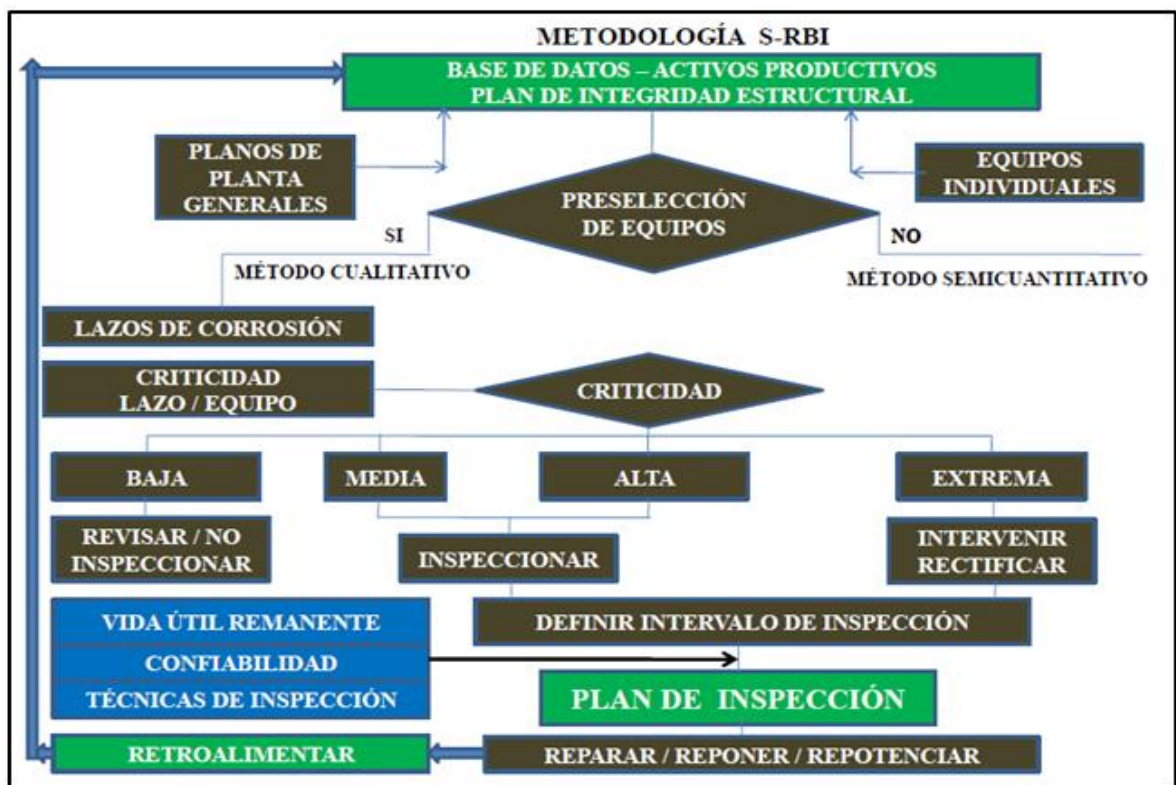
2.11 INSPECCIÓN BASADA EN EL RIESGO (RBI)

Es una metodología diseñada para conservar la integridad mecánica de equipos, mediante la generación de planes de inspección basado en el riesgo. Entendiendo por conservación de la integridad, la prevención de la pérdida de contención (fugas o escapes de fluidos o materiales peligrosos) por mal funcionamiento de los equipos, incursión en parámetros operacionales sobrepasando los límites de diseño o por deterioro de los materiales en contacto con medios agresivos o corrosivos.

Durante la planeación del RBI, se consideran respecto a los riesgos impactos en el medio ambiente, las personas, la pérdida de imagen, interrupción del proceso, lucro cesante y daños en equipos.

Se quiere entonces con la implementación de RBI en una instalación industrial definir un programa para realizar aquellas actividades necesarias para detectar el deterioro de los materiales y componentes en servicio antes de que se produzca una falla. Un esquema de implementación de un RBI se observa en la siguiente figura.

Figura 7. Esquema de implementación de RBI para activos



Fuente. Memorias especialización gerencia de mantenimiento. Aníbal serna. 2013

2.12 ANÁLISIS DE DATOS DE VIDA DE COMPONENTES Y SISTEMAS

Es una metodología estadística para construir modelos probabilísticos a partir de datos de vida de los componentes o sistemas a analizar. Entendiendo por datos de vida, todos los históricos de paradas de los equipos, ya sean estos por fallas o por mantenimientos programados.

El objetivo es realizar previsiones precisas del comportamiento de los componentes o sistemas analizados a partir de los modelos definidos. Estos modelos entregan estimaciones de la tasa de falla del componente, sistema o producto analizado en función del tiempo y estiman la probabilidad de falla (sobrevivir) del elemento analizado para una dada edad o para un periodo de tiempo dado.

Estos modelos son representaciones matemáticas de los datos recolectados y se basan en distribuciones estadísticas como son entre otras las siguientes:

- Distribución Normal
- Distribución Exponencial
- Distribución Log-Normal
- Distribución Weibull

La selección de la distribución para el análisis depende de la naturaleza de los datos, por lo que a través de herramientas estadísticas se deben realizar las pruebas para estimar cuál de ellas se aproxima más al comportamiento descrito por los datos recolectados y procesados. Siendo este un proceso normalmente utilizado con software especializados para esta labor⁴.

Al realizar el análisis de vida, podemos revisar cual va será la confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad para un determinado periodo de tiempo, siendo

⁴ RELIASOFT CORPORATION. MSMT foundations – RS401: Ingeniería de confiabilidad y análisis de datos de vida. Brasil. 2005

esta no solo una poderosa herramienta para mantenimiento, sino también para la estimación de vida y servicio para productos nuevos.

2.13 DIAGRAMAS DE BLOQUES DE CONFIABILIDAD

Los diagramas de bloques de confiabilidad son una representación gráfica de los subsistemas y/o componentes de un sistema (dependiendo de la complejidad del sistema analizado), los cuales están conectados en relación con la confiabilidad.

Cada bloque (representando un subsistema o componente) tiene propiedades internas que lo configuran, entre las cuales por lo mínimo debe contener la distribución de falla (análisis de vida). Las líneas que conectan los bloques por otro lado, muestran el grado de dependencia entre los diferentes bloques (subsistemas o componentes) en función de su confiabilidad, permitiendo así obtener algunas de las siguientes configuraciones según sea el caso:

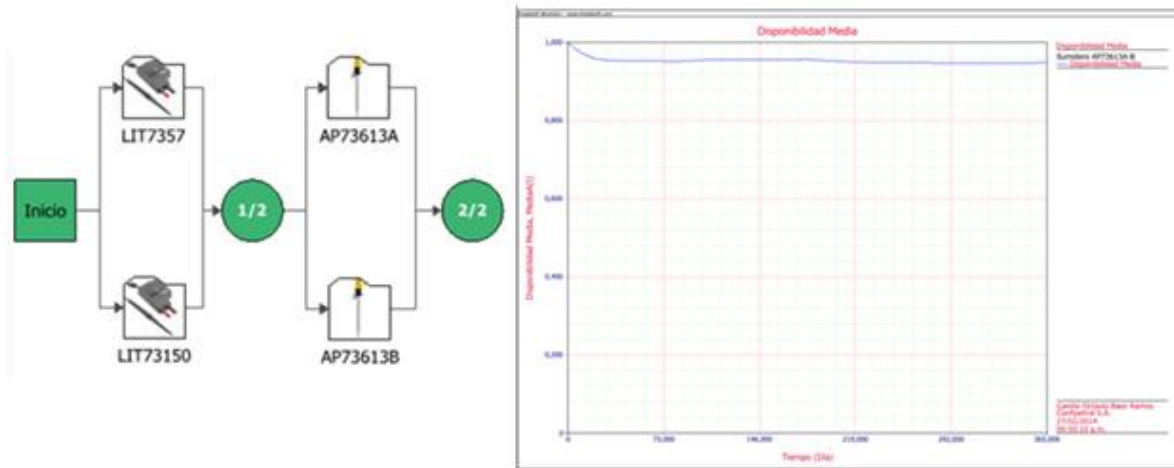
- Serie
- Paralelo
- Combinado (serie y paralelo)
- Paralelo reserva (redundancia)
- K-de-n (k equipos operando de n disponibles)

Una vez determinadas las características de confiabilidad de los bloques y relacionados según su confiabilidad (siempre considerando que los bloques son unidireccionales, con entradas, salidas y sin aceptar referencia circular), es posible modelar el diagrama de bloques del sistema para determinar su confiabilidad⁵.

En la siguiente figura se ilustra un diagrama de bloques en la herramienta BLOCKSIM de RELIASOFT versión 9 y una ventana con el resultado gráfico de la disponibilidad media.

⁵ RELIASOFT CORPORATION. MSMT foundations – RS403: Fundamentos de la confiabilidad de sistemas. Bogotá. 2010

Figura 8. Estructura bloques de confiabilidad y gráfico de disponibilidad media



Fuente. Resultados de modelamiento bombas aguas aceitosas. EA1 Ecopetrol

Dado que en la práctica es menos costoso realizar pruebas en banco a componentes de forma independiente en lugar de realizar pruebas con los sistemas completos e integrados, esta técnica provee a los diseñadores de grandes sistemas, evaluar las confiabilidades de forma independiente y posteriormente realizar el modelamiento del sistema general.

Los diagramas de bloques de confiabilidad brindan en mantenimiento da la posibilidad de validar la confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad de una planta. Es importante resaltar que para el modelamiento, se requiere de un software especializado, el cual requiere de la configuración estructurada y estandarizada de la información de cada sistema para garantizar que los resultados obtenidos sean válidos con la realidad del sistema, tarea ultima que queda a cargo del analista encargado de realizar la simulación en conjunto con el personal de mantenimiento y operaciones con el nivel de claridad necesario en cuanto al contexto operacional de los sistemas de la planta.

2.14 ANALISIS DE CONSECUENCIAS Y CRITICIDAD

Son análisis utilizados en el área de mantenimiento para jerarquizar sistemas y sus equipos asociados, regularmente mediante una valoración del nivel del riesgo asociado a criterios particulares de cada negocio. Estos análisis pueden ser de tipo cualitativo, cuantitativo o semi - cualitativo y su fin último es la de facilitar la toma de decisiones por grado de prioridad.

Una de las metodologías más usadas en industrias con alto índice de riesgo como son las industrias del sector energético es la metodología Norzok, originaria de Noruega y diseñada para aplicación en la industria del petróleo.

La Metodología Norsok realiza la jerarquización de sistemas basándose en el nivel de impacto (alto, medio, bajo) que puede generar una pérdida de su función respecto a diferentes tipos de consecuencia (Afectación a personas, afectación al medio ambiente, afectación legal, afectación económica, etc.), siendo estos tipos de consecuencia tan diversos como lo requiera la naturaleza del negocio.

Regularmente los niveles de consecuencia identificados se confrontan con su probabilidad de ocurrencia mediante el uso de matrices, determinando así un nivel del riesgo respecto a cada pérdida de función.

2.15 ANÁLISIS DE PELIGROS OPERACIONALES (HAZOP)

Constituye una de las técnicas de análisis de riesgos más estructuradas para identificar los riesgos asociados a una planta de proceso. Esta técnica trata de identificar las posibles desviaciones que puede haber en el proceso frente a las condiciones de diseño establecidas para líneas o elementos constitutivos de la unidad de estudio (nodos) desde el punto de vista tanto de la peligrosidad como de la operabilidad⁶.

⁶ GALINDO DÍEZ, Xavier. Sistemas integrados de seguridad. Ingeniería en automatización y electrónica industrial. P81-85. Disponible en <http://deeea.urv.cat/public/PROPOSTES/pub/pdf/1232pub.pdf>

En este punto se aclara que Peligro hace referencia a cualquier acción que pudiera causar una pérdida a la atmosfera de un producto toxico, inflamable o explosivo pudiendo generar daño en las personas o el medio ambiente, así como acciones que puedan generar daño en equipos considerados críticos.

De igual forma se aclara operabilidad como cualquier operación dentro del diseño de la planta que pudiera causar una parada que pudiese iniciar o conducir a una violación a regulaciones de seguridad, protección de personas y del medio ambiente, así como propiciar impactos económicos negativos.

La metodología del estudio se basa en talleres con personal multidisciplinario que siguiendo un proceso de “brainstorming” bajo el previo estudio de los procesos y el detalle de los diagramas de proceso e instrumentación (P&ID), estructuran un conjunto de “palabras guía” (alto, bajo, mas, menos, no, etc.) que demarcan desviaciones de las condiciones normales de proceso en varios puntos considerados claves (nodos). Estas palabras guía son aplicadas a parámetros relevantes del proceso (presión, temperatura, caudal, nivel, velocidad, PH, concentración, etc.) con el objeto de identificar las causas y las consecuencias de las desviaciones de los parámetros frente a los valores previstos y finalmente generar las recomendaciones para mejorar el proceso.

Del análisis HAZOP se obtiene además el nivel de integridad de seguridad (SIL) al evaluar las acciones de sistema de control, errores humanos y capas de protección utilizadas. Asi mismo el estudio permite identificar las funciones instrumentadas de seguridad (SIF) necesarias para el sistema instrumentado de seguridad (SIS) como medio de control auxiliar e independiente a los sistemas básicos de control de proceso (BPCS).

2.16 ANALISIS DE RIESGOS Y PUNTOS CRITICOS DE CONTROL (HACCP)

Es una herramienta utilizada en la industria de alimentos para garantizar la inocuidad de los productos. Entendiendo por inocuidad, la no contaminación de los productos de consumo, salvaguardando la integridad de las personas.

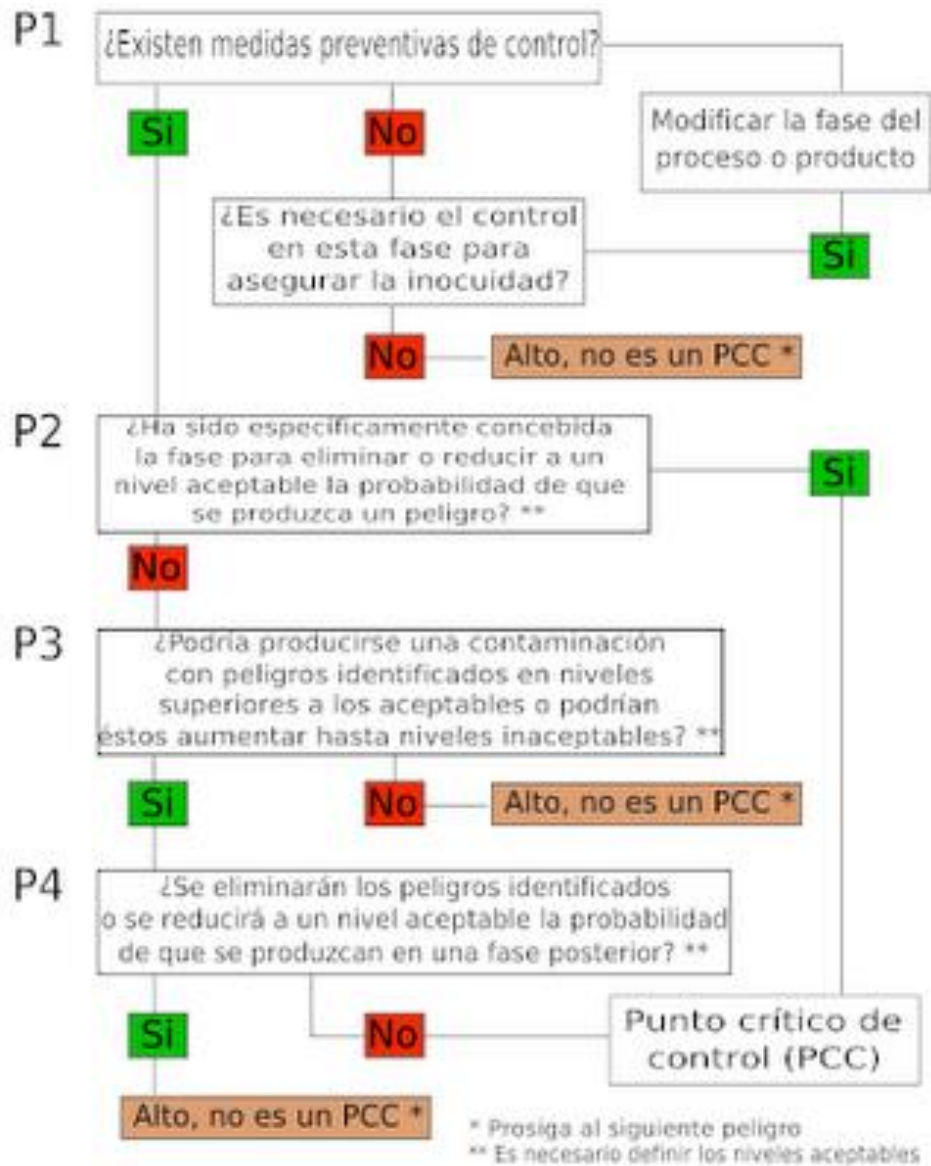
HACCP por sus siglas en inglés, es un sistema de control lógico basado en la prevención; en el cual, a través del estudio y conocimiento del proceso se pueden identificar los puntos con alto riesgo de contaminación del producto (punto crítico de control) para realizar su seguimiento y control, mantener al día los registros del proceso y mejorar continuamente el sistema de control.

Para el desarrollo del sistema HACCP se siguen los siguientes pasos. Esto posterior a un detallado estudio y entendimiento del proceso:

- Enumeración y análisis de peligros
- Identificación de puntos críticos (CCP)
- Establecer límites críticos para los CCP
- Desarrollo de procedimientos de monitoreo
- Establecer las acciones correctivas
- Establecer un sistema de verificación
- Crear un sistema de documentación

La identificación de cuales puntos del proceso son puntos críticos de control se realiza a traves de un árbol de decisiones el cual se ilustra en la siguiente figura. Este árbol de decisiones consiste en una secuencia ordenada de preguntas que se aplican a cada peligro identificado en cada etapa del proceso.

Figura 9. Esquema proceso HACCP



Fuente. Memorias diplomado inocuidad de productos. Universidad del Valle 2008

2.17 ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLAS HUMANAS (HFMEA)

Es un análisis para identificar los posibles errores humanos que pueden llegar a generarse durante las actividades críticas de mantenimiento, establecer sus efectos e indagar sobre sus causas. Su fin es el generar los planes de acción

necesarios para garantizar o en su defecto mitigar las consecuencias de los errores humanos.

La estructura del HFMEA es muy similar al del FMEA para equipos, teniendo como preguntas básicas las siguientes⁷:

- ¿Cuál es el trabajo o actividad a realizar?
- ¿Qué errores se pueden cometer?
- ¿Qué causas pueden haber para que se cometa el error?
- ¿Qué sucede cuando se comete el error?
- ¿Qué impacto tiene el error?
- ¿Se puede prevenir el error?
- ¿Qué hacer si no se puede prevenir el error?

La metodología va enfocada en el mejoramiento de la confiabilidad humana, considerando que los factores humanos que generan las causas básicas de las fallas son el “no saber”, el “no poder” y el “no querer”, para lo cual se trabaja en la capacitación del personal y generación de conocimiento, el suministro de recursos y generación de destrezas, y la motivación del personal respectivamente.

2.18 DIVULGACION DE LECCIONES APRENDIDAS

Es un método práctico y sencillo de generar conocimiento en una organización. Normalmente se usa un formato en el cual se ilustran hechos reales de la organización con un alto nivel de impacto en alguno de los diferentes tipos de consecuencias, se resumen las causas básicas del evento reportado y se emiten las recomendaciones del caso para evitar o en su defecto mitigar sus consecuencias.

⁷ SILVA, Pedro. Memorias capacitación en confiabilidad humana en mantenimiento, Barrancabermeja. 2012

Aunque el formato es libre de cada organización, la información que suele agregarse es la siguiente:

- Título del evento y consecuencia asociada.
- Registro fotográfico.
- Descripción breve de los hechos. “¿Qué paso?”.
- Causas que originaron la cadena de sucesos del evento. “¿Por qué paso?”.
- Recomendaciones para evitar recurrencia. “Lección aprendida”.

2.19 OBSERVACION DE TAREAS

Es una técnica para afianzar las destrezas y buenas prácticas del personal de mantenimiento, así como para modificar las conductas que estén por fuera del desempeño deseado.

Los pasos básicos de la metodología son los siguientes:

- Estudiar la tareas que se va a observar
- Realizar la observación de la tarea
- Realizar análisis sobre lo observado
- Retroalimentar al observado (refuerzo positivo, retroalimentación constructiva)
- Diligenciar formato de observación
- Evaluar los cambios (seguimiento de la tarea).

La observación de tareas sirve no solo para impulsar las buenas prácticas que conlleven a ejecuciones eficaces y seguras, la observación sirve además como fuente de retroalimentación para el mejoramiento continuo de los procesos de ejecución y la constante evaluación de los recursos necesarios para su adecuado desempeño.

2.20 BENCHMARKING

Es un proceso sistemático para investigar, identificar, comparar y aprender de las mejores prácticas realizadas por gremios, organizaciones e incluso unidades productivas o departamentos catalogados como líderes en cuanto a los procesos que se desean evaluar. Esto con el fin de mejorar los procesos propios, posterior al análisis de los factores que inciden en el éxito de los procesos referentes.

Dependiendo del gremio, organización o unidad productiva que se tome como referente, se puede tener una clasificación de Benchmarking como sigue:

- *Benchmarking interno.* Cuando se establece comparación con otros departamentos al interior de la organización, los cuales se han mostrado más eficientes y eficaces, por lo que se definen estándares para iniciar procesos de mejoramiento continuo.
- *Benchmarking externo.* Siendo a niveles externos a la organización y subdividido en dos categorías como competitivo y genérico, el primero es usado cuando se quiere evaluar el desarrollo de implementación de nuevas tecnologías o métodos de trabajo en otras organizaciones referenciadas como competidoras directas, mientras el segundo es usado cuando se quiere comparar los procesos propios con procesos afines referenciados como de clase mundo a pesar incluso de pertenecer a diferentes sectores de la industria.
- *Benchmarking funcional.* Cuando se compara la organización con los mejores estándares de la industria a la que se pertenece, sin importar si existe competencia directa con los referentes.

Dependiendo del objetivo del benchmarking se pueden identificar los siguientes dos tipos:

- *Benchmarking de diagnóstico.* Cuando se quiere identificar debilidades y fortalezas ayudándose en el análisis DOFA, así como la búsqueda de

diferencias mejorables basadas en las evaluaciones comparativas realizadas.

- *Benchmarking completo*. Cuando se define como una herramienta de gestión estratégica, procurando la mejora continua de la empresa, impulsando la innovación y la creación de una ventaja competitiva sostenible basada en el aprendizaje.

El proceso de implementación del benchmarking se encuentre conformado por cinco fases:

- *Planificación*. Es planear la investigación, determinando quién, qué y cómo.
- *Análisis*. Recopilación y análisis de datos con plena claridad de los procesos propios y los analizados.
- *Integración*. Usar los hallazgos del benchmarking para fijar objetivos operacionales para el cambio y asegurar su incorporación en los procesos formales de planificación.
- *Acción*. Desarrollo de planes de acción basados en los hallazgos y los objetivos planteados, definir mediciones periódicas y evaluación de los logros.
- *Madurez*. Incorporación completa de las mejores prácticas en los procesos, definiéndolas como una faceta continua, esencial y automática del proceso.

2.21 MATRIZ DE LA EXCELENCIA

Es una metodología de valoración del nivel de madurez de una organización de mantenimiento. Entendiendo como nivel de madurez, el grado de desarrollo, implementación y gestión con respecto a unas áreas establecidas.

La metodología resalta que la excelencia de mantenimiento se obtiene al tener un alto grado de gestión en 10 áreas específicas:

- Estrategia de mantenimiento
- Administración y organización
- Planeación y programación
- Técnicas de mantenimiento
- Medidas de desempeño
- Tecnología de la información y su uso
- Involucramiento de los empleados
- Análisis de confiabilidad
- Análisis de procesos
- Instalaciones e infraestructura

La matriz de la excelencia clasifica el nivel de madurez en cinco (5) categorías según el puntaje obtenido en cada una de las áreas de gestión, acumulando hasta un total de 100 puntos.

- Entre 0 – 10 Mantenimiento “INOCENTE”
- Entre 10 – 20 Mantenimiento “INSATISFACTORIO”
- Entre 20 – 50 Mantenimiento “CONSCIENTE”
- Entre 50 – 70 Mantenimiento “LO MEJOR DE SU CLASE”
- Entre 70 – 100 Mantenimiento “CLASE MUNDO”

Para cada área se realizan anotaciones específicas y recomendaciones prácticas para que con su desarrollo se pase a la siguiente fase de mantenimiento.

2.22 PAM / SAM

Son las metodologías propuestas por las normas PAS 55 (public available standard) de la BSI (British Standard institute) y la ISO 55000 (International Organization for Standardization)

La PAM (PAS55 Assessment Methodology) se encuentra avalada por el IAM (Institute of Asset Management) y consta de 122 preguntas que cubren cada uno de los 28 elementos de la BSI PAS55:2008⁸. Cada pregunta consta de los siguientes componentes:

- Cinco posibles respuestas que describen el funcionamiento de los criterios asociados con cada nivel de madurez.
- Orientación sobre el por qué la pregunta.
- Orientación sobre quién debe ser capaz de dar respuesta a la pregunta.
- Orientación sobre documentación adicional y pruebas que podrían ser revisadas para ayudar a evaluar el nivel de madurez de la organización.

Al final de la evaluación, la organización tendrá una indicación de su grado de conformidad con la BSI PAS55:2008.

En algunas organizaciones, ciertos elementos de PAS 55 pueden llegar a tener más importancia que otros y por ende la importancia o “peso” de ciertas preguntas variará de organización en organización.

2.23 COSTO DEL CICLO DE VIDA (LCC)

Es una herramienta sistemática que permite establecer de una manera estructurada los costos asociados con el diseño, instalación, operación, mantenimiento y disposición final de equipos y sistemas, siendo un proceso iterativo para la estimación, planeación y monitoreo de los costos durante el ciclo de vida del activo.

Las fases del análisis de ciclo de vida de activos es la siguiente:

⁸ INSTITUTE OF ASSET MANAGEMENT. The PASS Assessment Methodology (PAM). Version 1. 2009

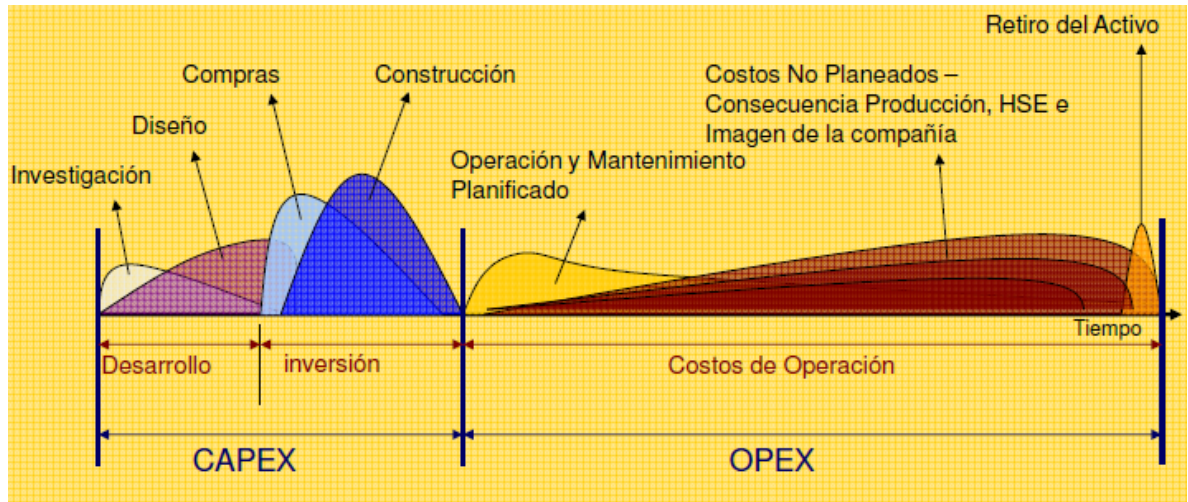
- Diagnóstico. Se identifican metas, objetivos y restricciones para el análisis, se establecen criterios de decisión y se definen variables a considerar en el análisis.
- Recolección de datos. Se identifican los “drivers” potenciales de costos y se identifican y recolectan los datos (costos, estadísticas, indicadores RAM, entre otros).
- Análisis y modelamiento. Se desarrolla un modelo del costo de ciclo de vida, se realiza un análisis y evaluación de los costos.
- Reporte y toma de decisiones. Se realiza iteración de con los datos de diseño, operación y mantenimiento, se toma decisiones y se realiza reporte con planes de acción.

Entre los costos más relevantes del análisis se encuentran los siguientes:

- Costos relacionados con el ingeniería
- Costo inicial de compra
- Costo de instalación
- Costo de energía
- Costo de operación
- Costo de mantenimiento
- Costos medioambientales
- Costos de parada
- Costos de disposición

En la figura 10 se ilustra la distribución de costos a lo largo de la vida útil de los activos.

Figura 10. Costos en el ciclo de vida de activos industriales



Fuente. Ecopetrol S.A.

Estos costos deben ser modelados en términos financieros por lo que es importante considerar el valor del dinero en el tiempo y llevar los costos a un punto en el que puedan ser comparados directamente para la toma de decisiones (usar por ejemplo valor presente, valor futuro o diferido en el tiempo).

2.24 INDICADORES TÉCNICO – FINANCIEROS

2.24.1 INDICADORES DE RENTABILIDAD. Los indicadores de rendimiento, denominados también de rentabilidad o lucratividad, sirven para medir la efectividad de la administración de la empresa para controlar los costos y gastos.

Desde el punto de vista del inversionista, lo más importante de utilizar estos indicadores es analizar la manera como se produce el retorno de los valores invertidos en la empresa (rentabilidad del patrimonio y rentabilidad del activo total).

Los indicadores que más se usan para validar los retornos sobre las inversiones realizadas son las siguientes:

- ROI. Retorno sobre la inversión
- ROA. Retorno sobre el Activo
- ROCE. Retorno sobre el capital empleado
- ROE. Retorno sobre los recursos propios.
- VEA. Valor económico agregado.

2.24.2 INDICADORES TÉCNICOS DE CONFIABILIDAD. Son indicadores técnicos que se relacionan con la calidad de la gestión del mantenimiento y permiten ver el comportamiento operacional de las instalaciones, sistemas y equipos, además de la calidad de los trabajos y el grado de cumplimiento de los planes de mantenimiento.

Entre los indicadores de mayor uso se encuentran los siguientes:

- TPPF. Tiempo promedio para fallar (MTTF)
- TPPR. Tiempo promedio para reparar (MTTR)
- TMEF. Tiempo medio entre fallos (MTBF)
- Disponibilidad
- Confiabilidad
- Utilización (factor de servicio)

3 PROCESO DE CONFIABILIDAD

3.1 DEFINICIÓN DE PROCESOS DE CONFIABILIDAD

Basado en el tipo de soporte técnico a la gestión de optimización de activos o área del conocimiento de cada una de las estrategias, técnicas y herramientas de confiabilidad seleccionadas en el capítulo anterior, se definen procesos de confiabilidad con capacidad de agrupar dichos atributos.

La figura 11 ilustra los procesos de confiabilidad definidos para soportar técnicamente un proceso de mantenimiento en una organización.

Figura 11. Procesos de confiabilidad de sistemas.



Tal y como se ilustra en la figura 11, se definieron 9 procesos de confiabilidad en los cuales se incorporó cada uno de los conceptos analizados en el capítulo 2.

En la tabla 1 se hace un resumen de las funciones principales de los procesos analizados en el capítulo 2 y se agrupan según los procesos de confiabilidad definidos para la propuesta de integración.

Tabla 1. Agrupación de procesos de confiabilidad

SIGLA	ESTRATEGIA-TECNICA-HERRAMIENTA	FUNCIÓN PRINCIPAL	PROCESO ASOCIADO
RF	REPORTE DE FALLA	Reportar fallas, recolectar evidencias y antecedentes	Eliminación de defectos
AF	ANALISIS DE FALLA	Identificación de mecanismos y causas de falla de componentes estructurales	
ACR	ANALISIS DE CAUSA RAIZ	Identificar causas raíces y generar recomendaciones para corrección o mitigación	
BAD ACTORS	MALOS ACTORES	Identificar y generar planes de acción para eliminar o mitigar defectos recurrentes con altos nivel de impacto en la organización	
RIM	MEDICION DE INDICADORES DE CONFIABILIDAD	Recolectar y preparar la información para calcular el desempeño operacional de instalaciones, sistemas y equipos	Medición de indicadores de confiabilidad
BEC	CUIDADO BASICO DE EQUIPOS	Establece las actividades basicas de inspección, limpieza, lubricación y ajuste por parte del personal de operaciones	Análisis de condición de equipos
CBM	MANTENIMIENTO BASADO EN LA CONDICIÓN	Establece el estado de las variables que gobiernan el desempeño de los activos y advierte el momento oportuno de intervención	
QA/QC	CONTROL Y ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD	Establece los criterios y practicas para asegurar y controlar la calidad de las operaciones de mantenimiento mediante la prevención e identificación oportuna de defectos	
LDA	ANALISIS DE DATOS DE VIDA	Establece predicciones de vida remanente de componentes, equipos y sistemas mediante el uso de modelos probabilisticos	Modelamiento de sistemas
RBD	DIAGRAMA DE BLOQUES DE CONFIABILIDAD	Establece la confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad de sistemas	

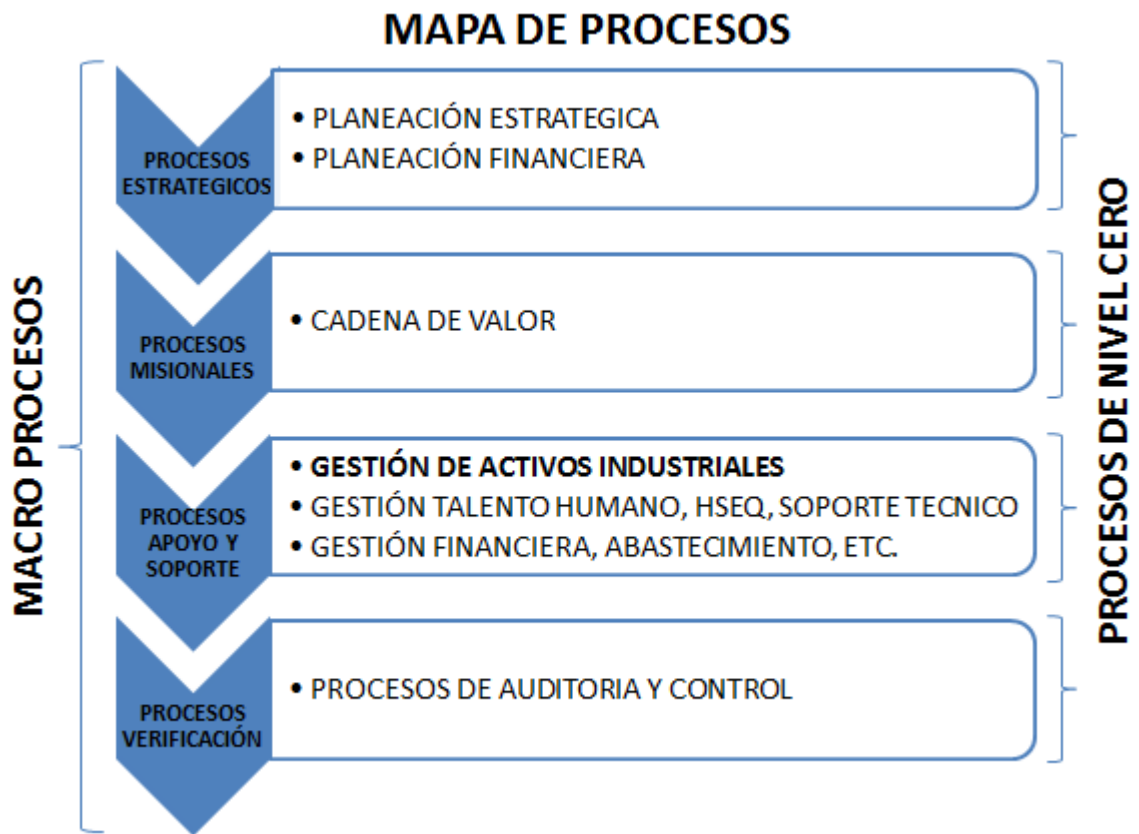
Tabla 1. Agrupación de procesos de confiabilidad (*continuación*)

SIGLA	ESTRATEGIA-TECNICA-HERRAMIENTA	FUNCIÓN PRINCIPAL	PROCESO ASOCIADO
FMEA	ANALISIS DE MODOS, FALLOS Y EFECTOS	Permite analizar las fallas potenciales de sistemas	Optimización de planes de mantenimiento e inspección
RCM	MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD	Permite generar las estrategias de mantenimiento costo-efectivas de sistemas	
PMO	OPTIMIZACION DEL MANTENIMIENTO PLANEADO	Permite generar o adecuar un plan de mantenimiento dinamico para equipos ya en servicio	
RBI	INSPECCION BASADA EN RIESGO	Permite generar el plan de inspección y mantenimiento para equipo estatico	
CA	ANALISIS DE CRITICIDAD	Permite evaluar los diferentes niveles de impacto de una pérdida de función de un activo para la combinacion de consecuencias que la organización defina	Análisis del proceso productivo
HACCP	ANALISIS DE PELIGROS Y PUNTOS CRITICOS DE CONTROL	Permite monitorear y generar control sobre los puntos que se identifiquen con alto potencial de afectación a la inocuidad de un producto	
HAZOP	ANALISIS DE PELIGROS OPERACIONALES	Permite identificar los peligros a los que esta sometida una planta y sus variables asociadas con el fin de generar acciones para garantizar su control	
-	LECCIONES APRENDIDAS	Permite socializar a las partes interesadas dentro de la organización, los causales de falla y las acciones de corrección o mitigación	Confiabilidad humana
HFMEA	ANALISIS DE MODOS, FALLOS Y EFECTOS HUMANOS	Permite analizar las fallas potenciales de sistemas generados por fallas humanas	
-	OBSERVACION DE TAREAS	Permite hecer seguimiento sobre la implementacion de las mejores practicas	
-	MATRIZ DE LA EXCELENCIA	Permite validar el nivel de madurez del mantenimiento de la organización	Auditoria de proceso
-	BENCHMARKING	Permite realizar comparación de las prácticas usadas en la organización con las prácticas de referentes de la industria	
PAM / SAM	METODOLOGIA DE EVALUACION DE LA PAS55/METODOLOGIA DE AUTOEVALUACION ISO55000	Metodología de evaluación para la organización con respecto a los estandares de la <i>British Standard institute</i> y la <i>International Organization for Standardization</i>	
LCC	COSTO DEL CICLO DE VIDA	Permite evaluar los costos asociados a los activos durante todo su ciclo de vida	

3.2 PROCESOS DE CONFIABILIDAD EN EL MAPA DE PROCESOS

En las organizaciones industriales normalmente se tienen procesos estratégicos, procesos misionales (cadena de valor), procesos de apoyo, procesos de soporte y procesos de verificación, tal y como se ilustra en la siguiente figura, la cual muestra a manera de ejemplo la ubicación del proceso de “gestión de activos industriales dentro del macroproceso de apoyo y soporte.

Figura 12. Ejemplo básico de un mapa de procesos

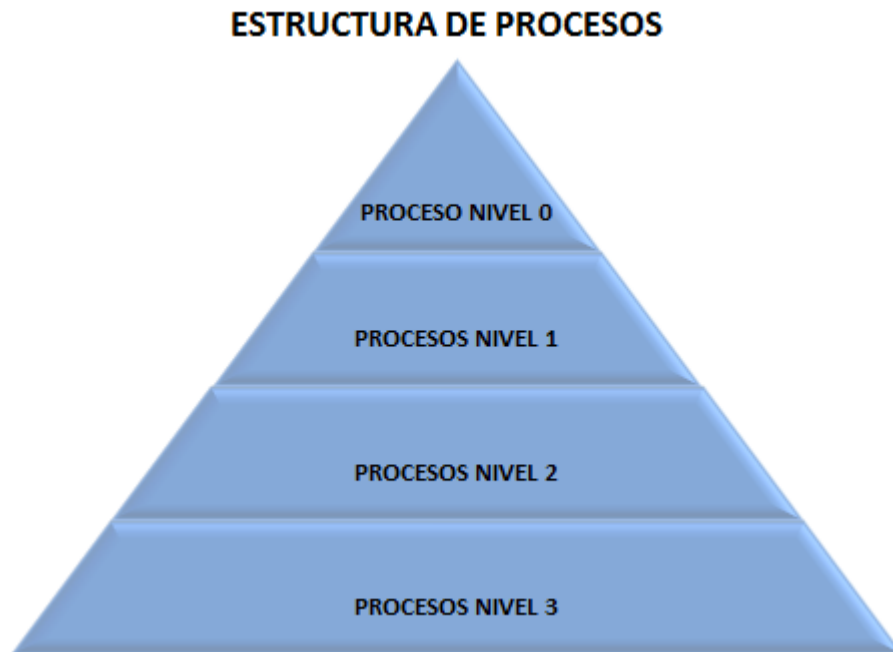


Los grupos de procesos ilustrados en la figura 11 son los denominados “macroprocesos” cada uno un tipo característico de aporte a la organización. Cada uno de estos macroprocesos se encuentra conformado por un grupo de procesos más específicos catalogados como “nivel cero”, los cuales cuentan con una

estructura de sub procesos que interactúan con el fin de lograr el objetivo de su proceso padre (nivel 0).

La estructura que conforma cada uno de los procesos de nivel cero se ilustra en la siguiente figura.

Figura 13. Estructura de procesos por niveles



Si bien, el core del negocio se encuentra en los sistemas productivos vinculados a los procesos misionales, es importante resaltar el fuerte vínculo que debe tenerse entre la operación y el mantenimiento (procesos de soporte). Tal y como lo dicta la SMRP (*society for maintenance and reliability*) operaciones y mantenimiento deben ser aliados estratégicos y compartir los mismos objetivos con la organización.

Para que exista la alianza estratégica entre operaciones y mantenimiento, debe haber un entendimiento mutuo entre procesos y es allí donde los conceptos de

confiabilidad operacional entran a soportar técnicamente a mantenimiento, creando una interfaz que permite monitorear, evaluar y retroalimentar ambos procesos de forma permanente según las necesidades del otro.

Es así como los conceptos de confiabilidad (estrategias, técnicas y herramientas de confiabilidad) se integran en un proceso de soporte, que apalancado en el enfoque de gestión por procesos, se alimenta no solo por el desempeño del proceso de mantenimiento, sino también por el desempeño y necesidades de producción, así como de otros procesos que aportan o pueden tener un nivel alto de influencia sobre el proceso de mantenimiento.

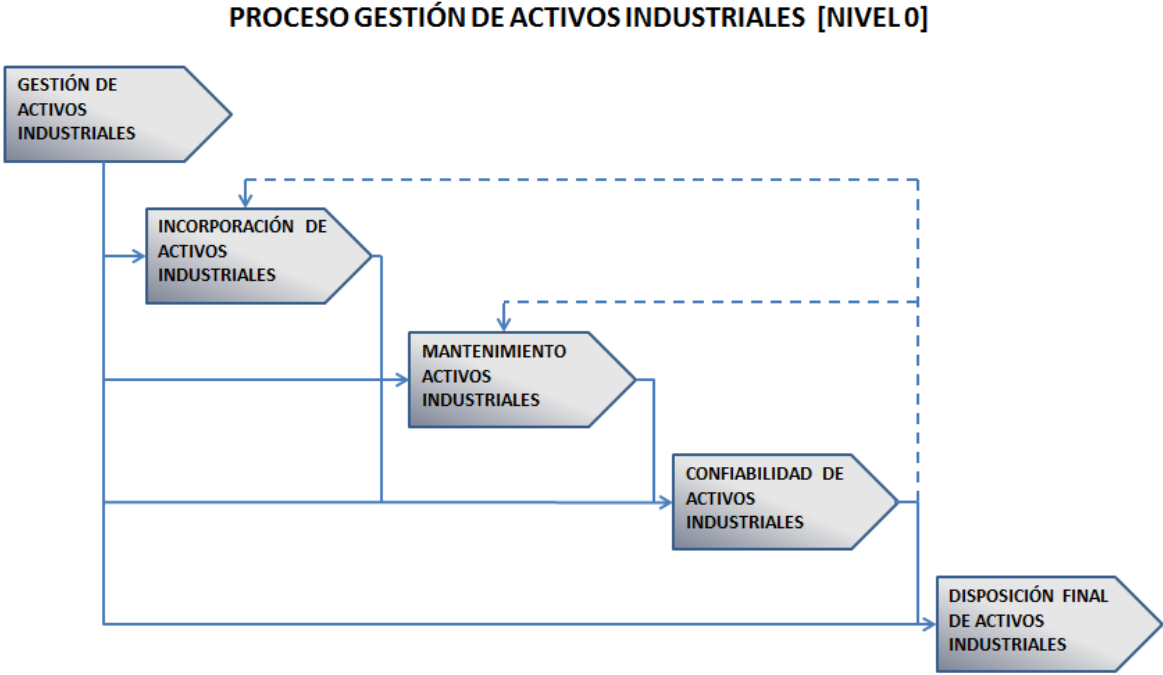
La figura 14 ilustra la ubicación del proceso de *confiabilidad de sistemas y procesos* (proceso nivel 1) dentro de la cadena de subprocesos de la *gestión de activos industriales* (proceso nivel 0).

Es importante resaltar que la figura 14 ilustra el flujo de procesos al interior del proceso de *gestión de activos industriales*, sin embargo se recuerda que cada uno de estos sub procesos (nivel 1) cuenta con una serie de entradas y salidas que van interconectados a una red de procesos nivel 1 o 2 pertenecientes a diferentes procesos nivel 0 sean o no pertenecientes al mismo macroproceso.

Los procesos nivel 0 que pueden brindar entradas a los procesos de confiabilidad desde sus procesos nivel 1 o 2 varían según el tipo de organización, pero entre los más factibles se tiene:

- Gestión humana
- Gestión logística y de suministro
- Gestión financiera – comercial
- Gestión de tecnología y de información

Figura 14. Gestión de activos industriales basado en el ciclo de vida de activos



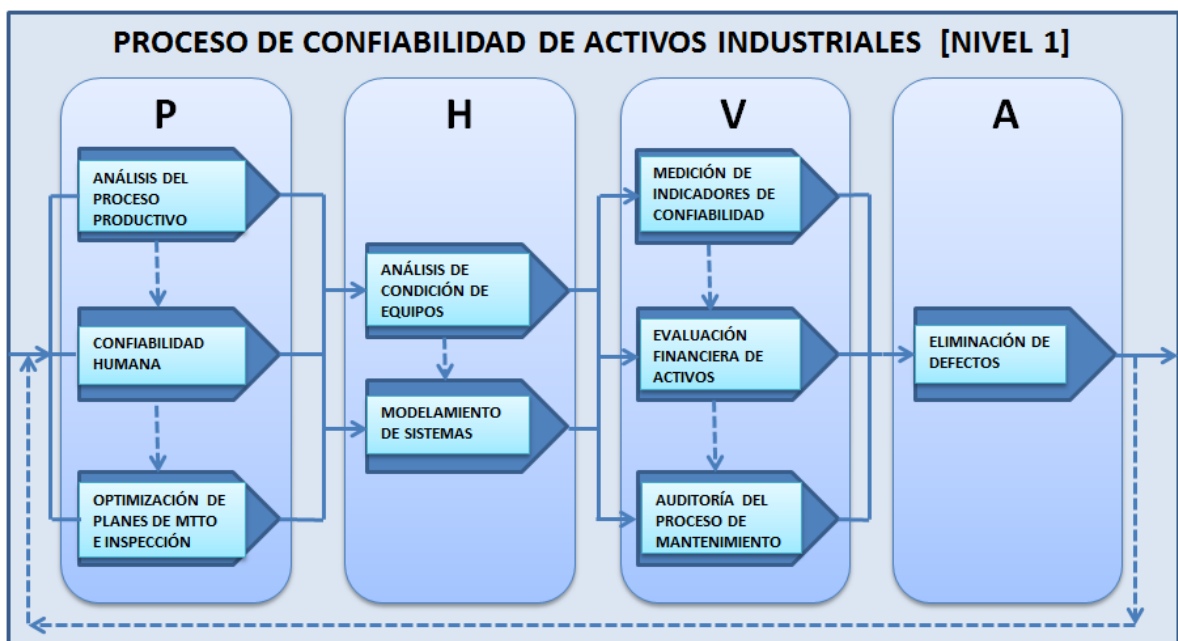
4 PROPUESTA DE INTEGRACIÓN DE PROCESOS DE CONFIABILIDAD

4.1 PROCESO DE CONFIABILIDAD DE ACTIVOS INDUSTRIALES [NIVEL 1].

En la figura 11 se ilustran los procesos nivel 2 definidos para integrar el proceso de *Confiabilidad de activos industriales*, mientras en la tabla 1 se muestra la distribución de estrategias, técnicas y herramientas de confiabilidad (conceptos de mantenimiento y confiabilidad) para cada uno de los procesos de nivel 2 de la figura 11.

La propuesta de integración de procesos de confiabilidad se desarrolla bajo el enfoque de gestión por procesos, por lo que su estructura refleja el ciclo Deming de mejora continua, garantizando la secuencia lógica de los procesos que lo componen, la transformación de diferentes entradas en salidas y la debida retroalimentación para permitir cerrar el ciclo de mejoramiento. La propuesta de integración se ilustra en la siguiente figura.

Figura 15. Propuesta de integración de procesos de confiabilidad



4.2 PROCESOS INTEGRADOS DE CONFIABILIDAD [NIVEL 2].

Los procesos de confiabilidad de nivel 2 ilustrados en la figura 15 toman como parte de su desarrollo las diferentes estrategias, técnicas y herramientas de ingeniería de mantenimiento y confiabilidad citadas en la figura 4 y distribuidas en los procesos de confiabilidad nivel 2 según lo ilustra la tabla 1.

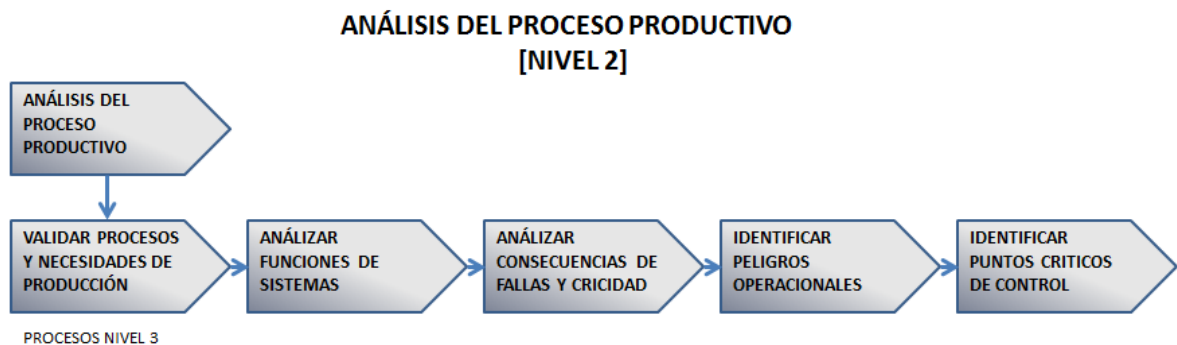
A continuación se muestran los esquemas de subprocesos [nivel 3] que componen cada uno de los procesos integrados de confiabilidad. Estos por su nivel en la estructura de procesos son llamados también “conjunto de actividades” de los cuales solo queda bajar al nivel de procedimientos.

4.2.1 ANÁLISIS DEL PROCESO PRODUCTIVO.

Está conformado por el siguiente conjunto de actividades tal y como se ilustra en la figura 16.

- Validar procesos y necesidades de producción
- Analizar funciones de sistemas
- Analizar consecuencias de fallas y criticidad
- Identificar peligros operacionales
- Identificar puntos críticos de control

Figura 16. Mapa procesos análisis del proceso productivo [nivel 2]



4.2.2 CONFIABILIDAD HUMANA.

Está conformado por el siguiente conjunto de actividades tal y como se ilustra en la figura 17.

- Evaluar roles & responsabilidades del personal
- Analizar modos y efectos de fallas humanas
- Realizar observación de tareas
- Optimizar procedimientos
- Divulgar lecciones aprendidas

Figura 17. Mapa procesos confiabilidad humana [nivel 2]

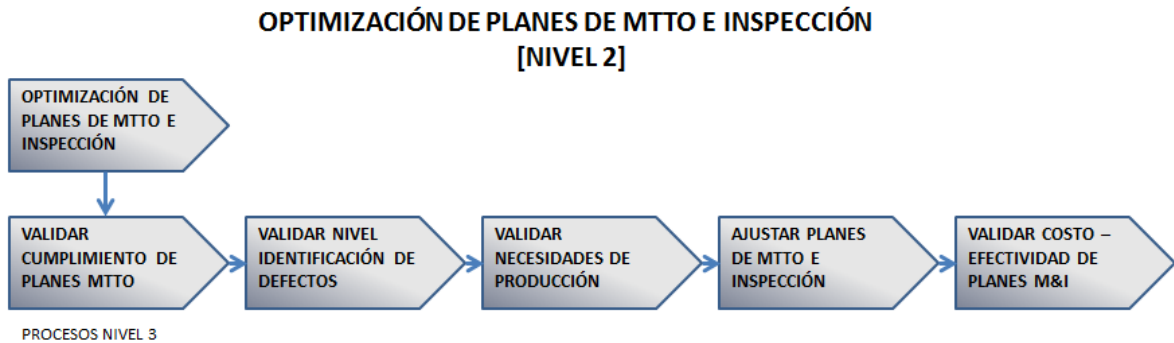


4.2.3 OPTIMIZACIÓN DE PLANES DE MANTENIMIENTO E INSPECCIÓN.

Está conformado por el siguiente conjunto de actividades tal y como se ilustra en la figura 18

- Validar cumplimiento de planes mtto
- Validar nivel identificación de defectos
- Validar necesidades de producción
- Ajustar planes de mtto e inspección
- Validar costo – efectividad de planes m&i

Figura 18. Mapa procesos optimización de planes de mantenimiento[nivel 2]

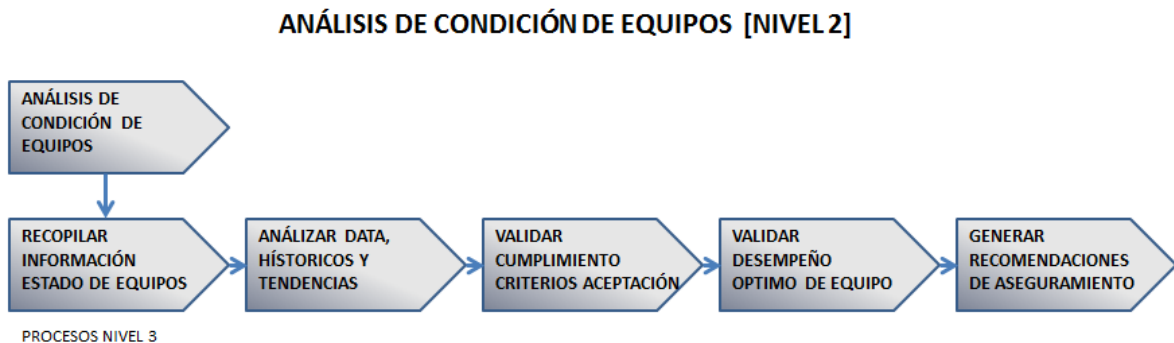


4.2.4 ANÁLISIS DE CONDICIÓN DE EQUIPOS.

Está conformado por el siguiente conjunto de actividades tal y como se ilustra en la figura 19.

- Recopilar información estado de equipos
- Analizar data, históricos y tendencias
- Validar cumplimiento criterios aceptación
- Validar desempeño óptimo de equipo
- Generar recomendaciones de aseguramiento

Figura 19. Mapa procesos análisis de condición de equipos [nivel 2]

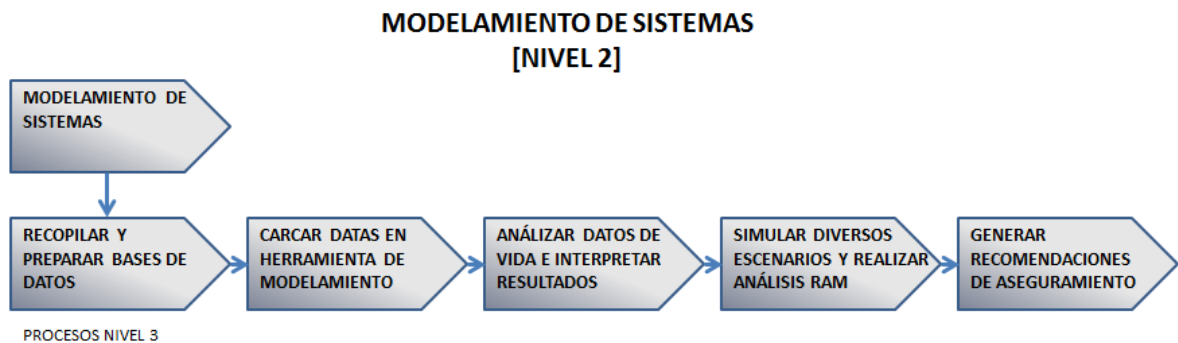


4.2.5 MODELAMIENTO DE SISTEMAS.

Está conformado por el siguiente conjunto de actividades tal y como se ilustra en la figura 20.

- Recopilar y preparar bases de datos
- Cargar datos en herramienta de modelamiento
- Analizar datos de vida e interpretar resultados
- Simular diversos escenarios y realizar análisis RAM
- Generar recomendaciones de aseguramiento

Figura 20. Mapa procesos modelamiento de sistemas [nivel 2]

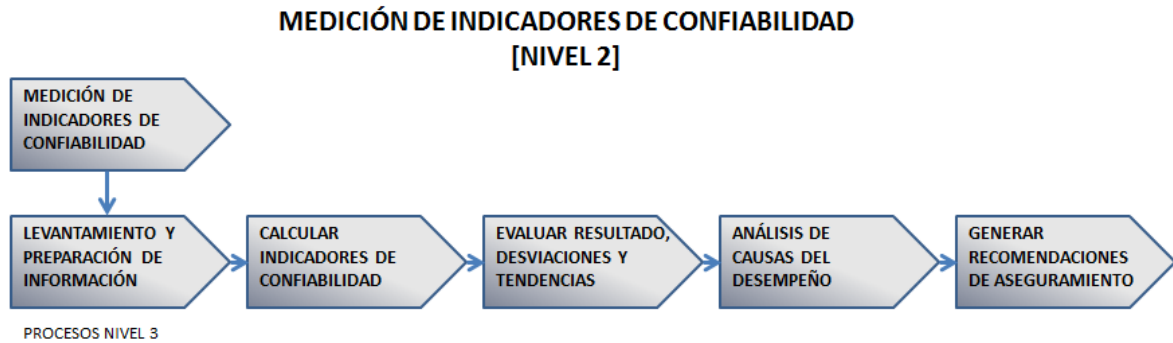


4.2.6 MEDICIÓN DE INDICADORES DE CONFIABILIDAD.

Está conformado por el siguiente conjunto de actividades tal y como se ilustra en la figura 21.

- Levantamiento y preparación de información
- Calcular indicadores de confiabilidad
- Evaluar resultado, desviaciones y tendencias
- Análisis de causas del desempeño
- Generar recomendaciones de aseguramiento

Figura 21. Mapa procesos medición de indicadores de confiabilidad [nivel 2]



4.2.7 **EVALUACIÓN FINANCIERA DE ACTIVOS.**

Está conformado por el siguiente conjunto de actividades tal y como se ilustra en la figura 22.

- definir etapas ciclo de vida de activos
- evaluar el costo de ciclo de vida de activos
- calcular indicadores financieros
- analizar opciones compra, mtto o repotenciación
- toma de decisiones

Figura 22. Mapa procesos evaluación financiera de activos [nivel 2]

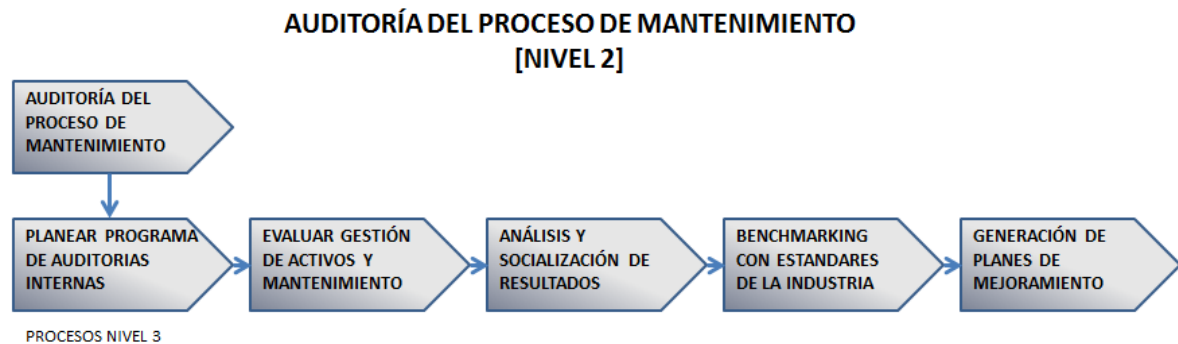


4.2.8 AUDITORÍA DEL PROCESO DE MANTENIMIENTO.

Está conformado por el siguiente conjunto de actividades tal y como se ilustra en la figura 23.

- Planear programa de auditorías internas
- Evaluar gestión de activos y mantenimiento
- Análisis y socialización de resultados
- Benchmarking con estándares de la industria
- Generación de planes de mejoramiento

Figura 23. Mapa procesos auditoría del proceso de mantenimiento [nivel 2]

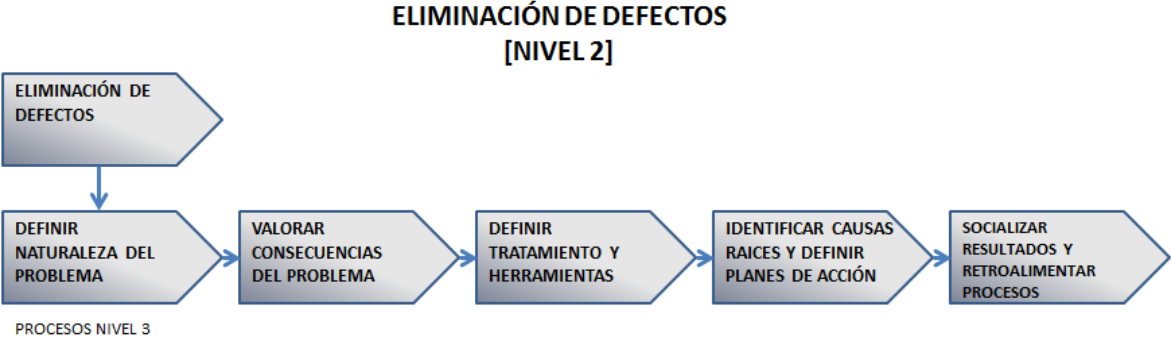


4.2.9 ELIMINACIÓN DE DEFECTOS.

Está conformado por el siguiente conjunto de actividades tal y como se ilustra en la figura 23.

- Definir naturaleza del problema
- Valorar consecuencias del problema
- Definir tratamiento y herramientas
- Identificar causas raíces y definir planes de acción
- Socializar resultados y retroalimentar procesos

Figura 24. Mapa procesos eliminación de defectos [nivel 2]



5 CARACTERIZACIÓN DE PROCESOS DE CONFIABILIDAD NIVEL 2

5.1 CARACTERIZACIÓN ANÁLISIS DEL PROCESO PRODUCTIVO

Para la caracterización del proceso se tienen en cuenta los siguientes ítems, tal y como se ilustra en la siguiente figura:

- Nombre proceso [nivel 2]
- Proceso superior o padre [nivel 1]
- Procesos inferiores (conjunto de actividades) [nivel 3]
- Entradas al proceso
- Salidas del proceso
- Recursos (estrategias - técnicas - herramientas)

Figura 25. Caracterización análisis del proceso productivo



5.2 CARACTERIZACIÓN CONFIABILIDAD HUMANA

Para la caracterización del proceso se tienen en cuenta los siguientes ítems, tal y como se ilustra en la siguiente figura:

- Nombre proceso [nivel 2]
- Proceso superior o padre [nivel 1]
- Procesos inferiores (conjunto de actividades) [nivel 3]
- Entradas al proceso
- Salidas del proceso
- Recursos (estrategias - técnicas - herramientas)

Figura 26. Caracterización confiabilidad humana



5.3 CARACTERIZACIÓN OPTIMIZACIÓN DE PLANES DE MANTENIMIENTO E INSPECCIÓN

Para la caracterización del proceso se tienen en cuenta los siguientes ítems, tal y como se ilustra en la siguiente figura:

- Nombre proceso [nivel 2]
- Proceso superior o padre [nivel 1]
- Procesos inferiores (conjunto de actividades) [nivel 3]
- Entradas al proceso
- Salidas del proceso
- Recursos (estrategias - técnicas - herramientas)

Figura 27. Caracterización optimización de planes de mantenimiento e inspección



5.4 CARACTERIZACIÓN ANÁLISIS DE CONDICIÓN DE EQUIPOS

Para la caracterización del proceso se tienen en cuenta los siguientes ítems, tal y como se ilustra en la siguiente figura:

- Nombre proceso [nivel 2]
- Proceso superior o padre [nivel 1]
- Procesos inferiores (conjunto de actividades) [nivel 3]
- Entradas al proceso
- Salidas del proceso
- Recursos (estrategias - técnicas - herramientas)

Figura 28. Caracterización análisis de condición de equipos



5.5 CARACTERIZACIÓN MODELAMIENTO DE SISTEMAS

Para la caracterización del proceso se tienen en cuenta los siguientes ítems, tal y como se ilustra en la siguiente figura:

- Nombre proceso [nivel 2]
- Proceso superior o padre [nivel 1]
- Procesos inferiores (conjunto de actividades) [nivel 3]
- Entradas al proceso
- Salidas del proceso
- Recursos (estrategias - técnicas - herramientas)

Figura 29. Caracterización modelamiento de sistemas



5.6 CARACTERIZACIÓN MEDICIÓN DE INDICADORES DE CONFIABILIDAD

Para la caracterización del proceso se tienen en cuenta los siguientes ítems, tal y como se ilustra en la siguiente figura:

- Nombre proceso [nivel 2]
- Proceso superior o padre [nivel 1]
- Procesos inferiores (conjunto de actividades) [nivel 3]
- Entradas al proceso
- Salidas del proceso
- Recursos (estrategias - técnicas - herramientas)

Figura 30. Caracterización medición de indicadores de confiabilidad



5.7 CARACTERIZACIÓN EVALUACIÓN FINANCIERA DE ACTIVO

Para la caracterización del proceso se tienen en cuenta los siguientes ítems, tal y como se ilustra en la siguiente figura:

- Nombre proceso [nivel 2]
- Proceso superior o padre [nivel 1]
- Procesos inferiores (conjunto de actividades) [nivel 3]
- Entradas al proceso
- Salidas del proceso
- Recursos (estrategias - técnicas - herramientas)

Figura 31. Caracterización evaluación financiera de activos



5.8 CARACTERIZACIÓN AUDITORIA DEL PROCESO DE MANTENIMIENTO

Para la caracterización del proceso se tienen en cuenta los siguientes ítems, tal y como se ilustra en la siguiente figura:

- Nombre proceso [nivel 2]
- Proceso superior o padre [nivel 1]
- Procesos inferiores (conjunto de actividades) [nivel 3]
- Entradas al proceso
- Salidas del proceso
- Recursos (estrategias - técnicas - herramientas)

Figura 32. Caracterización auditoría del proceso de mantenimiento



5.9 CARACTERIZACIÓN PROCESO ELIMINACIÓN DE DEFECTOS

Para la caracterización del proceso se tienen en cuenta los siguientes ítems, tal y como se ilustra en la siguiente figura:

- Nombre proceso [nivel 2]
- Proceso superior o padre [nivel 1]
- Procesos inferiores (conjunto de actividades) [nivel 3]
- Entradas al proceso
- Salidas del proceso
- Recursos (estrategias - técnicas - herramientas)

Figura 33. Caracterización eliminación de defectos



6 CONCLUSIONES

- Con el desarrollo de este proyecto se obtiene integrar diferentes estrategias, técnicas y herramientas de ingeniería de confiabilidad a través de la estructuración de un mapa de procesos orientado a soportar técnicamente el mantenimiento de una organización industrial, usando como marco de referencia los pilares de confiabilidad de la SMRP y el enfoque de la confiabilidad operacional.
- A través del estudio de las prácticas de mantenimiento empleadas en diferentes industrias del sector energético (agroindustrial, minero y del oíl & gas) y su contexto operacional, se pudo evidenciar en ellas un alto nivel en el uso de conceptos de confiabilidad logrando beneficios importantes en muchos de los casos, mientras que sectores como el público y el alimentario están iniciando procesos aislados de implementación.
- La versatilidad de los diferentes conceptos de confiabilidad ha permitido que procesos originales de industrias altamente seguras en sus actividades como son la aeronáutica y nuclear, hayan sido apropiadas por otras industrias bajo ligeros cambios de adaptación a sus contextos operacionales.
- Para la implementación de un mapa de procesos como el expuesto en este proyecto, es importante resaltar que el contexto operacional es vital al momento de elegir las estrategias, técnicas o herramientas a adoptar, pues se es conveniente realizar un análisis del nivel de organización requerido para administrar algunos de ellos o incluso contar con los recursos financieros para apalancar la implementación.

7 RECOMENDACIONES

Si bien se describen en el capítulo 2 algunos de los tópicos más relevantes de las diferentes estrategias, técnicas y herramientas de ingeniería de mantenimiento y confiabilidad que se usaron para el desarrollo de este proyecto, cabe resaltar que dentro del alcance no se contempló una profundización en estos conceptos, los cuales para su implementación requieren en algunos casos un alto nivel de dominio e inversión. Por lo tanto se recomienda impulsar previamente la gestión del conocimiento y generar estrategias para impulsar la formación del personal que en primera instancia pueda estar involucrado con procesos de implementación, ya que lo ideal es que todo el personal tenga conocimiento de las estrategias para facilitar su aporte a la gestión.

Para el caso particular de la universidad, se recomienda iniciar con propuestas de formación específica en el área de confiabilidad ya que los requerimientos de personal entrenado en estos tópicos se encuentra en crecimiento debido a la cantidad de industrias que están adoptando estas metodologías. Que si bien, algunas herramientas requieren de altos costos de implementación, otras requieren solo de tener un dominio adecuado del tema para obtener beneficios representativos en organizaciones industriales en el mediano y corto plazo.

BIBLIOGRAFÍA

BECERRA SOLÓRZANO, Guillermo y GARCÍA PALENCIA, Oliverio. Sistema Integrado de Confiabilidad Operacional para el área de servicios industriales de Bavaria S. A. Cervecería de Boyacá [Consultado mayo 2014]. Disponible en http://virtual.uptc.edu.co/drupal/files/112_ind_mant_gestion.pdf

BEDOYA, Manuel [online]. Elementos básicos de la gestión de procesos, [consultado abril 2014]. Disponible en <http://www.slideshare.net/d1305/elementos-basicos-de-la-gestin-de-procesos>

CARRALER ALMAGUER, Katia Onelia et. al. Sistema de Confiabilidad Integral de Activos (SCIA), [consultado mayo 2014]. Disponible en <http://www.laccei.org/LACCEI2013-Cancun/RefereedPapers/RP234.pdf>

GALINDO DÍEZ, Xavier. Sistemas integrados de seguridad. Ingeniería en automatización y electrónica industrial. P81-85. Disponible en <http://deeea.urv.cat/public/PROPOSTES/pub/pdf/1232pub.pdf>

INSTITUTE OF ASSET MANAGEMENT. The PASS Assessment Methodology (PAM). Version 1. 2009

JORNADA DE PUERTAS ABIERTAS PMM BUSINESS SCHOOL (1: 10, mayo, 2014 [online]. Memorias: De la evolución de la Gestión de Mantenimiento a la Gestión de Activos PAS 55 - ISO 55000 PMM-BS. Disponible en <https://www.youtube.com/watch?v=urBdi9sTY0I>

JULIAO, David Henrique. Modelo de mantenimiento basado en RCM para las subestaciones portátiles 69 kv / 7,2 kv de la empresa carbones del Cerrejón, Ltd.

Monografía en Gerencia de Mantenimiento. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, escuela de ingeniería Mecánica. 2012.

MOUBRAY, John. Mantenimiento centrado en confiabilidad. México: Aladon, 2004.

PAREDES RODRIGUEZ, Francis. "LEAN MAINTENANCE" El nuevo enfoque para optimizar el mantenimiento, [consultado julio 2014]. Disponible en http://es.wikipedia.org/wiki/Lean_manufacturing

PEREZ, Carlos Mario. Confiabilidad y evolución del mantenimiento, [Consultado abril 2014]. Disponible en <http://www.soporteycia.com/articulos/confiabilidad/RCM-Articulo-confiabilidad-evolucion-Abr-18-2011.pdf>

PEREZ, Carlos Mario. Los modelos de gestión integral de activos, [Consultado abril 2014]. Disponible en <http://www.soporteycia.com/articulos/confiabilidad/CAP-Articulo-modelos-gestion-activos-14-Dic-2012.pdf>

PREPARACION PARA LA PRESENTACIÓN DEL EXAMEN DE CERTIFICACION EN CONFIABILIDAD (3: 2 – 4, diciembre, 2009: Bogotá, Colombia). Memorias: Guía para la certificación CMRP. Bogotá: ACIEM, 2009. 36 p.

RELIASOFT CORPORATION. MSMT foundations – RS401: Ingeniería de confiabilidad y análisis de datos de vida. Brasil. 2005

RELIASOFT CORPORATION. MSMT foundations – RS403: Fundamentos de la confiabilidad de sistemas. Bogotá. 2010

RODRIGUEZ, Valmore. PDVSA: Una implementación exitosa de Gerencia de Activos Basada en Riesgo. [Consultado junio 2014]. Caso de éxito PDVSA & The

Woodhouse Partnership Ltd 2002. Disponible en <http://www.mantenimientomundial.com/sites/mm/notas/bernardo8.pdf>

SERNA, Aníbal. Memorias curso de integridad. Especialización en gerencia de mantenimiento. Bogotá. 2013.

SILVA, Pedro. Memorias capacitación en confiabilidad humana en mantenimiento, Barrancabermeja. 2012

WIKOFF, Darrin. Reformando el azúcar. En: Revista virtual Confiabilidad.net [online]. [Consultado mayo, 2014]. Disponible en: <http://www.1reliability.com/articulos/reformando-el-azucar/reformando-el-azucar>