

PLAN DE MANTENIMIENTO PARA EQUIPOS DE WORKOVER BAJO
LINEAMIENTOS DE LA PAS 55 – 1: 2008

LUIS EDUARDO HUERTAS RIAÑO

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA

2013

PLAN DE MANTENIMIENTO PARA EQUIPOS DE WORKOVER BAJO
LINEAMIENTOS DE LA PAS 55 – 1: 2008

LUIS EDUARDO HUERTAS RIAÑO

Monografía de Grado

Presentada como requisito para optar el título de
ESPECIALISTA EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO

DIRECTOR

PEDRO ALONSO JIMENEZ JARA

INGENIERO MECANICO

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-MECÁNICAS

ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA

ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO

BUCARAMANGA

2013

AGRADECIMIENTOS

Agradecerte es poco por toda la felicidad que me das junto con mis seres queridos. Gracias Dios por permitirme vivir tanto tiempo junto a ellos y por todo lo bueno que tengo en esta vida.

Para mi querida esposa Fedra Elizabeth por su infinito amor paciencia y comprensión.

Para mis hijos Laura Sofía y Juan Esteban, el motivo más grande de mi vida.

A mis padres Luis Eduardo y Alcira por los valores inculcados de disciplina , respeto y honestidad para conseguir mis metas.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	12
1. CONTEXTUALIZACIÓN.....	13
1.1 Historia de la compañía.	13
1.1.2 Ubicación Espacial:.....	14
1.1.3 Organigrama de la Compañía:	16
1.1.4 Gobierno Corporativo:	16
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.	18
2.1 Objetivos.....	19
2.1.1 Objetivo General:	19
2.1.2 Objetivos Específicos:	19
3. MARCO TEORICO.....	20
3.1 PAS 55	20
2.1.1 Gestión de Activos:.....	20
2.1.2 Características de PAS 55 deseables en mantenimiento.....	22
2.1.3 Estructura de la PAS 55.	23
3.2 RCM – Mantenimiento Centrado en Confiabilidad:.....	24
3.2.1 Filosofía del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad.	25
3.3 Análisis del Costo de ciclo de vida útil de los sistemas.....	27
3.4 El Problema de la Visibilidad del costo.	28
4. TRATAMIENTO DE LA INFORMACION.....	30
3.1 Indicadores Calculados En la compañía.....	30
4.1.1 Disponibilidad:.....	30
4.1.2 Confiabilidad:	32
3.2 Análisis de los Tiempos Medios Entre Fallas (MTBF):	34
3.3 Análisis de los Históricos Disponibilidad.....	35
5. PLAN DE MANTENIMIENTO ALINEADO CON LA PAS 55.....	36

5.1	Tipos de Activos.	36
5.2	Optimización del Plan de Mantenimiento Interactuando con la fase del ciclo de vida Útil de los Activos físicos.....	36
5.3	La Estructura de un sistema de gestión de activos.....	38
5.4	Controles y habilitadores para de la gestión de activos.....	40
5.4.1	Estructura, autoridad y responsabilidad.	40
5.5	Implementación de planes de gestión de activos.	40
5.5.1	Manejo del cambio.	40
5.5.2	Evaluación y mejora del desempeño.....	40
5.5.3	Revisión de la Gerencia.	40
5.5.4	Mejores Prácticas en Mantenimiento.	40
5.5.5	Estándares para las Mejores Prácticas del Mantenimiento:.....	41
5.6	Calculo del costo de las funciones del ciclo de vida.	42
5.6.1	La estructura del desglose del costo.....	43
5.6.2	Tratamiento del coste a lo largo del ciclo de vida.....	44
5.6.3	Desarrollos de los datos de los costos.....	47
5.7	RCM- Mantenimiento Centrado en Confiabilidad.....	48
5.7.1	Historia del RCM.....	48
5.7.2	Definición de RCM.	48
5.7.3	RCM: Siete preguntas básicas.....	49
5.7.4	Flujo de un Proceso de RCM.	49
5.8	Definición del Sistema de Inventarios de los repuestos.....	55
5.8.1	Logística.....	55
5.8.2	Pronósticos:	56
6.	CONCLUSIONES.....	58
7.	RECOMENDACIONES	59
	BIBLIOGRAFIA.....	60

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Historia de la Compañía.	14
Ilustración 2. Ubicación Geográfica Independence Bogotá.	15
Ilustración 3. Ubicación Geográfica Independence Factory.	15
Ilustración 4. Organigrama de la Compañía.	16
Ilustración 5. Gobierno Corporativo	17
Ilustración 6. Equipos de Workover.	18
Ilustración 7. Equipos de Perforación Water.	18
Ilustración 8. Principios y Atributos Claves Para la Gestión de Activos.	23
Ilustración 9. Estructura de PAS 55	24
Ilustración 10. Ciclos de Vida de Producción, Proceso y Apoyo.	28
Ilustración 11. Efecto Iceberg. El problema de la visibilidad del costo total.	29
Ilustración 12. Ecuación de Disponibilidad Generica.	31
Ilustración 13. Indicadores de Independence	31
Ilustración 14. Disponibilidad por Unidad de Negocio.	32
Ilustración 15. Ecuación de Teimpo Promedio Entre Fallas.	33
Ilustración 16. Gráfica de Confiabilidad	34
Ilustración 17. Tiempo Medio Entre Falla de Energy Año 2012	35
Ilustración 18. Enfoque y contexto del negocio de PAS en relación a las categorías de activos.	37
Ilustración 19. Niveles de activos y su gestión.	37
Ilustración 20. Vista global del sistema de gestión de activos, su relación al plan estratégico organizacional y las expectativas de las partes interesadas.	38
Ilustración 21. Elementos de Planificación de un sistema de gestión de activos. ...	39
Ilustración 22. Sistema Integrado y Planificado de Mantenimiento.	41
Ilustración 23. Estructura del desglose del costo.	44
Ilustración 24. Perfil acumulado del costo del ciclo de vida	46
Ilustración 25. Perfiles de costo del ciclo de vida para varias alternativas.	47
Ilustración 26. Componentes de un programa de RCM.	50
Ilustración 27. Diagrama de flujo de un proceso de RCM.	54
Ilustración 28. Diagrama de Decisión del Proceso de RCM.	54

GLOSARIO

CORAZONAMIENTO: Procedimiento de extracción de muestreo de capas de la superficie terrestre

CLINCHER: Marca de una llave Hidráulica usada para soltar tubería de perforación.

HOLISTICO: La holística es aquello perteneciente al holismo, una tendencia o corriente que analiza los eventos desde el punto de vista de las múltiples interacciones que los caracterizan.

El holismo supone que todas las propiedades de un sistema no pueden ser determinadas o explicadas como la suma de sus componentes. En otras palabras, el holismo considera que el sistema completo se comporta de un modo distinto que la suma de sus partes.

WORKOVER: El termino Workover por sus siglas en ingles significar acondicionamiento y se utiliza para referirse a cualquier tipo de intervención de pozos de petróleo que utilicen técnica invasivas.

RESUMEN

TITULO: PLAN DE MANTENIMIENTO PARA EQUIPOS DE WORKOVER BAJO LINEAMIENTOS DE LA PAS 55 – 1: 2008*

AUTOR: LUIS EDUARDO HUERTAS R.**

PALABRAS CLAVES: CICLOS DE VIDA, RCM, INVENTARIOS.

DESCRIPCION O CONTENIDO: Esta monografía propone un direccionamiento gerencial, revisando los históricos de los tiempos medios entre fallas que se vienen calculando desde el año 2010 para los equipos de la empresa Energy de Independene S. A, se pretende postular una forma de implementar un plan de mantenimiento basado en el RCM y alineado con la PAS 55-1:2008, haciendo énfasis en el numeral 4.5 de la norma en mención, donde se habla específicamente de la implementación del plan o planes de la gestión de activos.

Crear una cultura dentro de la organización para el análisis detallado de los costos de los activos a través de su vida útil desde su adquisición hasta la desincorporación; así mismo establecer las mejores prácticas y tareas de mantenimiento en función de la vida útil de los activos y a su vez poder pronosticar la demanda de inventarios necesarios para su mantenimiento.

Para poder enfocar todos los esfuerzos de la organización y así tener una visión global de la Gestión de sus activos, es indispensable partir del RCM “Mantenimiento centrado en confiabilidad” como herramienta de mantenimiento para Preservar las funciones de sus activos, evitar o disminuir las consecuencias de las fallas e implementar planes costo efectivos contra las fallas.

* Monografía.

** facultad de Ingenierías Fisico-Mecanicas. Especialización en Gerencia de Mantenimiento, Director Ing. Pedro Alonso Jimenez Jara

ABSTRACT

TITLE: MAINTENANCE PLAN UNDER EQUIPMENT GUIDELINES WORKOVER
PAS 55-1: 2008

AUTHOR: LUIS EDUARDO HUERTAS RIAÑO*

KEYWORDS: CYCLES OF LIFE, RCM, INVENTORIES.**

DESCRIPTION OR CONTENT: This paper proposes a routing management, reviewing historical mean times between failures that have been calculated since 2010 for company equipment Independene Energy S. A, is intended to establish a way to implement a maintenance plan based on the RCM and aligned with the PAS 55-1:2008, emphasizing in paragraph 4.5 of the standard in question, which speaks specifically of implementing the plan or plans asset management.

Create a culture within the organization for detailed analysis of the cost of assets over their useful life from acquisition to divestiture, so the same set of best practices and maintenance based on the useful life of the assets and turn to forecast inventory demand needed for maintenance.

In order to focus all efforts of the organization and thus have an overview of the management of its assets, is indispensable from RCM "Reliability Centered Maintenance" as a maintenance tool to preserve the functions of their assets, avoid or reduce the consequences of faults and implement cost-effective plans against failure.

* Monografía.

** facultad de Ingenierías Fisico-Mecanicas. Especialización en Gerencia de Mantenimiento, Director Ing. Pedro Alonso Jimenez Jara.

INTRODUCCIÓN

La compañía en aras de buscar las buenas prácticas basadas en Confiabilidad y Mantenibilidad de sus activos desea llevar a cabo una estrategia que permita administrar de manera óptima sus activos físicos y el comportamiento, riesgos y gastos de los mismos durante su ciclo de vida útil con el fin de alcanzar el plan estratégico organizacional.

Se debe hacer un RCM como método de revisión de los requerimientos de mantenimiento con el fin de revisar los planes creados en JD Edwards (software de Mantenimiento), pues en la práctica se presentan fallas que son costosas y fácilmente prevenibles.

Se tomará como guía indispensable la Norma PAS 55, para enfocar la estrategia de mantenimiento alineada con la gestión de activos y el costo de vida útil.

Con el presente trabajo se pretende optimizar la disponibilidad y confiabilidad de los Equipos de Workover minimizando el tiempo medio entre fallas y a su vez optimizar los repuestos de stock necesarios.

1. CONTEXTUALIZACIÓN

1.1 Historia de la compañía.¹

A continuación se evidencia un resumen gráfico de la historia de Innovación de la compañía donde:

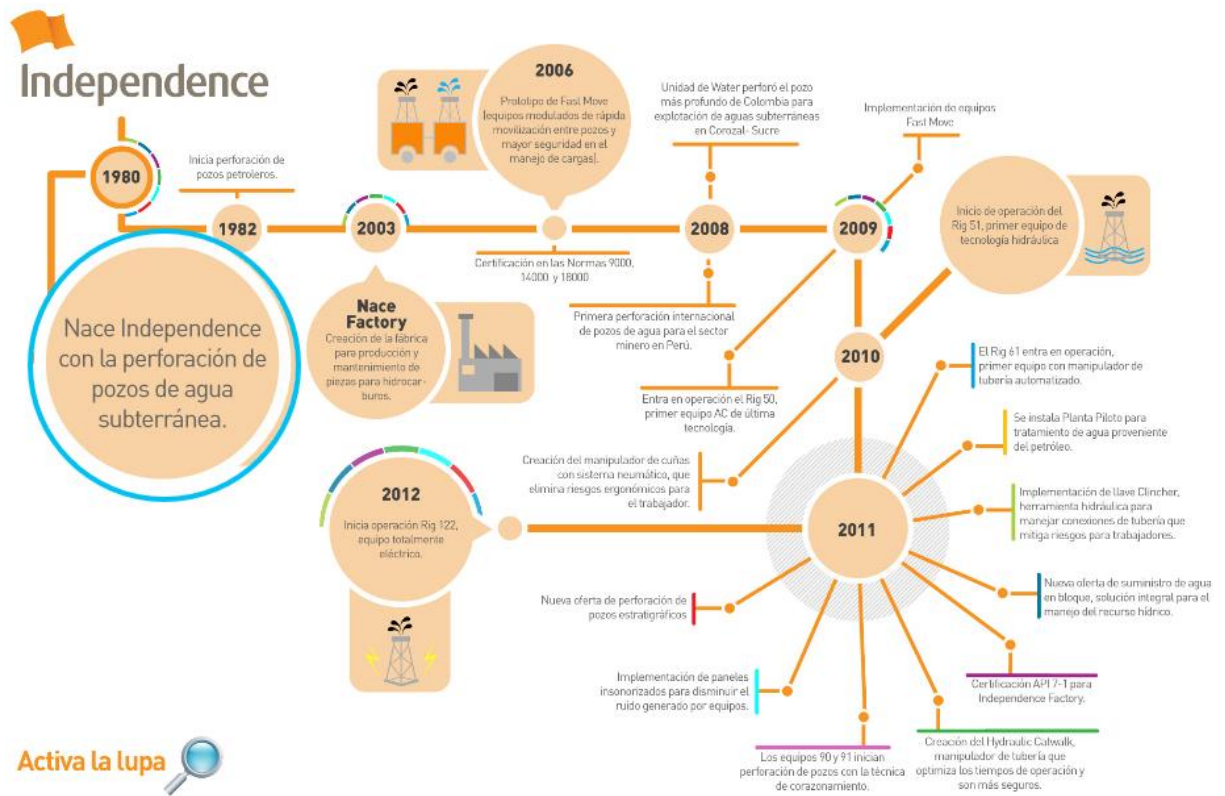
- En 1980: Nace Independence con la perforación de pozos de agua subterránea
- En 1982: Inicia la perforación de pozos petroleros.
- En el 2003: Nace la unidad de Negocio FACTORY para la producción y mantenimiento de piezas para hidrocarburos.
- En el 2006: Se generan prototipos de “Fast Move” equipos modulados de rápida movilización y mayor seguridad en el manejo de cargas, se logra la certificación en las normas ISO 9000, ISO 14000 e ISO 18000.
- En el 2008: La unidad de negocio de WATER perforó el pozo de agua más profundo de Colombia para explotación de aguas subterráneas en Corozal-Sucre, de igual manera se proyecta internacionalmente con la perforación de pozos de agua en Perú.
- En el 2009: Se lleva a cabo la implementación de equipos Fast Move y entra en operación el primer equipo AC de última tecnología.
- En el 2010: Inicia la operación del RIG 51, primer equipo de tecnología hidráulica, se crea el manipulador de cuñas con sistema neumático, que elimina riesgos ergonómicos para el trabajador.
- En el 2011: Entra en operación el RIG 61 como el primer equipo con manipuladora de tubería automatizado, se instala plantas piloto para tratamiento de agua proveniente del petróleo, se lleva a cabo la implementación de llaves Clincher como una herramienta hidráulica para manejar conexiones de tubería que mitiga riesgos a los trabajadores, se genera nuevas ofertas para suministro de agua en bloques como una solución integral para el manejo del recurso hídrico, se obtiene la certificación API 7-1 para la Unidad de Negocio FACTORY, se crea el manipulador de tubería Hydraulic Catwalk el cual optimiza los tiempos de

¹ <http://www.independence.com.co/perforacion/perforaciones-y-equipos/>

operación y son más seguros, los equipos RIG 90 y RIG 91 inician perforación de pozos con la técnica de corazonamiento. Se implementa los paneles de insonorización para minimizar el ruido generado en los equipos de la compañía, se dan nuevas ofertas de perforación de pozos estratigráficos.

- En el 2012: Inicia operación con el RIG 122.

Ilustración 1. Historia de la Compañía.



Fuente: Pagina web de la compañía.

1.1.2 Ubicación Espacial:

Las Oficinas Principales se encuentra ubicada actualmente en la ciudad de Bogotá en la Calle 100 N° 7- 33, donde se gestiona todos los procesos Administrativos.

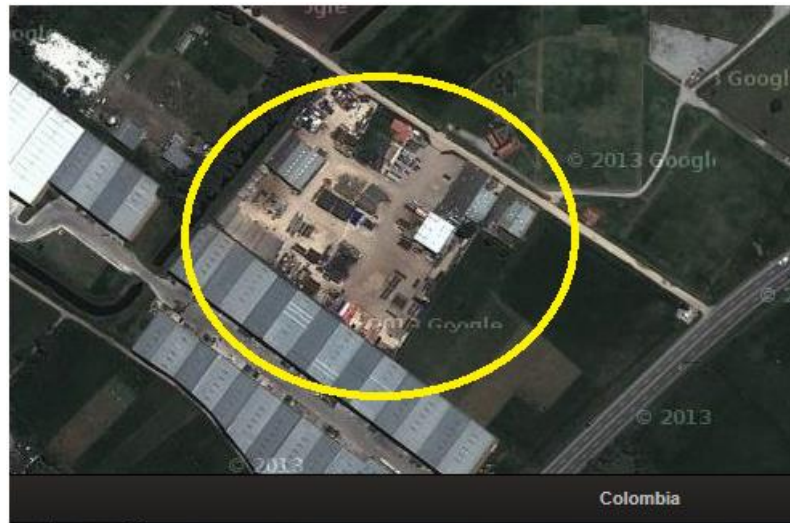
La otra sede se encuentra ubicada en el Km 3 vía Siberia - Funza donde se realizan trabajos de mantenimiento, mecanizados y Ensamblados.

Ilustración 2. Ubicación Geográfica Independence Bogotá.



Fuente: <http://googleearthonline.blogspot.com/>

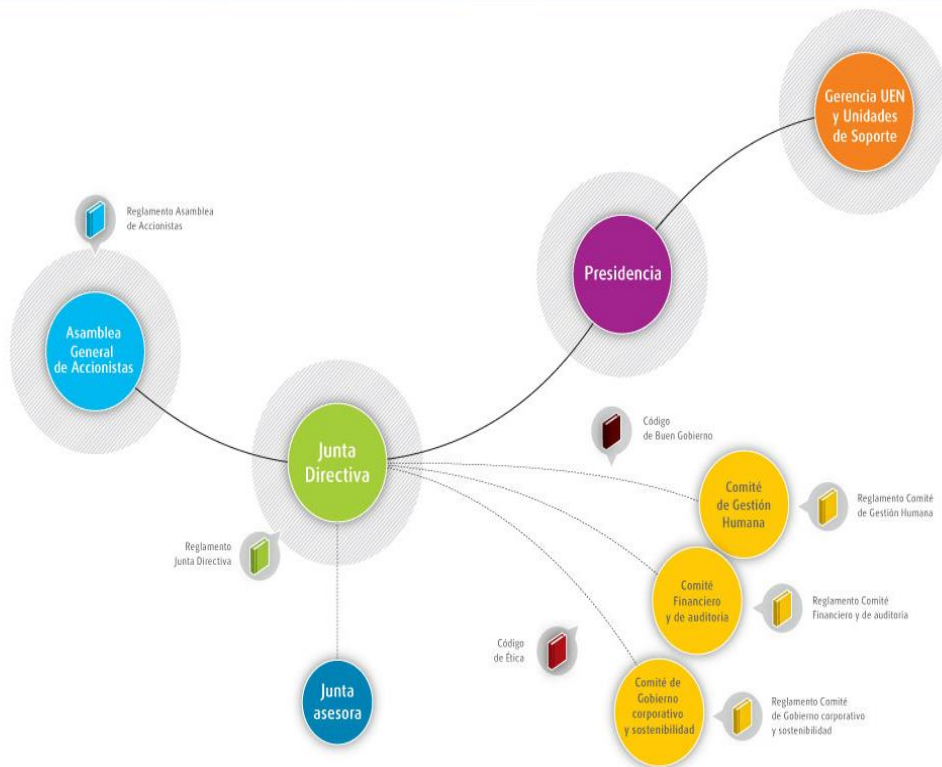
Ilustración 3. Ubicación Geográfica Independence Factory.



Fuente: <http://googleearthonline.blogspot.com/>

1.1.3 Organigrama de la Compañía:²

Ilustración 4. Organigrama de la Compañía.



Fuente: <http://www.independence.com.co/perforacion/nosotros/>

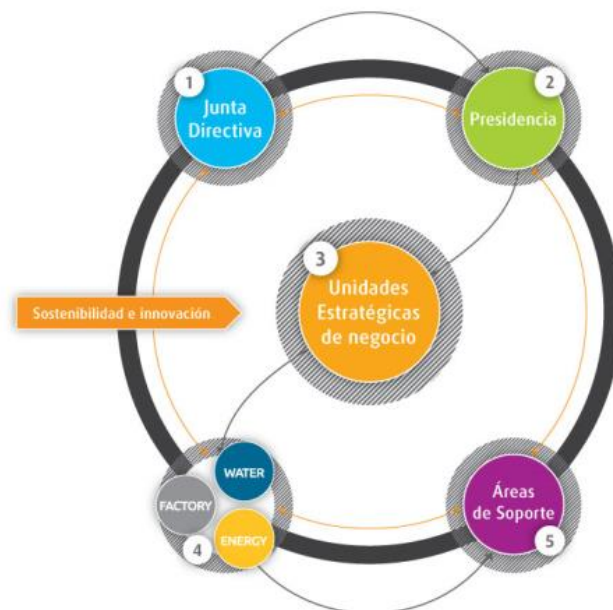
1.1.4 Gobierno Corporativo:

La estructura corporativa de la compañía está compuesta de la siguiente manera:

- ✓ Junta Directiva.
- ✓ Presidencia.
- ✓ Unidades Estratégicas de Negocio.
 - Water
 - Factory.
 - Energy.

² <http://www.independence.com.co/perforacion/nosotros/>

Ilustración 5. Gobierno Corporativo



Fuente: <http://www.independence.com.co/perforacion/nosotros/>

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

Independence S.A. es una empresa Colombiana con más de 30 años de experiencia en la prestación de servicios Integrales asociados a la perforación y mantenimiento de pozos de petróleo y pozos de agua conformando las unidades de negocio de Energy y Water respectivamente. Existe otra unidad de negocio llamada Factory la cual se encarga de la fabricación y reparación de herramientas y/o equipos de la compañía.

Independence Energy y Water, siendo las Unidades de Negocio de Independence, dedicadas a perforación y workover, han evidenciado tiempos promedios entre fallas por debajo de las metas establecidas por la compañía, los cuales acarrearán pérdidas de producción y generan inconformismo del cliente por la indisponibilidad de sus Activos.

Actualmente la empresa se ve comprometida a responder a todos sus grupos de interés, con el compromiso de obtener metas muy altas en un corto plazo y a su vez que se logre un desarrollo sostenible de todos sus activos con el propósito de alinearlos con las mejores estrategias de mantenimiento y gestión de activos.

Ilustración 6. Equipos de Workover.



Fuente: Ubicación de Un Equipo de Workover en campo Guando- Petrobras

Ilustración 7. Equipos de Perforación Water.



Fuente: Ubicación de Un Equipo de Workover en campo Guando- Petrobras.

2.1 Objetivos.

2.1.1 Objetivo General:

- Realizar un plan de mantenimiento alineado con la Norma PAS 55, con el fin de mejorar y garantizar el desarrollo sostenible de los activos (físicos, humanos, financieros) de forma optimizada.

2.1.2 Objetivos Específicos:

- Realizar Plan de Mantenimiento basado en RCM garantizando extender la vida útil y la confiabilidad de sus activos, alineado con un sistema de gestión de mantenimiento que sea específico, auditable contra estándares internacionales.
- Establecer las mejores prácticas de mantenimiento con la finalidad de incrementar en sus activos humanos el conocimiento, habilidades, competencia y actitudes para lograr mejorar la cultura organizacional.
- Orientar los esfuerzos a mejorar los procesos de gestión de compras e inventarios y tecnologías de la información, las cuales soportan la razón del negocio y así lograr alcanzar un resultado deseado y sustentable.

3. MARCO TEORICO.

3.1 PAS 55³

La BSI (Instituto de Estándares Británicos) PAS 55 cubre todos los elementos de gestión de activos en las diferentes etapas del ciclo de vida, desde la ingeniería, operación, mantenimiento y desincorporación - renovación de los activos. Posee requerimientos claros en términos de gestión de riesgos, ciclos de vida, costos y desempeño de manera óptima.

La PAS 55 básicamente la integra dos partes así:

- PAS 55-1:2008 Especificaciones Para la Gestión Optimizada de Activos Físicos.
- PAS 55-2: 2008 Directrices Para la Aplicación de PAS 55 -1

2.1.1 Gestión de Activos:⁴

La gestión de Activos se define según la PAS 55:2008 como “conjunto de actividades y prácticas coordinadas y sistemáticas por medio de las cuales una organización maneja de manera óptima y sustentable sus activos y sistemas de activos, su desempeño, riesgos y gastos a lo largo de su ciclo de vida con el fin de lograr su plan estratégico organizacional.

El plan estratégico organizacional es un plan global a largo plazo para la organización que se deriva de, y acoge su visión, misión, valores, políticas del negocio, requerimientos de las partes interesadas objetivos y manejo de sus riesgos

El ciclo de vida abarca desde la concepción de un activo hasta la desincorporación y/o renovación, pasando por el diseño, construcción, puesta en marcha, operación

El termino optimización se refiere a la mejor relación de costos, riesgo y eficiencia.

³ Gestión de Mantenimiento Bajo BSi PAS 55 Asset Management; MSc. Jose Bernardo Duran pag 2

⁴ PAS 55-1:2008; Gestion de Activos Asset Management Parte 1: Especificaciones para la gestión optimizada de activos físicos; pag 5

La implementación efectiva de la gestión de activos requiere de un enfoque disciplinado que habilite a una organización a maximizar el valor y lograr sus objetivos estratégicos a través de la gestión de sus activos durante los ciclos completos de vida. Esto incluye en primer lugar la determinación para adquirir o crear activos apropiados para operarlos, mantenerlos mejor, la adopción de opciones optimas de reemplazo, desincorporación y/o disposición.

Los beneficios principales de la gestión optimizada de activos a través de ciclo de vida, incluye sin seguir un orden en particular los siguientes puntos:

- ✓ Satisfacción mejorada del cliente a partir de un desempeño mejorado y el control del producto o la entrega del servicio con los estándares requeridos.
- ✓ Salud, seguridad y desempeño ambiental mejorados.
- ✓ Retorno optimizado sobre la inversión y/o crecimiento.
- ✓ Planificación a largo plazo, confianza y sostenibilidad del desempeño.
- ✓ La capacidad de demostrar e mejor valor por el dinero dentro de un régimen restringido de fondos.
- ✓ Evidencia en forma de procesos controlados y sistemáticos para demostrar acatamiento legal regulatorio y de estatutos.
- ✓ Manejo mejorado de los riesgos y del gobierno corporativo y clara trazabilidad para auditar la idoneidad de las decisiones tomadas y los riesgos asociados.
- ✓ Una reputación corporativa mejorada para las partes interesada, un mejor mercadeo de producto/servicio, mayor satisfacción del personal y una procura más eficiente y efectiva de la cadena de suministro.
- ✓ La habilidad para demostrar que el desarrollo sostenible se toma en cuenta activamente dentro de la gestión de los activos a lo largo de sus ciclos de vida.⁵

⁵ PAS 55-1:2008; Gestion de Activos Asset Management Parte 1: Especificaciones para la gestión optimizada de activos físicos; pag 5

2.1.2 Características de PAS 55 deseables en mantenimiento.⁶

PAS 55:2008 es una serie de 28 requerimientos de gestión de activos con las siguientes características:

- La definición anterior es aplicable a todo sector industrial o de servicios dependientes de activos físicos o de infraestructura.
- Gestión de activos no es prescriptiva, es decir no recomienda ninguna práctica ni tecnología en particular.
- Gestión de activos no es un tema solo de mantenimiento, no es un tema de ingeniería y no es un tema de operación de los activos, en realidad se trata de una disciplina que integra estos tres pilares bajo una misma visión.
- Gestión de activos no trata de minimizar costos, o minimizar riesgos o maximizar el desempeño, se debe considerar de manera óptima el costo, riesgo y desempeño.
- Se debe considerar el ciclo de vida total partiendo desde la concepción de los activos hasta su desincorporación/ renovación pasando por las diferentes etapas de ingeniería, operación y mantenimiento.

Los siete elementos de una buena gestión cubiertos por PAS 55:

Estos elementos genéricos son claves en cualquier sistema de gestión de mantenimiento y están cubiertos por PAS 55

- **Holístico:** el sistema debe ser multidisciplinario y enfocarse en todos los puntos de vista y valores.
- **Sistemático:** debe aplicarse de manera rigurosa en un sistema de gestión estructurado
- **Sistémico:** los activos deben cuidarse desde un punto de vista global, observando todos los elementos que agregan o restan valor y no con visiones particulares.
- **Basado en riesgo:** la evaluación de riesgos debe estar presente en todas las tomas de decisiones y planes.

⁶ Gestión de Mantenimiento Bajo BSi PAS 55 Asset Management; MSc. Jose Bernardo Duran pag 5

- **Óptimo:** métodos claros para obtener el mejor beneficio para la organización ante objetivos en conflicto (ej: Almacén y Mantenimiento).
- **Sustentable:** la gestión debe cubrir el ciclo de vida total de los activos desde el diseño a la desincorporación, considerando la edad de los mismos, el deterioro con el tiempo, opciones de renovación, mejoramiento, etc.
- **Integrado:** se deben integrar los intereses y obligaciones de todas las partes que juegan en un papel en la gestión de los activos, esto cubre desde accionistas, trabajadores, clientes, reguladores, etc.

Ilustración 8. Principios y Atributos Claves Para la Gestión de Activos.



Fuente: PAS 55-1:2008; Gestión de Activos Asset Management Parte 1

2.1.3 Estructura de la PAS 55.

PAS 55 posee la estructura de cualquier norma ISO (Basada en Cirulos de Mejora Continua: Planificar, Hacer, Verificar y Actuar)⁷

⁷ Gestión de Mantenimiento Bajo BSi PAS 55 Asset Management; MSc. Jose Bernardo Duran pag 4

Ilustración 9. Estructura de PAS 55



Fuente: PAS 55-1:2008; Gestión de Activos Asset Management Parte 1

3.2 RCM – Mantenimiento Centrado en Confiabilidad:

Por qué Confiabilidad?

El objetivo básico de cualquier gestión de mantenimiento, consiste en incrementar la Disponibilidad de sus activos, a bajos costos partiendo de la ejecución permitiendo que dicho activos funcionen de forma eficiente y confiable dentro de un contexto operacional

Mejorar los procesos de mantenimiento implica la reingeniería de los mismos y un incremento en la eficacia de los recursos para ello se debe: ⁸

- ✓ Eliminar las tareas de mantenimiento sin propósito o que no sean costo efectivo.
- ✓ Eliminar todos los esfuerzos Duplicados en que diferentes grupos están ejecutando igual PM (Mantenimiento Preventivo) sobre el mismo equipo.
- ✓ Dirigir la filosofía del mantenimiento al mantenimiento basado en condición.

⁸ OMCS Latin America; www.pmoptimization.com

- ✓ Crear tareas de Mantenimiento orientadas a prevenir los modos de falla con criterio y priorización económica
- ✓ Distribuir la carga de trabajo hacia los operadores y toda la organización.

Mantenimiento Centrado en Confiabilidad no solo se ha convertido en una metodología de alta aplicación en las empresas industriales cuyos activos requieren de una alta disponibilidad y una optimización de los costos operativos, sino también para atender las mayores exigencias que cada día tenemos en los aspectos de seguridad y preservación del medio ambiente⁹.

3.2.1 Filosofía del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad.¹⁰

Cualquier método probado y reputado tiene las características de ser “organizado y lógico” y entregar un producto concreto. Por supuesto MCC lo es y su intención final es construir o modificar el plan de mantenimiento de la empresa.

Pero como filosofía, no solo se queda en ese producto tangible. También debe considerarse como un medio para gestionar el conocimiento de mantenimiento, por ejemplo documentando las bases del plan de mantenimiento para que en las futuras revisiones sirva de referencia.

Para muchos, dejar a un lado el tema “costos” sería un olvido garrafal. Por ello, debemos advertir que MCC también es una filosofía que ayuda a conservar un balance óptimo entre el costo del mantenimiento y la confiabilidad del servicio.

Las principales claves identificadas en la metodología del MCC, son las siguientes:

- ✓ Buscar la preservación de las funciones más que la preservación de los mismos equipos por sí solos.
- ✓ Enfocarse en evitar, reducir o eliminar las consecuencias, más que en evitar las fallas.
- ✓ Orientar los esfuerzos a construir defensas costo-efectivas razonables contra fallas, permitiendo algunas fallas.
- ✓ Priorizar técnicas predictivas y de condición sobre las preventivas o correctivas.

⁹ Mantenimiento Centrado en Confiabilidad MCC; Daniel Ortiz Plata pag 3

¹⁰ Mantenimiento Centrado en Confiabilidad MCC; Daniel Ortiz Plata pag 6

- ✓ Hacer énfasis en la búsqueda de la extensión de la vida útil del equipo.
- ✓ Resaltar el hecho de que los equipos modernos tienen múltiples formas de probabilidad de falla y no solo por la curva de la bañera o por vejez.
- ✓ Requerir de la disponibilidad de personas e información que permita identificar los modos de falla de los equipos y sus consecuencias, más que una alta exigencia en la disponibilidad de histórico de fallas.
- ✓ Exigir que, una vez actualizado el plan de mantenimiento, el registro de los trabajos y de las fallas se haga sistemáticamente.
- ✓ Adicionar el detectivo o búsqueda de fallas como tipo de mantenimiento, complementario a los ya conocidos, como son el preventivo, predictivo y correctivo.
- ✓ Optimizar la disponibilidad de plantas y equipos sin descuidar la Seguridad, el Medio Ambiente, los costos y cualquier otro factor empresarial crítico.
- ✓ Desarrollar planes teniendo en cuenta condiciones ambientales, requerimientos de clientes y regulatorios, condiciones operativas y de mantenibilidad.
- ✓ Fijar tareas con base en la visión multidisciplinaria de todos aquellos que tienen una interacción directa con los equipos y el proceso productivo.
- ✓ Formular las políticas de mantenimiento por parte de los equipos multidisciplinarios cercanos a los equipos.
- ✓ Hacer partícipes a los fabricantes de los equipos pero en forma limitada.

De todos estos conceptos, hay uno que vale la pena profundizar un poco más. Es el relacionado con la “Evolución de las probabilidades de fallas” de los equipos, ya que ello nos permitirá más adelante visualizar mejor nuestras opciones para decidir cuál tarea de mantenimiento y su frecuencia es mejor.

3.3 Análisis del Costo de ciclo de vida útil de los sistemas¹¹.

A lo largo del ciclo de vida útil de un Activo existen muchas decisiones y acciones, tanto técnicas como no técnicas, que se deben adoptar. La mayoría de las acciones, particularmente las que corresponden a las primeras fases, tienen implicaciones en el ciclo de vida e influyen en gran medida sobre su costo. Por tanto, se debe emplear el cálculo del costo del ciclo de vida en la evaluación de configuraciones alternativas de diseño del sistema, de esquemas alternativos de producción, de políticas alternativas de apoyo logístico, de conceptos alternativos para la eliminación del sistema, etc. La base del cálculo del coste del ciclo de vida está constituida por el propio concepto del ciclo de vida, adaptado al sistema específico que se diseña y desarrolla.

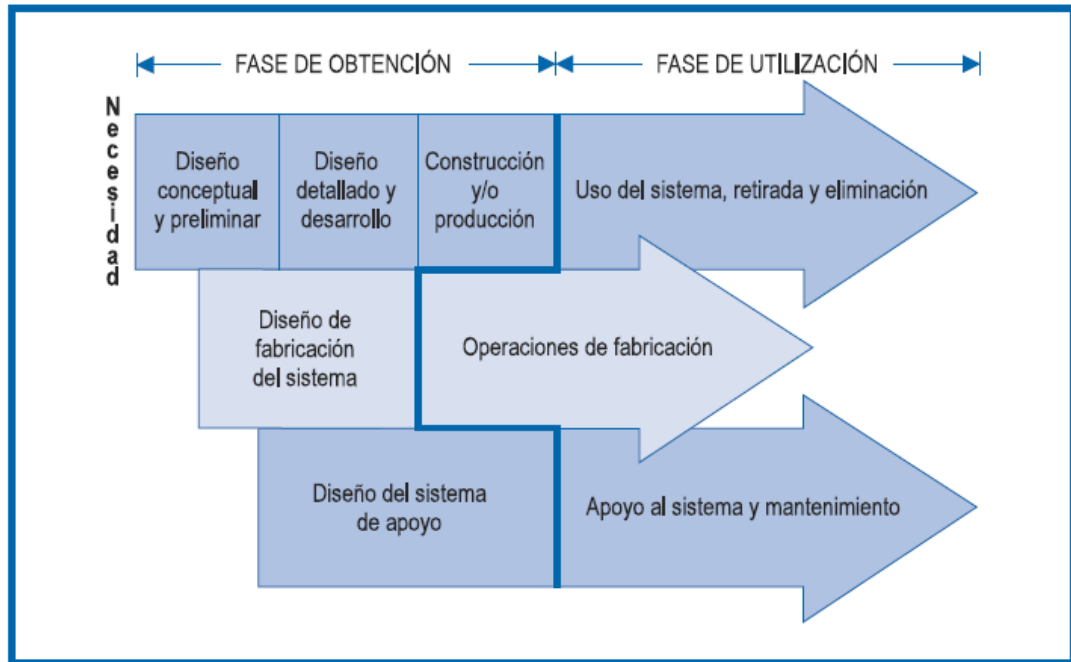
El diseño en la ingeniería tradicional se ha centrado principalmente en la fase de adquisición del ciclo de vida. Sin embargo, la experiencia reciente indica que no puede obtenerse un producto o sistema adecuadamente coordinado y operado, y que sea competitivo en el mercado, mediante acciones aplicadas mucho después de haber sido concebido.

Por tanto, es esencial que los ingenieros contemplen la viabilidad operativa durante las primeras etapas del desarrollo del producto y que asuman la responsabilidad del cálculo del coste del ciclo de vida, tan ignorado en el pasado. Este análisis implica un método secuencial que emplea los valores relevantes del coste del ciclo de vida como criterios para alcanzar un diseño apto desde el punto de vista de coste-efectividad.

A menudo, un diseño «bueno» para cumplir la función principal de un producto trae consigo efectos secundarios en forma de problemas operativos. Ello se debe a una consideración exclusiva de la función principal, en lugar de abordar el problema más exigente del diseño que satisfaga las numerosas «ilidades» (valga el vocablo para referirse a fiabilidad, mantenibilidad, soportabilidad, eliminabilidad, etc.). Se dispone de un conocimiento especializado suficiente para resolver este problema. La dificultad está en la sistematización del uso integrado de lo que se conoce. Existe una capacidad de integración de las consideraciones económicas dentro del campo de la economía aplicada a la ingeniería. Las consideraciones económicas son una base importante en la integración de los ciclos de vida del producto, la producción y el apoyo.

¹¹ Análisis del Coste del Ciclo de Vida de Los Sistemas; wolter j. Fabricky; pag 19

Ilustración 10. Ciclos de Vida de Producción, Proceso y Apoyo.



Fuente: Análisis del Coste del Ciclo de Vida de Los Sistemas

3.4 El Problema de la Visibilidad del costo¹².

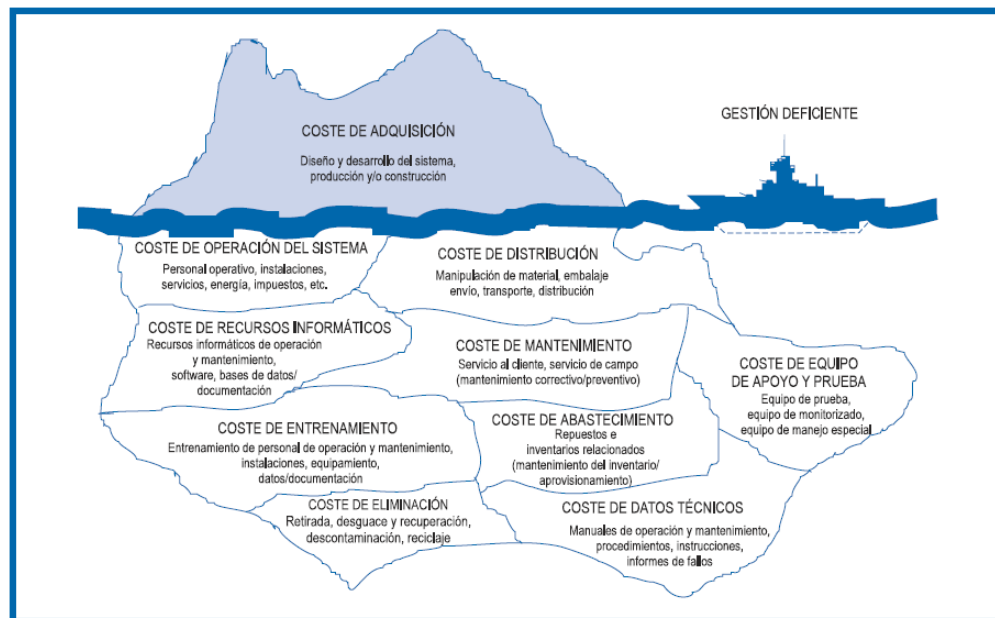
La combinación entre inflación creciente, aumento del coste, reducción del poder adquisitivo, limitaciones de presupuesto, aumento de la competencia y otras características similares, ha generado una inquietud e interés acerca del coste total de los productos, sistemas y estructuras. La situación económica actual se complica aún más con algunos problemas adicionales relacionados con la determinación real del coste del sistema y/o del producto. Algunos de ellos son:

- ✓ A menudo el coste total del sistema no es visible, en particular aquellos costes asociados con la operación y apoyo del sistema. El problema de visibilidad del coste se debe al efecto «iceberg».
- ✓ A menudo los factores de coste se aplican incorrectamente. Los costes individuales se identifican mal y, muchas veces, se incluyen en la categoría equivocada: los costes variables se tratan como fijos (y viceversa), los costes indirectos se tratan como directos, etc.

¹² Análisis del Coste del Ciclo de Vida de Los Sistemas; wolter j. Fabricky; pag 23

- ✓ Los procedimientos contables no siempre permiten una evaluación realista y oportuna del coste total. Además, a menudo es difícil (si no imposible) determinar los costes, de acuerdo con una base funcional.
- ✓ Muchas veces las prácticas presupuestarias son inflexibles con respecto al cambio de fondos de una categoría a otra, o, de un año a otro, para facilitar las mejoras del coste de la adquisición y el uso de los sistemas.¹³

Ilustración 11. Efecto Iceberg. El problema de la visibilidad del costo total.



Fuente: Análisis del Coste del Ciclo de Vida de Los Sistemas.

Para evitar el efecto «iceberg», los estudios de viabilidad económica deben abordar todos los aspectos del costo del ciclo de vida. La tendencia actual del aumento de la inflación y del costo, junto con los problemas adicionales ya enunciados, ha conducido a una falta de efectividad en el uso de recursos valiosos. Se han desarrollado sistemas y productos que no son aptos desde el punto de vista de coste-efectividad. Se puede anticipar que estas condiciones empeorarán, a menos que los ingenieros de sistemas y de diseño asuman un mayor grado de consideración de los costos.

¹³ Análisis del Coste del Ciclo de Vida de Los Sistemas; wolter j. Fabricky; pag 23

4. TRATAMIENTO DE LA INFORMACION

El objetivo principal del enfoque sistémico e integral CMD, es revisar los principios fundamentales, las estructuras, las normas, las relaciones etc., entre los actores relevantes del mantenimiento industrial bajo una concepción sistémica Kantiana e integral, que permita su control mediante la medición de sus principales parámetros universales: Confiabilidad, Mantenibilidad y Disponibilidad bajo estándares internacionales y con base en las mejores prácticas mundiales, con el fin de alcanzar el éxito.¹⁴

La confiabilidad, la Mantenibilidad y la disponibilidad son prácticamente las únicas medidas técnicas y científicas, fundamentadas en cálculos matemáticos, estadísticos y probabilísticos que tiene el mantenimiento para su análisis (Mora 2007b) y su evaluación integral y específica; es a través dl CMD que se puede planear, organizar, dirigir, ejecutar y controlar totalmente la gestión y operación del mantenimiento.¹⁵

La confiabilidad se asocia a las fallas, la mantenibilidad a reparaciones y la disponibilidad a la posibilidad de generar servicios o productos.¹⁶

3.1 Indicadores Calculados En la compañía.

Actualmente el departamento de mantenimiento calcula indicadores como Disponibilidad, confiabilidad, preventivo, costos.

4.1.1 Disponibilidad:

En la compañía se calcula por unidad de negocio, por zonas, por Torre; además de estos se lleva la estadística de los tiempos perdidos por averías para calcular los tiempos medios entre fallas.

La disponibilidad calculada se llama disponibilidad genérica sin mantenimientos preventivos AG¹⁷.

¹⁴ Mantenimiento Industrial Efectivo; Alberto Mora Gutiérrez Pag 45

¹⁵ Mantenimiento Industrial Efectivo; Alberto Mora Gutiérrez Pag 56

¹⁶ Mantenimiento Industrial Efectivo; Alberto Mora Gutiérrez Pag 58

¹⁷ Mantenimiento Industrial Efectivo; Alberto Mora Gutiérrez Pag 68

Ilustración 12. Ecuación de Disponibilidad Generica.

$$A_G = \frac{\text{Media de los Tiempos Útiles con Funcionamiento}}{\text{Media de Tiempos Útiles} + \text{Media de los tiempos de No funcionalidad}} = \frac{\frac{\sum_{i=1}^m UT_i}{m}}{\frac{\sum_{i=1}^m UT_i}{m} + \frac{\sum_{j=1}^n DT_j}{n}}$$

Fuente: Mantenimiento Industrial Efectivo; Alberto Mora Gutiérrez.

Ilustración 13. Indicadores de Independence .



INDICADORES DE MANTENIMIENTO AÑO 2013



Fuente: Archivos de los Comités de Mantenimiento de Independence.

Dónde:

UT: Tiempos Útiles o Up time.

DT: son los tiempos en que la maquina ni funciona ni produce *Down Time*.

m: es el número de eventos de UT.

n, es el número de no funcionalidades de DT.

Además de asume que no hay acciones planeadas Mp dentro de los tiempos DT.

La disponibilidad genérica se mide en este caso en porcentaje, mientras que UT, DT, MUT y MDT se miden en unidades de tiempo: horas, minutos entre otros.

“la probabilidad de que un equipo funcione satisfactoriamente en el momento en 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 en mantenimiento preventivo (en algunos casos), tiempo administrativo, tiempo de funcionamiento si producir y tiempo logístico se define como Disponibilidad”.¹⁸

Ilustración 14. Disponibilidad por Unidad de Negocio.

INDICADORES DE MANTENIMIENTO
2013
1.1 DISPONIBILIDAD POR UEN



UEN

ENERGY

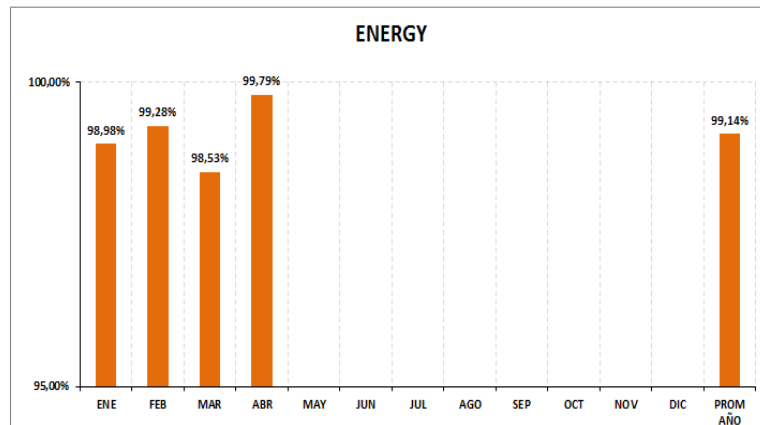
FACTORY

PROMEDIO UEN'S

WATER

VOLVER

UEN	Meta 2013	Alcanzado Mes	Acumulado Año	Cumplimiento
ENERGY	99,60%	99,79%	99,14%	99,54%
WATER	99,60%	54,81%	81,96%	82,29%
FACTORY	99,60%	99,09%	99,54%	99,94%



Fuente: Archivos de los Comités de Mantenimiento de Independence.

4.1.2 Confiabilidad:

La medida de confiabilidad de un equipo, es la frecuencia con la cual ocurren las fallas en el tiempo (ESReDa-Industrial, 1988). Si no hay fallas el equipo es 100%

¹⁸ Mantenimiento Industrial Efectivo; Alberto Mora Gutiérrez Pag 60.

confiable; si la frecuencia de falla es muy baja, la confiabilidad del equipo es aún aceptable, pero si la frecuencia de falla es muy alta, el equipo es poco confiable. Un equipo con un muy buen diseño, con excelente montaje, con adecuadas pruebas de trabajo en campo y con apropiado mantenimiento, no debe fallar nunca (en teoría); sin embargo, la experiencia demuestra que incluso los equipos con mejores: diseños, montajes y mantenimientos fallan alguna vez (Bazovsky, 2004).¹⁹

“La probabilidad de que un equipo desempeñe satisfactoriamente las funciones para las cuales se diseña, durante un periodo de tiempo específico y bajo condiciones normales de operación, ambientales y del entorno se define como confiabilidad”²⁰

En la compañía actualmente la calculan la confiabilidad teniendo en cuenta los tiempos medios entre falla, es decir que es una medida de la confiabilidad en términos de tiempo y se tiene establecida por unidad de negocio, por zonas, por Torre.

Ilustración 15. Ecuación de Tiempo Promedio Entre Fallas.

$$\text{TPEF} = \frac{\sum \text{Todos los tiempos de operación}}{\text{Numero de Fallos}}$$

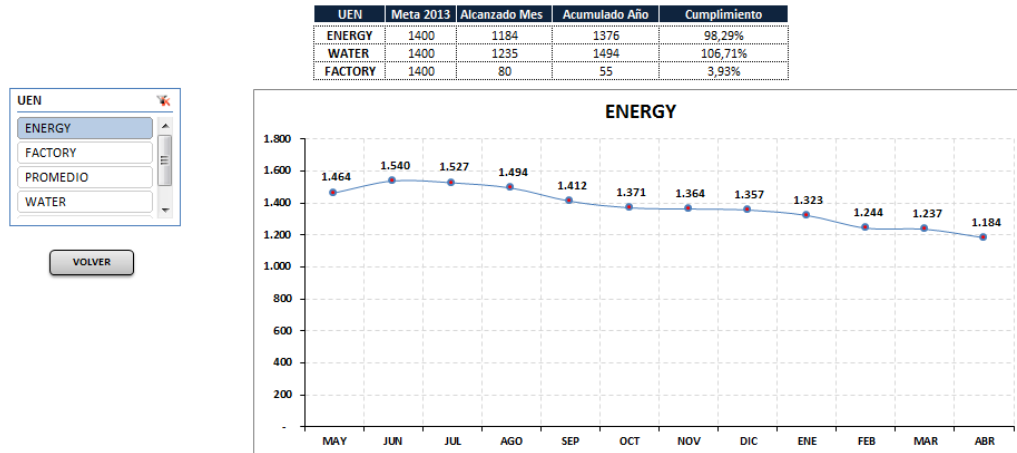
Fuente: Mantenimiento Industrial Efectivo.

¹⁹ Mantenimiento Industrial Efectivo; Alberto Mora Gutiérrez Pag 79.

²⁰ Mantenimiento Industrial Efectivo; Alberto Mora Gutiérrez Pag 79

Ilustración 16. Gráfica de Confiabilidad

INDICADORES DE MANTENIMIENTO
2013
II.1 CONFIABILIDAD POR UEN



Fuente: Archivos Comites de Mantenimiento de Independence.

3.2 Análisis de los Tiempos Medios Entre Fallas (MTBF):

El tiempo medio entre fallas es un término de confiabilidad que se utiliza con demasiada ligereza en muchas industrias y en algunas es mal enfocado. En gran medida el MTBF constituye una medición fundamental de la confiabilidad de un sistema. A mayor valor de MTBF, mayor confiabilidad presenta el producto.²¹

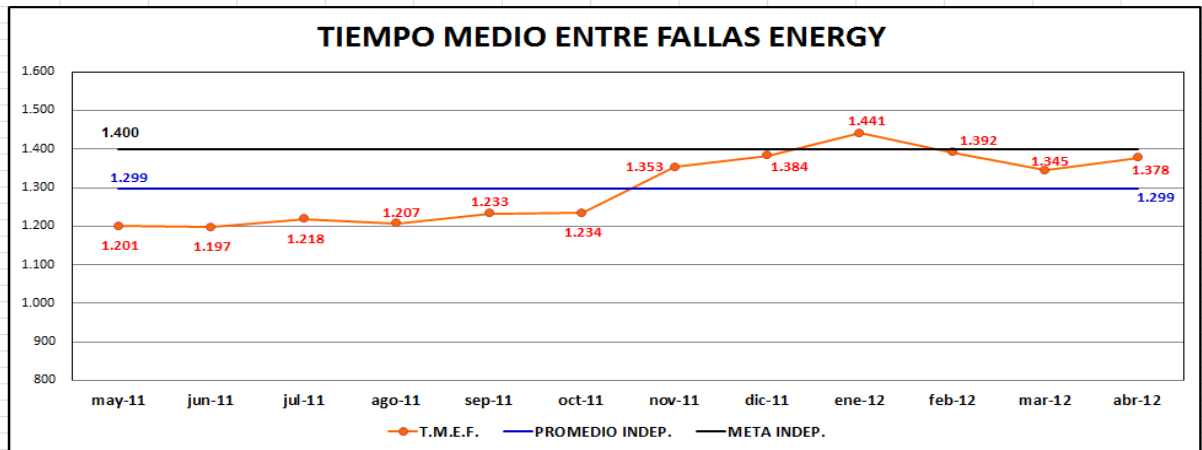
Unos de los errores más habituales acerca del MTBF es pensar que equivale a la cantidad de horas que se espera que funcione el sistema antes de que falle, también denominada “vida operativa”. Sin embargo, no es extraño ver valores de MTBF en el orden de los millones de horas, y sería poco razonable pensar que el sistema podría funcionar constantemente por más de 100 años sin presentar una falla. La razón por la que estos números suelen ser tan altos es porque se basan en la tasa de fallas del producto mientras aún está en el periodo de “vida útil” o “vida Normal” y se presupone que continuara con esa tasa por siempre. Sin embargo, en esta etapa de la vida el producto experimenta la menor (y constante) tasa de fallas. En realidad, los modos de deterioro del producto limitarían la vida mucho antes que lo que expresa la cifra de MTBF. Por lo tanto, no debe hacerse una correlación directa entre la vida operativa de un producto y la tasa de fallas o

²¹ Tiempo Medio Entre Fallas: Explicación y estándares; Wendy Torell y Victor Avelar ; pag 5

MTBF. Es muy factible encontrar productos con un alto grado de confiabilidad (MTBF) y un bajo nivel de vida operativa.²²

Teniendo en cuenta los datos históricos recolectados, para el año 2012 los tiempos medios entre fallas está en 1299 horas para todos los equipos de Energy, conformados por todos los equipos de Workover y perforación.

Ilustración 17. Tiempo Medio Entre Falla de Energy Año 2012



Fuente: Archivos Comites de Mantenimiento de Independence.

3.3 Análisis de los Históricos Disponibilidad

Los históricos de Disponibilidad en la compañía para los equipos de workover y perforación en el periodo comprendido entre el 2011 y 2012, varían considerablemente y a su vez no se mantienen cerca de las fronteras establecidas por la compañía. Estos indicadores reflejan una gestión de mantenimiento poco enfocada con la gestión de los activos de la compañía.

²² Tiempo Medio Entre Fallas: Explicación y estándares; Wendy Torell y Victor Avelar ; pag 5

5. PLAN DE MANTENIMIENTO ALINEADO CON LA PAS 55

Basado en la norma PAS 55-1:2008 “Especificaciones Para La Gestión Optimizada de Activos Físicos”, se propone un modelo a seguir como la herramienta principal para crear el plan de mantenimiento de los equipos de wokover de Independence y que de alguna manera se extendería a las otras unidades de negocio de la organización.

La PAS 55 está destinada específicamente para cubrir la gestión durante la vida útil de los activos físicos y en particular, de aquellos artículos que son vitales para el propósito de la organización. Un sistema de gestión de activos es por lo tanto, vital para las organizaciones que dependen de la función y el desempeño de sus activos físicos para el suministro de servicios o productos y donde el éxito de la organización está influenciado significativamente por la dirección de estos activos.²³

5.1 Tipos de Activos.²⁴

Los activos físicos representan únicamente una de cinco categorías amplias de tipos de activos que tienen que ser gestionados de manera holística para lograr el plan estratégico de la organización. Las otras categorías son los activos humanos, los activos de información, los activos financieros y los activos intangibles (reputación, moral, propiedad intelectual, buena voluntad, etc).

El alcance de este PAS se enfoca principalmente en la gestión de activos físicos y los sistemas de activos. La gestión de los activos físicos y los sistemas de activos está absolutamente ligada a las otras categorías de activos.

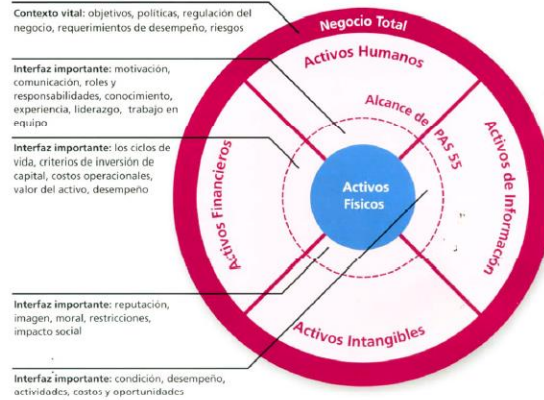
5.2 Optimización del Plan de Mantenimiento Interactuando con la fase del ciclo de vida Útil de los Activos físicos.

La implementación efectiva de la gestión de activos requiere de un enfoque disciplinado que habilite a una organización a maximizar el valor y lograr sus objetivos estratégicos a través de la gestión de sus activos durante los ciclos completos de vida.

²³ PAS 55-1:2008; Gestión de Activos Asset Management Parte 1: Especificaciones para la gestión optimizada de activos físicos; pag 7

²⁴ PAS 55-1:2008; Gestión de Activos Asset Management Parte 1: Especificaciones para la gestión optimizada de activos físicos; pag 6

Ilustración 18. Enfoque y contexto del negocio de PAS en relación a las categorías de activos



Fuente: PAS 55-1:2008; Gestión de Activos Asset Management Parte 1

Adoptar el mejor valor por el dinero utilizado en la gestión de activos físicos es complejo e involucra tomar en cuenta cuidadosamente consideraciones en el equilibrio entre el desempeño, los costos y los riesgos durante todas las etapas de los ciclos de vida de los activos.

Ilustración 19. Niveles de activos y su gestión.

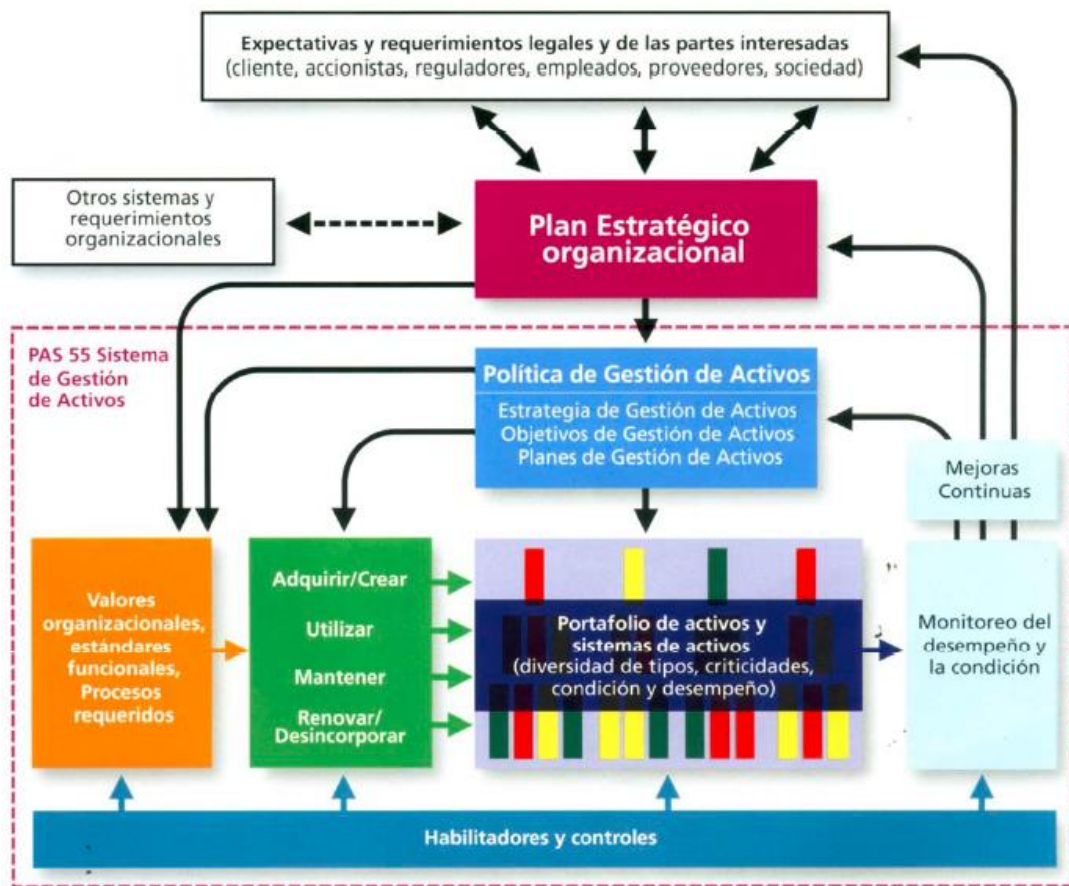


Fuente: PAS 55-1:2008; Gestión de Activos Asset Management Parte 1

5.3 La Estructura de un sistema de gestión de activos.²⁵

Un sistema de gestión de activos está diseñado principalmente para apoyar el suministro de un plan estratégico organizacional y satisfacer las expectativas de una variedad de partes interesadas. El plan estratégico organizacional es el punto de partida de la política, estrategia, objetivos y planes de gestión de activos. Estos, a su vez, dirigen la combinación óptima de las actividades de los ciclos de vida aplicados a través del diverso portafolio de sistemas de activos.

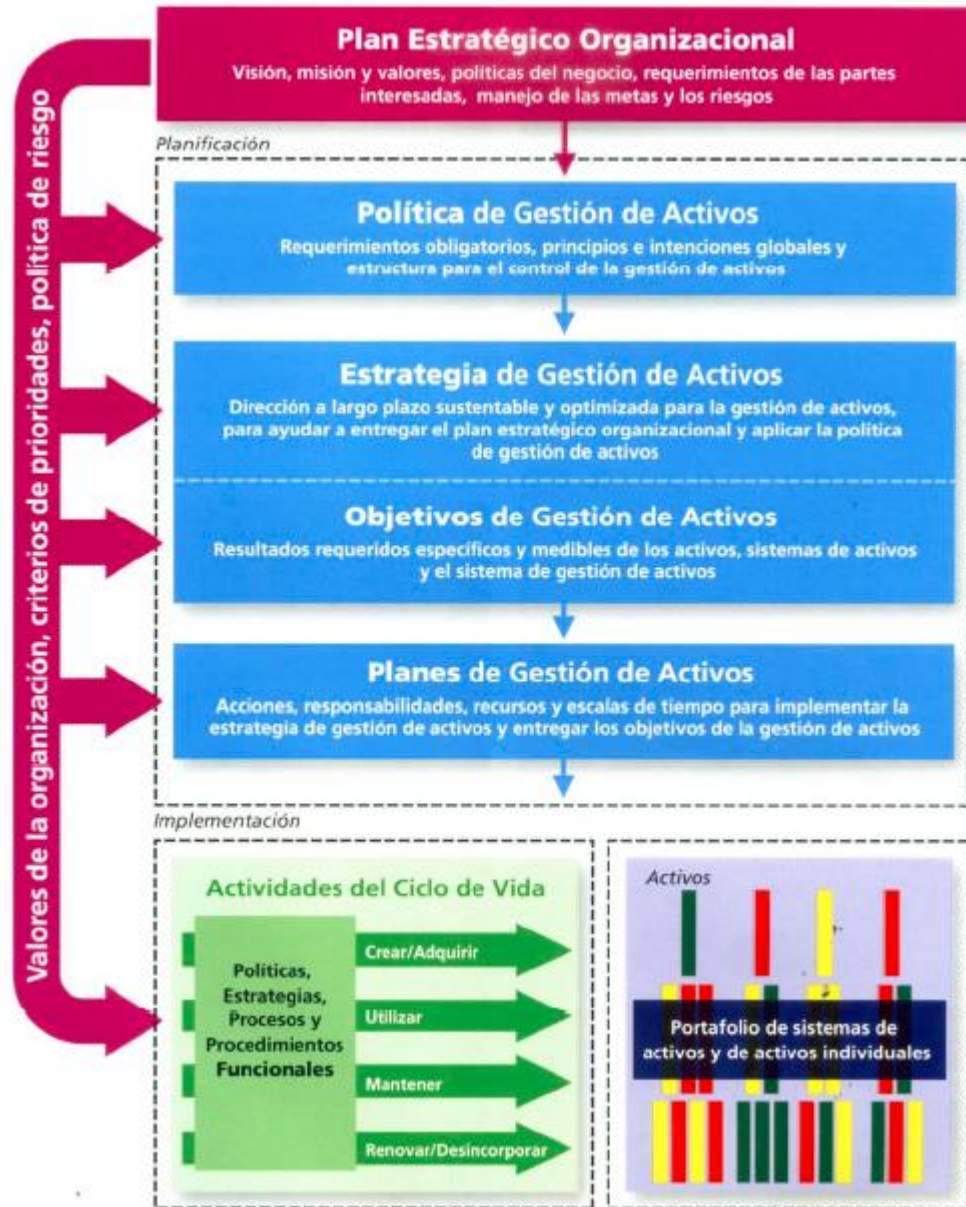
Ilustración 20. Vista global del sistema de gestión de activos, su relación al plan estratégico organizacional y las expectativas de las partes interesadas.



Fuente: PAS 55-1:2008; Gestión de Activos Asset Management Parte 1

²⁵ PAS 55-1:2008; Gestión de Activos Asset Management Parte 1: Especificaciones para la gestión optimizada de activos físicos; pag 8.

Ilustración 21. Elementos de Planificación de un sistema de gestión de activos.



Fuente: PAS 55-1:2008; Gestión de Activos Asset Management Parte 1.

5.4 Controles y habilitadores para de la gestión de activos.

5.4.1 Estructura, autoridad y responsabilidad.

La organización deberá establecer y mantener una estructura organizacional de roles y responsabilidades y autoridades, consiente con el logro de su política, estrategia, objetivos y planes de su gestión de activos.

Estos roles, responsabilidades y autoridades deberán ser definidas, documentadas y comunicadas a los individuos relevantes con el logro de su política.

5.5 Implementación de planes de gestión de activos.

5.5.1 Manejo del cambio.

5.5.2 Evaluación y mejora del desempeño.

5.5.3 Revisión de la Gerencia.

5.5.4 Mejores Prácticas en Mantenimiento²⁶.

Las Mejores Prácticas de Mantenimiento” son referencias estándar, pero son reales, específicas, alcanzables y probadas para la administración del mantenimiento, que han hecho más eficientes a muchos departamentos de mantenimiento, reduciendo los costos de operación y mantenimiento en muchas plantas, mejorando la confiabilidad y la moral del personal.

Actualmente las Mejores Prácticas de Mantenimiento son definidas en dos categorías separadas así:

- ✓ *Los Estándares*, que son los niveles de rendimiento medibles para la ejecución del mantenimiento.
- ✓ *Los Métodos y Estrategias* que se deben poner en práctica en orden a alcanzar los Estándares.

²⁶ Las Mejores Prácticas de Mantenimiento; Ricky Smith pag 2

Juntos, la combinación de estándares, métodos y estrategias son elementos de un Sistema de Mantenimiento Integrado y Planificado. Como se muestra en la Figura I, el alcanzar los estándares de las mejores prácticas de mantenimiento (definida como Excelencia en mantenimiento), se logra a través de una serie de eslabones interactivos e integrados con un arreglo de procesos, métodos y estrategias.

Ilustración 22. Sistema Integrado y Planificado de Mantenimiento.



Fuente: Las Mejores Practicas de Mantenimiento

5.5.5 Estándares para las Mejores Prácticas del Mantenimiento²⁷:

Las razones por las cuales una organización no alcanza los estándares de mantenimiento en sus equipos son:

- ✓ El mantenimiento es totalmente reactivo y no sigue la definición de mantenimiento la cual es proteger, preservar y evitar el deterioro. Es decir que es una cultura reactiva.

²⁷ Las Mejores Prácticas de Mantenimiento; Ricky Smith pag 5

- ✓ El personal de mantenimiento pierde la disciplina para seguir las mejores prácticas de Mantenimiento o la Administración no ha definido las reglas de conducta.

Cambiar las creencias básicas de una organización a veces resulta complicado pero vale la pena intentarlo ya que un buen gerente debe estar dispuesto a admitir que tiene un problema de mantenimiento y busca activamente una solución de la siguiente manera:

- ✓ Ser Proactivo, disciplinado y responsable.
- ✓ Administrar para maximizar la disponibilidad de los recursos.
- ✓ Administrar con base en información real usando el CMMS, informes de producción y operación.
- ✓ Retroalimentación de los informes de las órdenes de trabajo.

Los estándares para las Mejores Prácticas de Mantenimiento son:²⁸

- ✓ 100% del tiempo de las personas cubierto por una orden de trabajo.
- ✓ 90% de las Órdenes de Trabajo son generadas por inspecciones de Mantenimiento Preventivo.
- ✓ 30% de las horas de trabajo son para Mantenimiento Preventivo.
- ✓ 90% de cumplimiento de trabajos planificado / programado.
- ✓ 100% de confiabilidad se alcanza el 100% del tiempo.
- ✓ OEE sobre 85%
- ✓ Falta de repuestos es escasa (menos de una por mes).
- ✓ Sobretiempo menor de 2% del tiempo total destinado a mantenimiento.
- ✓ El presupuesto de Mantenimiento está dentro de +/- 2% por pieza de equipo.

5.6 Calculo del costo de las funciones del ciclo de vida.²⁹

El costo del ciclo de vida se determina identificando las funciones aplicables en cada una de sus fases, calculando el coste de estas funciones y aplicando los costos apropiados durante toda la extensión del ciclo de vida. Para que esté completo, el costo del ciclo de vida debe incluir todos los costos del fabricante y del consumidor.³⁰

²⁸ Las Mejores Prácticas de Mantenimiento; Ricky Smith pag 4.

²⁹ Análisis del Coste del Ciclo de Vida de Los Sistemas; wolter j. Fabricky; pag 24.

³⁰ Análisis del Coste del Ciclo de Vida de Los Sistemas; Wolter j. Fabricky; pag 25.

5.6.1 La estructura del desglose del costo³¹.

En general, los costos a lo largo del ciclo de vida se dividen en categorías, de acuerdo con la actividad organizativa necesaria para concebir el sistema. Estas categorías y sus elementos constituyentes componen una estructura de desglose o descomposición del costo (Cost Breakdown Structure, CBS) Las categorías principales de coste son:

- ✓ Costo de investigación y desarrollo: planificación inicial, análisis de mercado, investigación del producto, análisis de requisitos, diseño de ingeniería, datos y documentación de diseño, «software», pruebas y evaluación de los modelos de ingeniería, y funciones de gestión asociadas.
- ✓ Costo de producción y construcción: ingeniería industrial y análisis de operaciones, producción (fabricación, montaje y pruebas), construcción de instalaciones, desarrollo del proceso, operaciones de producción, control de calidad y requisitos iniciales de apoyo a la logística (por ejemplo, apoyo inicial al cliente, producción de repuestos, producción de equipo de pruebas y apoyo, etc.).
- ✓ Costo de operación y apoyo: operaciones del sistema o producto por parte del consumidor o usuario, distribución del producto («marketing» y ventas, transporte y gestión de tránsito), y mantenimiento y apoyo logístico durante el ciclo de vida del sistema o producto (por ejemplo, servicio al cliente, actividades de mantenimiento, apoyo de abastecimiento, equipos de prueba y apoyo, transporte y manejo, datos técnicos, instalaciones, modificaciones del sistema, etc.).
- ✓ Costo de retirada y eliminación: eliminación de elementos no reparables a lo largo del ciclo de vida, retirada del sistema o producto, reciclaje de material y requisitos aplicables del apoyo logístico. La estructura de desglose del costo relaciona los objetivos y actividades con los requisitos de recursos de organización. Constituye una subdivisión lógica del costo por área de actividad funcional, elementos importantes del sistema, y/o una o más de las clases discretas de elementos comunes o semejantes. La CBS proporciona un medio para la asignación inicial de recursos, la vigilancia del costo y el control del costo³².

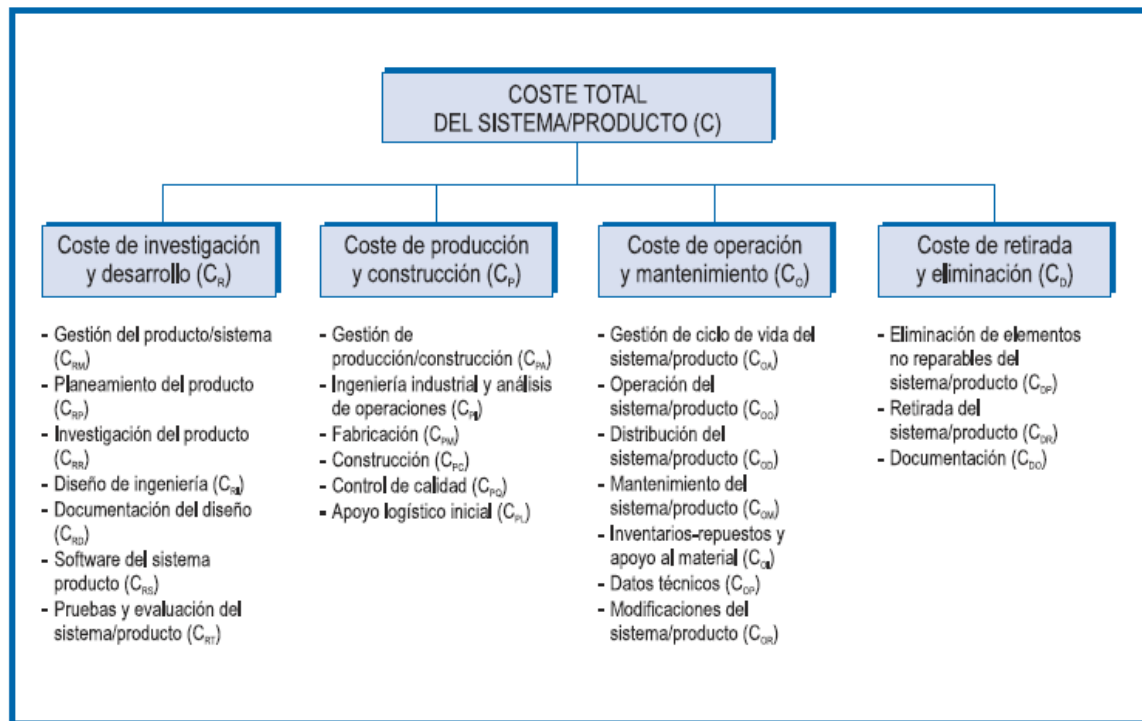
³¹ Análisis del Coste del Ciclo de Vida de Los Sistemas; wolter j. Fabricky; pag 27.

³² Análisis del Coste del Ciclo de Vida de Los Sistemas; wolter j. Fabricky; pag 28

5.6.2 Tratamiento del coste a lo largo del ciclo de vida³³

Una vez definida la estructura de desglose del coste del sistema o producto, y establecidos los métodos de estimación del costo, corresponde aplicar los datos resultantes al ciclo de vida del sistema. Para realizarlo, el analista de costos debe comprender los pasos necesarios para desarrollar perfiles de costo que incluyan los aspectos de inflación, los efectos de las curvas de aprendizaje, el valor futuro del dinero y otros aspectos. Existe una variedad de procedimientos que pueden usarse para desarrollar un perfil de costo. Sin embargo, los siguientes pasos son esenciales:

Ilustración 23. Estructura del desglose del costo.



Fuente: Análisis del Costo del Ciclo de Vida de Los Sistemas.

- ✓ Identificar todas las actividades que a lo largo del ciclo de vida generarán costos de un tipo u otro. Esto incluye funciones asociadas con la planificación, investigación y desarrollo, prueba y evaluación, producción o construcción, distribución del producto, uso operativo del sistema o producto, mantenimiento y apoyo logístico, etc.

³³ Análisis del Coste del Ciclo de Vida de Los Sistemas; wolter j. Fabricky; pag 29.

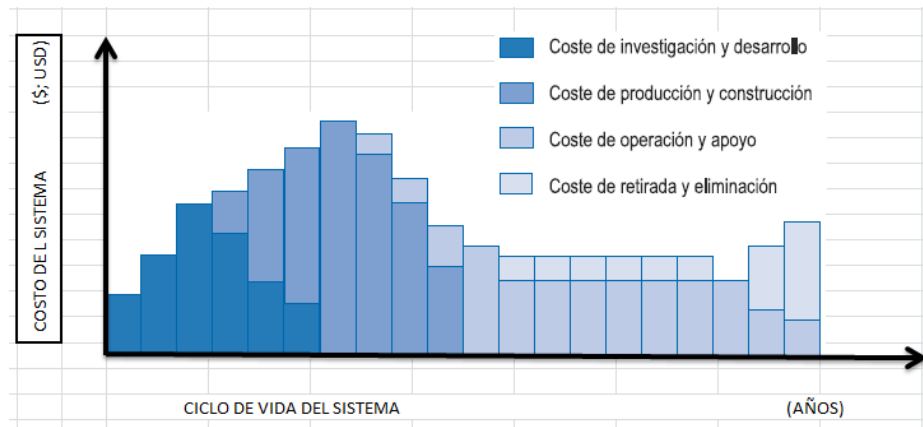
- ✓ Relacionar cada actividad identificada anteriormente con una categoría específica de coste dentro de la estructura de desglose del costo. Todas las actividades del programa deben estar en una o más categorías de la CBS.
- ✓ Establecer para cada actividad de la CBS los factores apropiados del coste en valores constantes de la moneda (por ejemplo, pesetas constantes de 1997) donde el valor constante refleja el poder adquisitivo general de la moneda en el momento de la decisión (esto es, hoy). Los costos relacionados, expresados en términos de monedas constantes, permitirán una comparación directa de los niveles de actividad de año en año, antes de la introducción de factores inflacionarios del costo, cambios en los niveles de precios, efectos económicos de acuerdos contractuales con los proveedores, etc., que a menudo pueden causar alguna confusión durante la evaluación de alternativas.
- ✓ Proyectar al futuro los elementos individuales del coste dentro de cada categoría del coste de la CBS, año a año a lo largo del ciclo de vida, según corresponda. El resultado debe ser un flujo de costes en monedas constantes para las actividades que se incluyan.
- ✓ Introducir los factores inflacionarios apropiados, los efectos económicos de las curvas de aprendizaje, los cambios en los niveles de precios, etc. para cada categoría de costes de la CBS y para cada año aplicable del ciclo de vida. Los valores modificados constituyen un nuevo flujo de costes y reflejan los costes realistas tal como se anticipan para cada año del ciclo de vida (esto es, los costes esperados de 1998 en 1998, los costes de 1999 en 1999, etc.). Estos costes pueden utilizarse directamente para la preparación de las necesidades presupuestarias futuras, ya que reflejan las necesidades monetarias reales, anticipadas para cada año durante el ciclo de vida.
- ✓ Resumir los flujos individuales de costes por categorías principales de la CBS y desarrollar un perfil de costes a nivel superior.

El perfil representa una estimación presupuestaria de las necesidades futuras de recursos para cada fase del ciclo de vida.³⁴

³⁴ Análisis del Coste del Ciclo de Vida de Los Sistemas; wolter j. Fabricky; pag 30.

Es posible, y a menudo beneficioso, evaluar el flujo a lo largo del ciclo de vida del coste de actividades individuales tales como investigación y desarrollo, producción, operación y apoyo, etc. En segundo lugar, estos flujos de coste individuales pueden acumularse para desarrollarse el perfil de coste total. Finalmente, el perfil de coste total puede ser observado desde el punto de vista del flujo lógico de actividades y del nivel adecuado y oportuno del gasto dinerario.

Ilustración 24. Perfil acumulado del costo del ciclo de vida

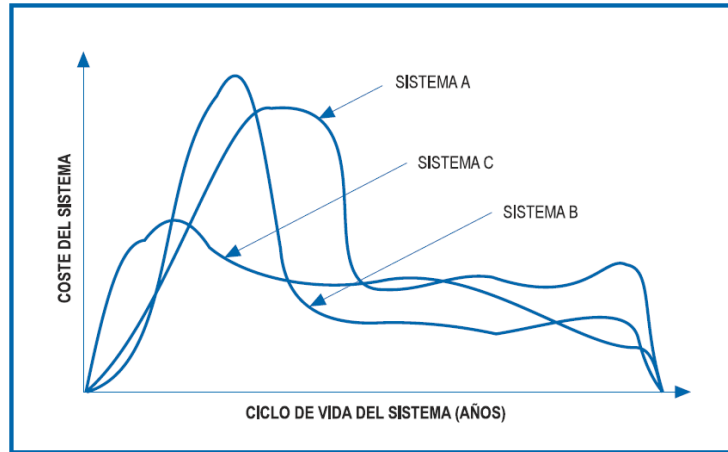


Fuente: Análisis del Costo del Ciclo de Vida de Los Sistemas.

Los perfiles del costo del ciclo de vida para varias alternativas. Cuando se trata con dos o más configuraciones alternativas de diseño del sistema, cada una exigirá diferentes niveles de actividad, diferentes métodos de diseño, diferentes requisitos de mantenimiento y de apoyo logístico, etc. Dos alternativas de un sistema nunca serán idénticas. De esta forma, para cada alternativa se desarrollarán perfiles individuales que finalmente se compararán sobre una base equivalente.³⁵

³⁵ Análisis del Coste del Ciclo de Vida de Los Sistemas; wolter j. Fabricky; pag 32.

Ilustración 25. Perfiles de costo del ciclo de vida para varias alternativas.



Fuente: Análisis del Costo del Ciclo de Vida de Los Sistemas.

5.6.3 Desarrollos de los datos de los costos.

Las fuentes de obtención de los datos de costes son numerosas y variadas. En esta Sección se presentan de forma resumida cinco fuentes principales de datos para el cálculo del coste de ciclo de vida a fin de suministrar una visión global de lo que debe buscar el analista de costes. Al avanzar en los requisitos de los datos, el analista encontrará que se ha ganado mucha experiencia en la determinación de los costes de investigación y desarrollo, y de producción o construcción. Sin embargo, dispone de muy pocos datos históricos de costes en el área de operaciones y apoyo. Bancos de datos existentes. Puede usarse cuando sea aplicable la información histórica correspondiente a sistemas existentes, de configuración y función similares al elemento(s) que se desarrolla. A menudo es posible emplear tales datos y aplicar los factores de ajuste necesario para compensar cualquier diferencia en la tecnología, la configuración, el entorno operativo proyectado y el marco temporal. Se incluyen en esta categoría de datos ya existentes, los factores de coste usuales que se han deducido de la experiencia histórica que pueda

5.7 RCM- Mantenimiento Centrado en Confiabilidad.

5.7.1 Historia del RCM

EL 1974, EL Departamento de Defensa de los Estados Unidos le asignó a la empresa United Airlines preparar un informe sobre los procesos usados por la industria de la aviación civil para elaborar programas de mantenimiento para los aviones, este informe fue realizado por F. Stanley Nowlan Director de Análisis de Mantenimiento de United Airlines y Howard F. Heap, Gerente de Planeación del Programa de Mantenimiento de United Airlines, el documento fue publicado en 1978 y fue titulado Mantenimiento Centrado en Confiabilidad³⁶ o RCM por sus siglas en inglés Reliability-Centered Maintenance.

5.7.2 Definición de RCM.

La Norma SAE JA1011 define el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad de la siguiente manera:

“RCM es un proceso específico usado para identificar las políticas que deben ser implementadas para administrar los modos de falla que pueden causar fallas funcionales en cualquier activo físico en su contexto operacional³⁷”

En el Libro de RCM II de Jhon Moubray el autor plantea la siguiente definición:

“RCM es un proceso utilizado para determinar que se debe hacer para asegurar que cualquier activo físico continúe haciendo lo que sus usuarios quieren que haga en su contexto operacional actual³⁸”.

“El RCM es el proceso usado para determinar el enfoque más efectivo del mantenimiento esto implica identificar acciones que cuando se toman reducen la

³⁶ MOUBRAY. JHON. Reliability-Centered Maintenance RCM II. New York: Industrial Press Inc, 1997. P. 318.

³⁷ SAE JA1011. Evaluation Criteria for Reliability-Centered Maintenance (RCM) Processes. Society of Automotive Engineers, Inc 1999

³⁸ MOUBRAY. JHON. Reliability-Centered Maintenance RCM II. New York: Industrial Press Inc, 1997. P. 7.

probabilidad de falla de la forma más costo-efectiva buscando una mezcla optima de acciones basadas por condición, acciones basadas en ciclos o en tiempo o el enfoque de operar hasta que falle³⁹”

5.7.3 RCM: Siete preguntas básicas⁴⁰.

Las siete preguntas básicas que se deben plantear en RCM acerca del activo o sistema que se quiere revisar es:

- ✓ ¿Cuáles son las funciones?
- ✓ ¿De qué forma puede fallar?
- ✓ ¿Cuál es la causa de cada falla funcional?
- ✓ ¿Qué sucede cuando ocurre cada falla?
- ✓ ¿Qué puede hacerse para prevenir o predecir la falla?
- ✓ ¿Qué sucede si no puede prevenirse el fallo?

5.7.4 Flujo de un Proceso de RCM.

Funciones y sus estándares de funcionamiento⁴¹:

Cada elemento de los equipos en el registro de una planta debe de haberse adquirido para unos propósitos determinados; en otras palabras deberá tener una función o funciones específicas. La pérdida total o parcial de estas funciones afectara a la organización en cierta manera. La influencia total sobre la organización dependerá de:

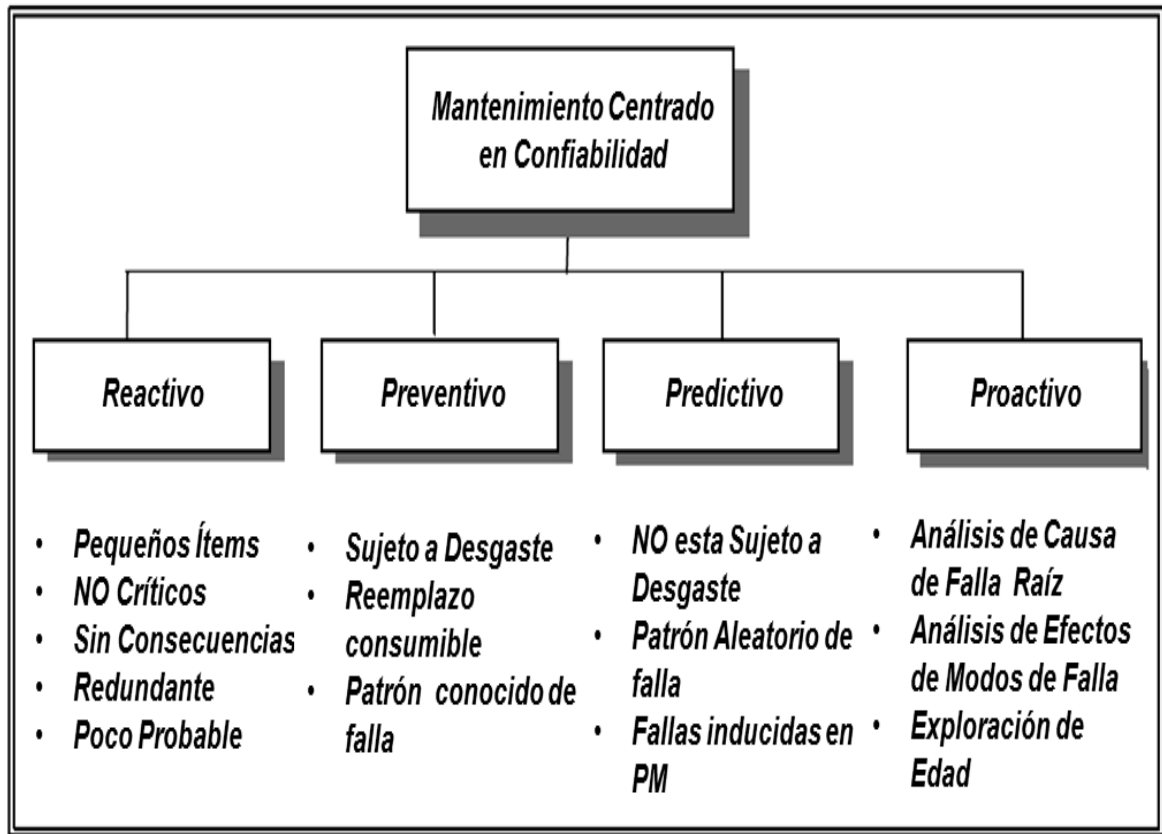
- ✓ Funciones primarias en su contexto operacional, estas son la razón de ser del activo o para que se adquirió el activo.

³⁹ NASA. Reliability Centered Maintenance Guide or Facilities and Collateral Equipment. 2000. P. 1-1

⁴⁰ Introducción a Reliability-Centred Maintenance; SQL SYSTEM CRIBBEAN NV en asociación con ALADON.

⁴¹ Introducción a Reliability-Centred Maintenance; SQL SYSTEM CRIBBEAN NV en asociación con ALADON

Ilustración 26. Componentes de un programa de RCM.



Fuente: NASA Reliability Centered Maintenance Guide or Facilities and Collateral Equipment.

- ✓ Funciones Secundarias, son las funciones adicionales que cumple el activo, estas están relacionadas con confort, seguridad, apariencia, protección, regulaciones ambientales, etc.

Fallos Funcionales:

Una vez que las Funciones y los estándares de funcionamiento se hayan definido, el paso siguiente es identificar como puede fallar cada elemento en la realización de sus funciones. Esto lleva al concepto de fallo funcional, que se define coma la

incapacidad de un elemento o componente de un equipo para satisfacer un estándar de funcionamiento deseado.

Modos de Fallas:

Después de identificar las fallas funcionales hay que identificar los hechos que posibles que puedan haber causado cada estado de falla se responde la pregunta ¿Cuál es la causa de cada falla funcional?, dentro de estos modos de fallas se incluyen las causadas por deterioro o desgaste, por errores humanos (operadores y personal de mantenimiento) y por errores de diseño. Los modos de falla pueden ser clasificados en tres grupos:

- ✓ Cuando la capacidad cae por debajo del funcionamiento deseado, las cinco causas de la perdida de la capacidad son, deterioro, fallas de lubricación, polvo o suciedad, desarme y errores humanos
- ✓ Cuando el funcionamiento deseado se eleva encima de la capacidad inicial, esto se presenta cuando hay sobrecarga deliberada sobre el activo de forma constante y sobrecarga no intencional constante o repentina
- ✓ Cuando desde el comienzo el activo físico no es capaz de hacer lo que se quiere.

Efectos de Fallas.

En este paso se describe que pasa cuando ocurre un modo de falla, un efecto de falla no es lo mismo que una consecuencia de falla, el efecto de falla responde a la pregunta ¿Qué sucede cuando ocurre cada falla? Mientras que una consecuencia de falla responde a la pregunta ¿Qué Importancia Tiene?, al describir un efecto de falla de hacerse constar lo siguiente:

- ✓ La evidencia de que se ha producido una falla
- ✓ La forma en que la falla supone una amenaza para la seguridad o en ambiente

- ✓ La forma en que afecta producción o la operación
- ✓ Los daños físicos causados por la falla
- ✓ Que debe hacerse para reparar la falla.

Consecuencias de las Fallas.

En este paso se responde a la pregunta ¿En qué sentido es importante cada falla? para determinar cuáles son las fallas que más afectan la organización y cuáles no debido a las consecuencias de las fallas, se pueden afectar las operaciones, la calidad del producto, el servicio al cliente, la seguridad o el medio ambiente, las consecuencias se dividen en cuatro grupos, las consecuencias por fallas ocultas, consecuencias ambientales y para la seguridad, consecuencias operacionales y No operacionales.

RCM clasifica las consecuencias las consecuencias de los fallos en cuatro grupos:

- ✓ Consecuencias de los fallos no evidentes: estos fallos no tienen impacto directo pero, exponen a la organización a otros fallos con consecuencias serias, a menudo catastróficas. Normalmente son los dispositivos de protección que no disponen de seguridad inherente, y que pueden suponer la mitad de los modos de falla de los equipos complejos modernos.
- ✓ Consecuencias en la seguridad y el medio ambiente: un fallo tiene consecuencias sobre la seguridad si puede herir o matar a alguien. Tiene consecuencias sobre el medio ambiente si infringe las normativas del estado.
- ✓ Consecuencias operacionales: un fallo tiene consecuencias operacionales si afecta la producción (capacidad calidad del producto, servicio al cliente o costos industriales en adición al coste directo de reparación).
- ✓ Consecuencias que no son operacionales: los fallos evidentes que caen dentro de esta categoría no afectan ni la seguridad ni la producción.

Tareas de Mantenimiento Preventivo y Predictivos.

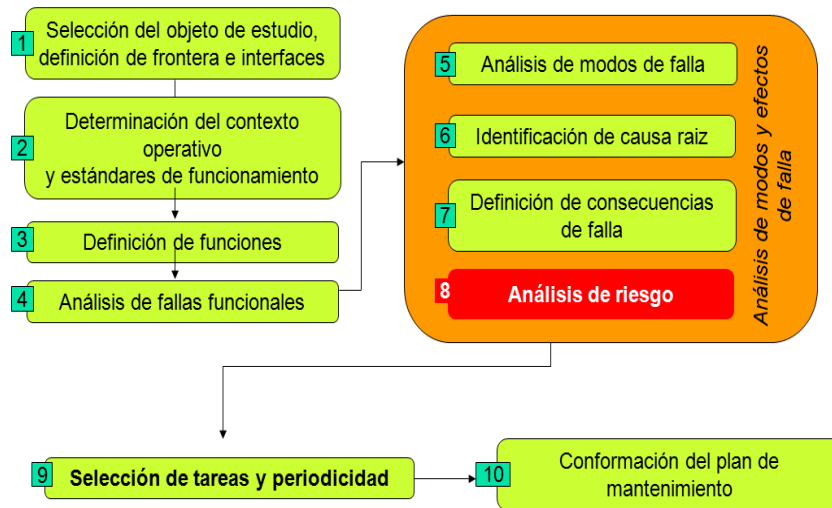
En este paso se da respuesta a las preguntas ¿Qué puede hacerse para predecir o prevenir esta falla? y ¿Qué sucede si no puede encontrarse una tarea predictiva o preventiva apropiada?, el objetivo de este punto que acciones pueden tomarse para manejar las fallas, las acciones pueden dividirse en dos categorías: Tareas proactivas y Acciones a falta de. Las tareas proactivas se llevan a cabo antes de que ocurra una falla, con el objetivo que el componente llegue a un estado de falla y abarcan las tareas de mantenimiento preventivo y predictivo pero cuando no es posible identificar una tarea proactiva efectiva es necesario realizar “acciones a falta de” que incluyen procedimientos de búsqueda de fallas, rediseño y mantenimiento a rotura. La factibilidad técnica de una tarea de mantenimiento se define como:

“Una tarea es técnicamente factible si físicamente permite reducir o realizar una acción que reduzca las consecuencias del modo de falla asociado, a un nivel que sea aceptable al usuario del activo.⁴²”

Al conocer los modos y efectos de las fallas y sus consecuencias, podemos determinar si la falla es merecedora de prevención, esfuerzos para predecirla, algún tipo de intervención periódica para evitarla, rediseño para eliminarla, o simplemente ninguna acción. Para realizar este proceso se debe seguir el árbol lógico de decisiones del RCM y de esta forma encontrar cuáles son las tareas adecuadas y el programa de mantenimiento a realizar a los activos físicos

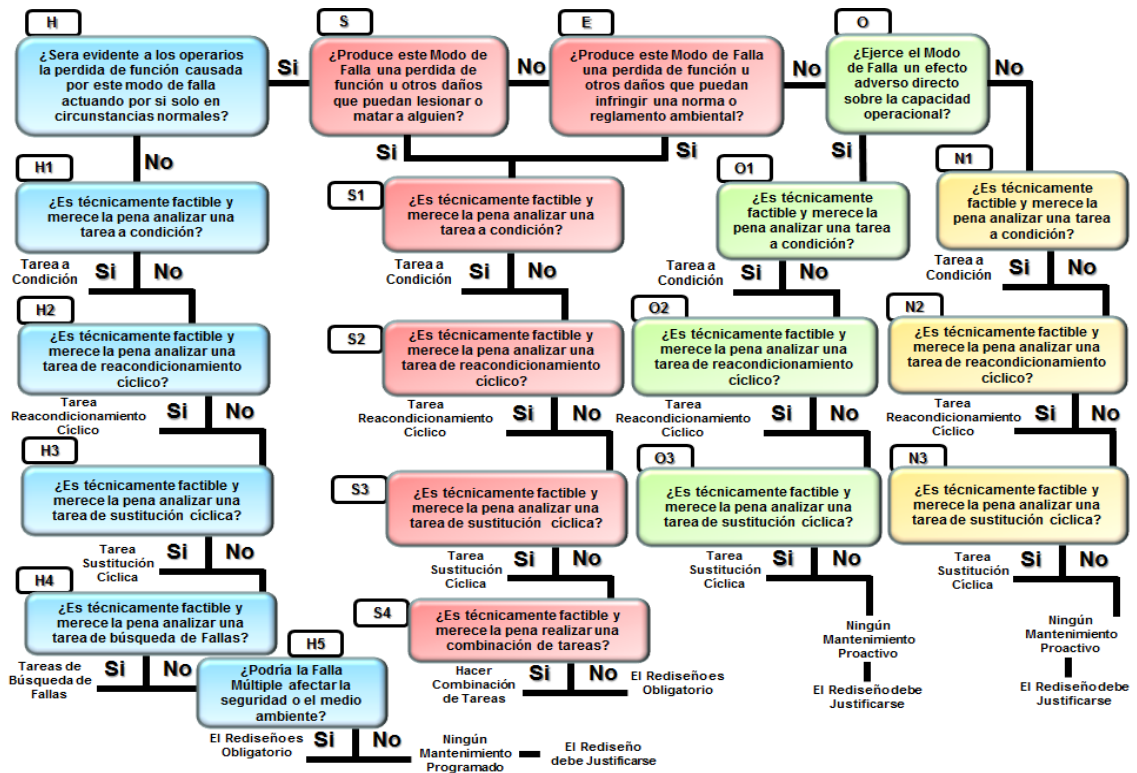
⁴² MOUBRAY. JHON. Reliability-Centered Maintenance RCM II. New York: Industrial Press Inc, 1997. P. 132.

Ilustración 27. Diagrama de flujo de un proceso de RCM



Fuente: Memorias Curso Mantenimiento Centrado en Confiabilidad - RCM. Daniel Ortiz Plata.

Ilustración 28. Diagrama de Decisión del Proceso de RCM.



Fuente: Reliability-Centered Maintenance RCM II, Jhon Moubray

5.8 Definición del Sistema de Inventarios de los repuestos.

la mayoría de las empresas tienden a manejar la adquisición, almacenamiento y suministro de los repuestos y materiales como un departamento separado de la gestión del departamento de mantenimiento.

Actualmente en la compañía se presenta problemas de inventarios y sobre stocks de los mismos generando incrementos a nivel económico para la compañía debido a que no se tiene bien definido una política de abastecimientos con base en los stocks de seguridad realmente requeridos por mantenimiento en función de algún método estadístico de acuerdo a la rotación de los productos por el departamento de abastecimientos de Independence.

5.8.1 Logística⁴³

La logística es una parte de la cadena de suministros que se encarga de planificar, ejecutar y controlar el flujo y el almacenamiento de bienes y servicios desde el punto de origen hasta el consumidor final para satisfacer las necesidades de los clientes.

La logística cumple con tres funciones principales así: Planificar, ejecutar y controlar.

En la etapa de planificación se debe entender cómo se realizan los pronósticos que no solo permitan determinar los niveles de despachos que tendrá la empresa, sino que además se puede conocer los requerimientos de materiales para planificar toda la logística de la empresa.

En la etapa de ejecución y control no solo se debe enfocar en el transporte de los materiales, sino que además se debe comprender todo lo que acarrea el correcto manejo de los materiales en el interior de la empresa.

⁴³ Logística –Administracion-de-la Cadena de Suministros, Quinta edición, Ballou H, Ballou pag 26

5.8.2 Pronósticos:

Se debe considerar que las empresas pueden partir de los pronósticos de los bienes que comercializan para obtener el pronóstico general de sus despachos o pueden ir en sentido contrario, es decir, pronosticar primero sus despachos globales y con ello realizar el pronóstico específico de cada uno de sus productos.

El proceso de realizar el pronóstico de las ventas es una pieza fundamental para el desempeño de toda empresa, esto debido a que cada una de las áreas de la empresa tomará esta información para poder planificar y controlar sus actividades.

Los pronósticos de despachos sirven como fuente de información para que la empresa pueda proyectar sus flujos de ingresos, planificar las compras y poder establecer las metas que deberá cumplir el área de ventas.

A su vez, todo esto servirá para poder controlar el desempeño de la empresa a lo largo de todo el periodo proyectado. Existen diversos métodos para poder realizar el pronóstico de las ventas, cada una con sus propias ventajas y desventajas. La elección del método a utilizar dependerá de diversos factores tales como el contar con información histórica, el nivel de complejidad del método y del uso que la empresa desee darle. Ante ello, cada empresa deberá evaluar sus características y definir que método es el más adecuado para ella. Los métodos de pronósticos se pueden clasificar en dos grandes grupos: métodos cualitativos y métodos cuantitativos.⁴⁴

- ✓ Métodos Cualitativos: Los métodos cualitativos se basan en la opinión de expertos o en el uso de técnicas comparativas para poder estimar datos cuantitativos del futuro. Hay que considerar además que estos métodos pueden ser los únicos que se pueden utilizar en el caso de productos nuevos o ante cambios en la política gubernamental
- ✓ Métodos Cuantitativos: Los métodos cuantitativos pueden agruparse en dos categorías, los métodos que se basan en datos históricos de ventas y los métodos causales. Los métodos basados en las ventas históricas consisten en el uso de métodos analíticos más complicados que los cualitativos, para lo cual se emplea la información histórica de las ventas para poder determinar las tendencias y las variaciones estacionales.

⁴⁴ Logística –Administración-de-la Cadena de Suministros, Quinta edición, Ballou H, Ballou pag 291

- ✓ Método de ajuste exponencial: Este método consiste en calcular el pronóstico del siguiente periodo tomando como base la demanda real y el pronóstico del periodo anterior. Además incluye el uso de un factor de ponderación que va entre 0 y 1 para poder determinar el grado de importancia de cada uno de los factores del pronóstico. El cálculo del pronóstico se realiza mediante la siguiente ecuación:

$$F_{t+1} = \alpha A_t + (1 - \alpha)F_t$$

Donde:

t = Periodo de tiempo presente
 α = Constante de ajuste exponencial
 A_t = Demanda en periodo t
 F_t = Pronóstico para el periodo t
 F_{t+1} = Pronóstico para el periodo siguiente a t

Este método se caracteriza por ser bastante sencillo y de poder reaccionar rápidamente ante variaciones en la demanda, además tiene la ventaja de no requerir grandes cantidades de información histórica.

Existen otros métodos que se pueden aplicar pero se debe analizar en primera instancia cual es el más adecuado para la gestión de Inventarios.

6. CONCLUSIONES

Al implementar la norma PAS 55 alineada con un plan de mantenimiento basado en RCM, se puede mejorar considerablemente la mantenibilidad, confiabilidad y disponibilidad de los equipos de la compañía en aras de llegar a obtener una gestión de mantenimiento de clase mundial.

La gestión de activos en la empresa nos va permitir conseguir resultados y objetivos de manera sostenible y sustentable en el tiempo, para la satisfacción del cliente ante las futuras oportunidades de productividad

Al desarrollar nuevas políticas y reforzar las que se encuentran vigentes en la compañía se podrán engranar cada uno de los procesos, de tal manera que se llegue a ser más productivos y confiables frente a un mercado globalizado y competitivo.

Con una adecuada gestión y pronóstico de inventarios la compañía mejorara la cadena de suministros y abastecimientos, logrando una reducción de inventarios innecesarios los cuales acarrearán pérdidas económicas considerables para la compañía.

7. RECOMENDACIONES

Se debe hacer énfasis en los cálculos del costo del ciclo de vida útil de los activos a nivel administrativo y gerencial entre operaciones y mantenimiento, para tomar las mejores decisiones desde el punto de vista de adquisición de nuevos equipos y a su vez en dar uso más eficiente del software con el que cuenta la compañía, para nuestro caso JD Edwards pues este posee varias herramientas de las cuales no se usan actualmente.

En el departamento de mantenimiento se debe establecer un grupo interdisciplinario para realizar los planes de mantenimiento teniendo en cuenta las técnicas de RCM, con el fin definir las fallas potenciales que puedan acarrear grandes pérdidas de tiempo y maximizar la disponibilidad y confiabilidad de los equipos de workover.

Se debe implementar por parte del departamento de compras y suministros un plan que permita asegurar el seguimiento de los materiales solicitados en las órdenes de trabajo montadas por los usuarios de cada unidad de negocio hasta su entrega final, pues este problema acarrea grandes pérdidas de tiempo las indisponibilidad de un equipo en operación.

De igual manera el departamento de suministros debe implementar un método estadístico para el pronóstico y rotación de inventarios, pues actualmente se hace de manera no convencional y sin control alguno.

BIBLIOGRAFIA

CHACÓN, S. PAS 55-1. Asset Management. Part 1: Specification for then optimized management of physical infrastructure asset.

CHACÓN, S. PAS 55-2 Asset Management Part 2: Guidelines For The Application of Pas 55-1

DURAN, José Bernardo. Gestión de Mantenimiento Bajo BSI PAS 55 Asset Management

FABRYCKY, Wolter J. Análisis Del Coste Del Ciclo De Vida De Los Sistemas. Isdefe, 1997.

KELLY, Anthony. Maintenance Systems and Documentation. Amsterdam: Butterworth-Heinemann, 2006. ISBN 9780750669948; 9780080462622

MORA GUTIERREZ, Luis Alberto. Mantenimiento Industrial Efectivo. 2009. Editorial COLDI Limitada ISBN: 978-958-98902-02 v. 1200 págs. 342

MOUBRAY. Jhon. Reliability-Centered Maintenance RCM II. New York: Industrial Press Inc. 1997, 421p.

NASA. Reliability Centered Maintenance Guide or Facilities and Collateral Equipment. 2000. 1-50p

ORTIZ, Daniel. Memorias Clase de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad - RCM. ESPECIALIZACIÓN DE GERENCIA DE MANTENIMIENTO. UIS. Bucaramanga 2010.

PARRA, Carlos, CRESPO, Adolfo. Ingeniería de Mantenimiento y Fiabilidad aplicada a la Gestión de Activos. INGECON, 2012. ISBN 8495499673, 9788495499677.166p

SAE JA1011. Evaluation Criteria for Reliability-Centered Maintenance (RCM) Processes. Society of Automotive Engineers, Inc. 1999. 30p.

SMITH, Ricky. Mejores prácticas de mantenimiento. En: INGENIERÍA y GESTIÓN DE MANTENIMIENTO: UNA NUEVA VISIÓN DEL MANTENIMIENTO. no. 30, p. 29-35

TORELL, Wendy y AVELAR, Víctor. Tiempo medio entre fallas: explicación y estándares.

<http://googleearthonline.blogspot.com/>

<http://www.independence.com.co/perforacion/perforaciones-y-equipos/>

OMCS Latin America; www.pmoptimization.com

Introducción a Reliability-Centred Maintenance; SQL SYSTEM CRIBBEAN NV en asociación con ALADON.