

**DESARROLLO DE UN MÉTODO DE INTEGRACIÓN ENTRE UN ESTÁNDAR  
INTERNACIONAL DE GESTIÓN DE ACTIVOS Y UN MODELO DE GERENCIA  
DE MANTENIMIENTO.**

**GUILLERMO ALEXIS PINEDA**



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE CIENCIAS FISICOMECAICAS  
ESCUELA DE ESTUDIOS INDUSTRIALES Y EMPRESARIALES  
BUCARAMANGA  
2013**

**DESARROLLO DE UN MÉTODO DE INTEGRACIÓN ENTRE UN ESTÁNDAR  
INTERNACIONAL DE GESTIÓN DE ACTIVOS Y UN MODELO DE GERENCIA  
DE MANTENIMIENTO.**

**GUILLERMO ALEXIS PINEDA**

**Trabajo de grado para optar al título de Magister en Gerencia de Negocios -  
MBA**

**Director**

**Dr. CARLOS ALBERTO PARRA MARQUEZ**

**Ingeniero Naval**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE CIENCIAS FISICO MECANICAS  
ESCUELA DE ESTUDIOS INDUSTRIALES Y EMPRESARIALES  
BUCARAMANGA**

**2013**

## CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
INTRODUCCIÓN .....	15
1. DESCRIPCIÓN DE LA COMPAÑÍA.....	17
2. IDENTIFICACIÓN DE LA NECESIDAD DENTRO DE LA GESTIÓN DE ACTIVOS Y EL MANTENIMIENTO PARA TGI S.A ESP .....	20
2.1 EL PROBLEMA.....	20
2.2 JUSTIFICACIÓN.....	20
2.3 OBJETIVO GENERAL .....	21
2.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	21
2.5. PROPUESTA DE ESTÁNDAR "BPI-PAS 55" .....	23
2.5.1 Marco histórico de su creación .....	23
2.5.2 Ítems que lo componen.....	25
2.5.3 Industrias que lo utilizan.....	26
2.6. MODELO DE GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO "MMM" .....	27
2.6.1 Marco histórico de su creación .....	28
2.6.2 Ítems que lo componen.....	28
2.6.3 Industrias que lo utilizan.....	29
2.7 METODOLOGÍA APLICADA PARA EL DESARROLLO DEL PRESENTE TRABAJO. ....	29
3.1. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA No 1 .....	31
3.1.1 Título .....	31
3.1.2 Autor .....	31
3.1.3 Código – Editorial.....	31
3.1.4 Síntesis .....	31
3.2. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA No 2 .....	34
3.2.1 Título.....	34

3.2.2 Autor .....	34
3.2.3 Código – Editorial.....	34
3.2.4 Síntesis .....	34
3.3. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA No 3.....	37
3.3.1 Título.....	37
3.3.2 Autor .....	38
3.3.3 Código – Editorial.....	38
3.3.4 Síntesis .....	38
3.4. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA No 4.....	42
3.4.1 Título.....	42
3.4.2 Autor .....	42
3.4.3 Código – Editorial.....	42
3.4.4 Síntesis .....	42
3.5 APORTE FINAL DENTRO DEL DOCUMENTO.....	43
4. PUNTOS DE INTEGRACIÓN Y CUMPLIMIENTO DE LA PROPUESTA DE ESTÁNDAR PAS 55 CON MODELO MMM.....	44
4.1. IDENTIFICACIÓN .....	44
4.2. PUNTOS DE NO CUMPLIMIENTO .....	50
4.3 IMPORTANCIA DE LOS PUNTOS DE INTEGRACIÓN PARA TGI S.A ESP..	51
5. PROCEDIMIENTOS PARA LOGRAR CUMPLIMIENTO .....	52
5.1 AUDITORÍA ASOCIADA AL PROCESO DE MANTENIMIENTO.....	56
5.2 DEFINICIÓN DE INDICADORES DE MANTENIMIENTO BÁSICOS.....	59
5.3 OBTENCIÓN AUTOMÁTICA DE INDICADORES DE MANTENIMIENTO BÁSICOS.....	63
5.4 INDICADORES DE MANTENIMIENTO, CONFIABILIDAD Y DISPONIBILIDAD GLOBALES.....	66
5.5 INTERRELACIÓN DE INDICADORES DE MANTENIMIENTO CON INDICADORES FINANCIEROS PARA LA GESTIÓN DE ACTIVOS.....	68
5.6 JERARQUIZACIÓN DE ACTIVOS FÍSICOS .....	72

5.7 APLICACIÓN METODOLOGÍA DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD .....	74
5.8 APLICACIÓN METODOLOGÍA DE ANÁLISIS CAUSA RAÍZ .....	77
5.9 APLICACIÓN METODOLOGÍA DE ANÁLISIS COSTO - RIESGO – BENEFICIO.....	79
5.10 APLICACIÓN METODOLOGÍA DE ANÁLISIS COSTO DEL CICLO DE VIDA .....	81
5.11 CONCLUSIÓN APORTE DE LOS PROCEDIMIENTOS DENTRO DEL DOCUMENTO .....	84
6. APLICACIÓN PRÁCTICA ORGANIZACIÓN TGI.....	85
6.1. GENERALIDADES DEL PROCESO DE IMPLEMENTACIÓN.....	85
6.2. CUMPLIMIENTO PRIMERA FASE DEL MODELO MMM.....	85
6.3. CUMPLIMIENTO SEGUNDA FASE DEL MODELO MMM .....	88
6.4. CUMPLIMIENTO TERCERA FASE DEL MODELO MMM.....	92
6.5. CUMPLIMIENTO CUARTA FASE DEL MODELO MMM .....	94
6.6. USO DE HERRAMIENTAS AUTOMATIZADAS PARA LA GERENCIA DEL MANTENIMIENTO.....	98
6.7. RESULTADOS PRACTICOS OBTENIDOS DENTRO DE TGI S.A ESP .....	100
6.8. PROYECCIONES FUTURAS Y POTENCIALES AREAS DE MEJORA.....	102
7. CONCLUSIONES Y OBSERVACIONES.....	103
BIBLIOGRAFIA.....	105
ANEXOS.....	107

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1. PAS 55:2008 Estructura del Sistema de Gestión .....	26
Figura 2. Modelo de Gestión del Mantenimiento “MMM” .....	28
Figura 3. Esquema general contenido de la PAS 55 .....	35
Figura 4. Mapa estratégico corporativo de TGI S.A ESP .....	54
Figura 5. Metas Balance Score Card de TGI S.A ESP .....	55
Figura 6. Matriz de criticidad para jerarquización de activos .....	90
Figura 7. Desarrollo metodología de los 5 porque dentro del aviso de mantenimiento en SAP PM. ....	93
Figura 8. Clasificación riesgo de modos de falla motor CAT 3612 por la metodología Pareto.....	95
Figura 9. Estructura modular del sistema de gerencia del mantenimiento SAP. ...	98
Figura 10. Reporte de indicadores desarrollados dentro de la plataforma SAP PM. .....	99

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Longitud total sistema de gasoductos de TGI S.A ESP .....	17
Tabla 2. Potencia de compresión instalada de TGI S.A ESP .....	17
Tabla 3. Consolidado de estados financieros de TGI S.A ESP al 31 de diciembre de 2012.....	19
Tabla 4. Cumplimiento de requerimientos de la PAS 55 y el Modelo MMM .....	48
Tabla 5. Puntos de no cumplimiento de requerimientos del Modelo MMM.....	50
Tabla 6. Resultados auditoría de mantenimiento semi cuantitativa (MES) .....	88

## LISTA DE ANEXOS

**Anexo A.** Formato para auditoría de mantenimiento semi cuantitativa tipo MES.

**Anexo B.** Formato de adquisición de datos en Excel.

**Anexo C.** Formato de protocolo de pruebas para auditar los resultados que se obtengan del CMMS.

**Anexo D.** Formato ejemplo para la presentación de resultados de indicadores sistémicos de confiabilidad.

**Anexo E.** Formato ejemplo de jerarquización de activos.

**Anexo F.** Ejemplo de análisis de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM).

**Anexo G.** Ejemplo de análisis causa raíz (RCA).

## GLOSARIO

**GESTION DE ACTIVOS:** Actividades y prácticas sistemáticas y coordinadas a través de las cuales una organización administra de manera óptima y sostenible sus activos y sistemas de activos, su desempeño, riesgos y costos asociados durante su ciclo de vida con el propósito de alcanzar su plan estratégico operacional” BSI PAS 55:2008.

**MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD:** Es una herramienta que permite analizar la forma en la cual funcionan los activos y sus potenciales modos de fallo, con la finalidad de determinar su mejor plan o estrategia de mantenimiento.

**MODELO DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO:** Modelo que consta de 8 fases las cuales abarcan una serie de herramientas metodológicas para optimizar la gestión de mantenimiento.

**ANALISIS CAUSA RAÍZ:** Es una herramienta que permite investigar de manera estructurada, la forma en la cual se presentó una determinada falla en un equipo, sus consecuencias y la causa fundamental que la ocasionó.

## RESUMEN

### TITULO:

DESARROLLO DE UN MÉTODO DE INTEGRACIÓN ENTRE UN ESTÁNDAR INTERNACIONAL DE GESTIÓN DE ACTIVOS Y UN MODELO DE GERENCIA DE MANTENIMIENTO.\*

### AUTOR:

Guillermo Alexis Pineda.\*\*

### PALABRAS CLAVES:

Gestión de Activos, Modelo de Gerencia del Mantenimiento “MMM”, Propuesta del Estándar Británico “PAS 55”, Confiabilidad.

### DESCRIPCION:

La Transportadora de Gas Internacional –TGI S.A. ESP- es una empresa perteneciente al Grupo de Energía de Bogotá cuya principal función es el transporte de gas natural a través de una red de gasoductos con más de 3700 km de longitud hacia diversas zonas del interior país. La Jefatura del área de gestión de activos de la compañía aplica básicamente dos lineamientos para mantener la confiabilidad en el mantenimiento de la infraestructura que son la propuesta de estándar PAS 55 y el modelo de gestión del mantenimiento MMM, pero no existe un marco que permita interpretar la forma de integrarlas y hacer que trabajen de forma conjunta. Teniendo en cuenta que las dos metodologías no se integran en la actualidad, se hace difícil para la compañía proponer una estrategia de gestión de activos eficiente y coordinada entre las diversas áreas dentro de la empresa.

El reto consistió entonces en integrar de forma específica el proceso de mantenimiento dentro del sistema de gestión de activos de la empresa. El panorama deseado era, que una vez alcanzada dicha integración, el mantenimiento recibiera la importancia merecida y se desarrollara como una función más de la organización generando valor hacia los clientes internos, arrojando información y datos útiles y contribuyendo al cumplimiento de los objetivos de la organización.

Como resultado se obtuvo la identificación de un marco de integración entre ambos métodos mediante la elaboración de los procedimientos específicos necesarios para el cumplimiento de cada uno de estos requerimientos integrados; así mismo se presenta evidencia de una aplicación práctica a la integración de estas dos propuestas metodológicas en el negocio de transporte de gas.

---

\* Trabajo de grado

\*\* Facultad de Ciencias Físico Mecánicas. Escuela de Estudios Industriales y Empresariales.  
Director: Dr. Carlos Alberto parra Márquez; Ingeniero Naval

## ABSTRACT

### TITLE:

DEVELOPMENT OF A METHOD OF INTEGRATION BETWEEN AN INTERNATIONAL ASSET MANAGEMENT STANDARD AND A MAINTENANCE MANAGEMENT MODEL.

### AUTHOR:

Guillermo Alexis Pineda. \*\*

### KEY WORDS:

Asset Management, Maintenance Management Model "MMM", Asset Management Proposal "Pas55", Reliability.

### DESCRIPTION:

The Transportadora de Gas International TGI S.A ESP is a member of the Grupo de Energía de Bogotá whose main function is the transport of natural gas through a 3700 km pipeline towards several areas inside the country. The company's asset management 14oft applies basically two methodologies to keep the reliability and maintenance of the infrastructure that are the Asset Management Proposal "PAS 55" and the Maintenance Management Model "MMM" but there is not a framework for interpreting how to integrate them and make them working together. Due that those methodologies are not integrated at the present, it is difficult for the company to propose a strategy of an efficient asset management process and a good coordination between different areas within the company.

The challenge was to integrate specifically the maintenance process within the asset management system of the company. The desired picture once achieved this integration was that maintenance should received the attention it deserves and be developed as a function of the organization generating more value to internal customers, yielding useful information and data and contributing to the achievement of the objectives of the organization .

The result was the identification of an integration framework between both methods through the development of specific procedures necessary to fulfill each of these requirements integrated, likewise presents evidence of a practical application to the integration of these two methodological approaches in the gas transportation business.

---

\* Work degree

\*\* School of Physics and Mechanical. School of Industrial and Business Studies. Directed by Dr. Carlos Alberto vine Marquez Naval Engineer

## INTRODUCCIÓN

La Transportadora de Gas Internacional TGI S.A ESP como parte del Grupo de Energía de Bogotá y dentro de su visión estratégica corporativa busca establecerse como una empresa cuyas prácticas de mantenimiento sean de clase mundial y que a su vez generen valor a sus accionistas. Esta decisión supone una mejora en sus procesos de mantenimiento, su optimización mediante técnicas reconocidas y su estandarización utilizada a nivel global por la industria del transporte de petróleo y gas.

A partir del año 2010 se crea el área denominada Gestión de Activos encargada de agrupar y direccionar un proceso eficiente de mantenimiento en las áreas de compresoras, gasoductos, integridad del derecho de vía, bodegas y compras; tomando como referencia los lineamientos contenidos dentro del plan estratégico corporativo mejor conocido como “PEC”. De igual forma en ese mismo año mediante un proceso de consultoría especializada, se adoptan los lineamientos de un modelo específico de mantenimiento denominado Modelo de Gestión del Mantenimiento mejor conocido por sus siglas en inglés como “MMM”<sup>1</sup>.

Todo lo anterior supone una profundización y adaptación de los procedimientos del modelo de gerencia del mantenimiento dentro de los requerimientos de un marco de referencia internacional de gestión de activos que permita competir y ser medidos de igual a igual con empresas similares del sector energético.

---

<sup>1</sup> *MMM: Maintenance Management Model* A. Crespo Márquez, C. Parra Márquez, P. Moreu de León, J.F. Gómez Fernández, and M. López Campos. (2009). “*The maintenance management framework. A practical view to maintenance management*”. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, Vol. 15, N.2, pp. 167 – 178.

Este marco de referencia será la propuesta de estándar “PAS 55”<sup>2</sup> próximamente conocida como la norma “ISO 55000”.

Actualmente se aplican de forma independiente dos lineamientos para mantener la confiabilidad en el mantenimiento de la infraestructura que son la propuesta de estándar PAS 55 y el modelo de gestión del mantenimiento “MMM”; sin embargo no existe un marco que permita interpretar la forma de integrar ambas metodologías y hacer que trabajen de forma conjunta haciendo difícil para la compañía proponer una estrategia de gestión de activos eficiente y coordinada entre las diversas áreas dentro de la empresa.

El presente proyecto permitirá desarrollar un método de integración de los requerimientos exigidos por la propuesta del estándar británico de gestión de activos “PAS 55” – “ISO 55000” en las áreas de mantenimiento y confiabilidad, tomando como referencia el modelo de gestión del mantenimiento “MMM” aplicado al negocio de transporte de gas. La solución del problema planteado aportará una forma práctica de aplicar el modelo de gestión del mantenimiento “MMM” cumpliendo con los requisitos exigidos por el estándar internacional de gestión de activos.

---

<sup>2</sup> PAS 55: British Standards Institution`s (BSI) Publicly Available Specification for the optimized management of physical assets (En el 2013 será reemplazado por el estándar ISO 55000.) disponible en internet <http://www.twpl.com/page=ISO55000thenewInternationalStandardforAssetManagementemergingfromPAS55successes>

## 1. DESCRIPCIÓN DE LA COMPAÑÍA

El presente proyecto será aplicado de forma práctica en La Transportadora de Gas Internacional –TGI S.A. ESP- la cual es una empresa perteneciente al Grupo de Energía de Bogotá cuya principal función es el transporte de gas natural a través de una red de gasoductos con más de 3700 km de longitud hacia diversas zonas del interior país a través de los departamentos de La Guajira, Cesar, Santander, Boyacá, Cundinamarca, Casanare, Meta, Tolima, Huila, Caldas, Risaralda, Quindío, Cauca y Valle del Cauca; a continuación se describen algunas características:

**Tabla 1. Longitud total sistema de gasoductos de TGI S.A ESP**

<b>Red de Gasoductos</b>	<b>Longitud</b>	<b>Longitud Total</b>
Operados y mantenidos directamente por TGI	2864 km	3774 km
Operados por terceros (La Sabana)	150 km	
Operados u mantenidos bajo contrato BOMT con TDO	760 km	

**Tabla 2. Potencia de compresión instalada de TGI S.A ESP**

<b>Estaciones de compresión</b>		
<b>Gasoductos</b>	<b>Potencia Instalada</b>	<b>Potencia Total</b>
Gasoducto Ballena - Barranca	94240 hp	149070 hp
Gasoducto Cusiana - El Porvenir - La Belleza	54830 hp	

La misión de TGI, enmarca esta función principal dentro de conceptos asociados a la responsabilidad social, la incorporación de prácticas de clase mundial y un equipo humano innovador, eficiente y de alta calidad.

Los servicios que actualmente presta TGI, son clasificados como de transporte del gas (en firme, interrumpible, ocasional y con desvío), parqueo o empaquetamiento que se refiere al parqueo de gas natural en la red de gasoductos, y préstamos de gas por periodos de tiempo muy cortos teniendo en cuenta que TGI cuenta con un stock o inventario del producto permanentemente.

A partir del año 2009 a partir del Plan Estratégico Corporativo (PEC) – objetivo “Implementación de Prácticas de Clase Mundial”, nace la idea de llevar a cabo técnicas asociadas al mantenimiento centrado en confiabilidad dentro del área de gestión de activos, lo cual es en la actualidad una práctica de aceptación e implementación en el marco de las mejores compañías dentro de la industria del petróleo y gas a nivel mundial. A finales del año 2010 comienza un proceso de consultoría especializada en confiabilidad para darle estructura y conocimientos al personal de la compañía.

Se trabaja durante todo el año 2011 en la implementación de las distintas etapas del modelo de gestión del mantenimiento llegando hasta la cuarta etapa de un total de 8 propuestas, cuyo marco de tiempo se estructuró hasta el año 2014.

En el año 2012 se consolida el área de gestión de activos de la compañía y se evidencia la necesidad de unificar todos los esfuerzos realizados por la gerencia de infraestructura dentro de un marco sólido de aceptación internacional que agrupe todas las técnicas que se han venido implementando producto del proceso de consultoría antes mencionado.

TGI presenta los siguientes estados financieros consolidados al año 2012<sup>3</sup> según se presenta a continuación:

---

<sup>3</sup> Tomado de <http://www.tgi.com.co/index.php/es/nuestra-empresa/informes-de-gestion>. Datos En Millones de pesos.

**Tabla 3. Consolidado de estados financieros de TGI S.A ESP al 31 de diciembre de 2012**

<b>BALANCE GENERAL</b>	<b>MM COP</b>
<b>ACTIVOS</b>	
Corrientes	258.701
No Corrientes	4.828.623
<b>TOTAL ACTIVOS</b>	<b>5.087.324</b>
<b>PASIVOS</b>	
Corrientes	120.514
No Corrientes	2.346.661
<b>TOTAL PASIVOS</b>	<b>2.467.175</b>
<b>PATRIMONIO</b>	
<b>TOTAL PATRIMONIO</b>	<b>2.620.149</b>
<b>EDO.RESULTADOS</b>	
<b>INGRESOS OPER</b>	<b>702.308</b>
COSTOS	252.521
GASTOS	76.930
<b>UTILIDAD NETA</b>	<b>247.680</b>

La Empresa se rige principalmente por la Ley 142 ó Estatuto de Servicios Públicos, Ley 689 de 2001 y la Resolución 071 de 1999 por la cual se establece el Reglamento Único de Transporte de Gas Natural - (RUT) en Colombia, sus estatutos y demás disposiciones contenidas en el Código de Comercio. Las tarifas aplicables al servicio de transporte de gas son reguladas por la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG), que es un organismo técnico adscrito al Ministerio de Minas y Energía.

## **2. IDENTIFICACIÓN DE LA NECESIDAD DENTRO DE LA GESTIÓN DE ACTIVOS Y EL MANTENIMIENTO PARA TGI S.A ESP**

### **2.1 EL PROBLEMA**

Actualmente dentro de la empresa Transportadora de Gas Internacional se aplican dos lineamientos básicos para mantener la confiabilidad en el mantenimiento de la infraestructura los cuales son la propuesta de estándar PAS 55 y el modelo de gestión del mantenimiento “MMM”, estos dos lineamientos se encuentran contenidos como Objetivo P1 “Implementación de prácticas de clase mundial” dentro del Plan Estratégico Corporativo “PEC”; sin embargo no existía una forma de evidenciar ante la gerencia que ambas sirven como complemento y trabajan de forma conjunta, con motivo de justificar la atención en continuidad y en asignación de los recursos necesarios.

Teniendo en cuenta que las dos metodologías no se evidenciaban como complemento, en la actualidad se hacía difícil para la compañía proponer una estrategia de gestión de activo eficiente, coordinado y sostenible entre las diversas áreas dentro de la empresa.

### **2.2 JUSTIFICACIÓN**

El presente proyecto permitirá a la compañía avanzar progresivamente en el cumplimiento de su plan estratégico corporativo y contribuirá con herramientas metodológicas para alcanzar la meta propuesta dentro de su visión “Ser en el 2024 la primera empresa transportadora de gas a nivel de Latinoamérica”. Así mismo aportará conocimiento y profundización relacionada con su filosofía de gestión de activos y una forma práctica de aplicar el modelo de mantenimiento

MMM y que a su vez cumpla con los requisitos exigidos por el estándar internacional de gestión de activos.

### **2.3 OBJETIVO GENERAL**

Desarrollar un procedimiento guía aplicado al negocio de transporte de gas que integre y cumpla con los requerimientos exigidos por la propuesta del estándar británico de gestión de activos “PAS 55” – “ISO 55000” en las áreas de mantenimiento y confiabilidad, tomando como referencia el modelo de gestión del mantenimiento “MMM”.

### **2.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Identificar dentro de la propuesta del estándar británico “PAS 55” los requerimientos que se pueden cumplir a través del modelo de gestión del mantenimiento “MMM”.
- Desarrollar el procedimiento específico para el cumplimiento de cada uno de los requerimientos de la propuesta del estándar británico “PAS 55” que son cubiertos por el modelo de gestión del mantenimiento “MMM”.
- Evidenciar a través del procedimiento guía elaborado una aplicación práctica de la integración de la propuesta de estándar de gestión de activos y la metodología de mantenimiento en el negocio de transporte de gas.

Gestionar un activo comprende un conjunto de actividades y prácticas sistemáticas y coordinadas a través de la cual una organización gerencia óptima y sustentablemente sus activos y sus sistemas de activos, su desempeño asociado, riesgos y gastos a través de su ciclo de vida con el propósito de alcanzar su plan estratégico organizacional. (PAS55-1:2008).

Dado que gestionar activos comprende una evaluación exhaustiva durante su ciclo de vida, se hace indispensable la utilización de diversas herramientas de tipo técnico y financiero los cuales comprenden entre otros: costos de adquisición, costos de construcción, costos de operación, costos de mantenimiento, costo de entrenamiento, costos logísticos, costos de confiabilidad.

Este último rubro de confiabilidad se constituye en el factor que permite la predicción de la forma en que los procesos de producción pueden perder su continuidad operativa debido a los eventos de fallos fortuitos y la evaluación del impacto sobre los costos ocasionados en el medio ambiente, seguridad, operaciones y producción (Crespo, 2007).

El modelo de gerencia del mantenimiento MMM cuenta como derrotero guía las diversas metodologías de confiabilidad, las cuales están organizadas atendiendo aspectos de programación y planeación del mantenimiento y dan cuenta de los pasos necesarios para asegurar su eficacia, su eficiencia, su evaluación, su control y su mejora continua.

Hoy en día las distintas organizaciones invierten grandes recursos con miras a optimizar el rendimiento de los activos físicos o de su infraestructura; la gestión del mantenimiento es tan solo una pequeña porción de lo que significa evaluar su ciclo de vida completo, pero con gran significancia toda vez que propende porque este activo lleve a cabo su función primordial en el tiempo.

Los beneficios que se esperan de a partir de la implementación estructurada de un proceso de gestión de activos ligados a un proceso de mantenimiento son:

- Alineación de procesos y recursos funcionales
- Crear un proceso transparente y auditable de las decisiones de mantenimiento que se tomen.

- Mejor entendimiento del uso de los datos y la información para la toma de decisiones consistentes.
- Mejora en los procesos de planeación, especialmente en el tema de gastos.
- Manejo del riesgo consistente, priorizado y auditable.
- Alineación y coordinación de iniciativas existentes incluyendo desarrollo de competencias.
- Mayor participación y compromiso de la fuerza de trabajo, incluyendo liderazgo, comunicación, trabajo de equipo interdisciplinario.

## **2.5. PROPUESTA DE ESTÁNDAR "BPI-PAS 55"<sup>4</sup>**

A continuación se mencionará y profundizará en diversos aspectos asociados a esta propuesta de estándar BPI-PAS55 que por primera vez menciona y otorga importancia al proceso de gestionar un activo, término que anteriormente era asociado exclusivamente al ámbito financiero pero que poco a poco gana fuerza en su aplicación sobre la infraestructura física de las compañías.

### **2.5.1 Marco histórico de su creación**

- **Año 1980:** La crisis industrial de los 80s condujo a realizar grandes esfuerzos para reducir los costos de operación de las empresas. Se evalúan las pérdidas, riesgos y costos de producción que en aquel momento aquejaba al sector industrial a nivel mundial.
- **Año 1990:** Se comienza a hablar de buenas prácticas en el sector de mantenimiento, proceso desarrolladas por varios institutos de excelencia en los Estados Unidos quienes propusieron las diez buenas prácticas que se mencionan a continuación:
  1. Organización centrada en equipos de trabajo.

---

<sup>4</sup> BPI: Por sus siglas en ingles "British Standard Institute"

2. Contratista orientado a la productividad.
  3. Integración con proveedores de materiales y servicios.
  4. Apoyo y visión de la dirección o gerencia.
  5. Planificación y programación proactiva.
  6. Procesos orientados al mejoramiento continuo.
  7. Gestión disciplinada de procura de materiales.
  8. Integración de sistemas de tecnología de la información.
  9. Gerencia disciplinada de paradas de planta.
  10. Producción basada en confiabilidad.
- **Año 1993:** Se crea en el Reino Unido el Institute of Asset Management (IAM) interesadas en compartir experiencias y mejores prácticas.
  - **Año 1995:** Se asocian al IAM una agrupación de empresas de Reino Unido, Australia y Nueva Zelanda.
  - **Año 1998:** Se crea la necesidad de crear las bases sólidas de una norma internacional y se comienza a hablar de la propuesta de estándar PAS 55.
  - **Año 2003:** Se establece en el comité del British Standard Institute (BSI) el grupo para comenzar a desarrollar la propuesta de estándar PAS 55.
  - **Año 2004:** Se publican las especificaciones de la PAS 55:2004, la cual contiene en una primera parte los requerimientos y en una segunda parte su implementación.
  - **Año 2008:** Es actualizada a la propuesta de estándar PAS 55:2008 y se comienza a plantear su internacionalización generando una norma ISO.
  - **Año 2010:** El comité de la ISO Technical Management Board, aprueba la redacción de la norma ISO 55000<sup>5</sup> basada en la PAS 55. El BSI actuará como el secretario del proyecto que tiene una duración esperada de 2 a 3 años con una primera versión llamada ISO 55000 en el año 2014.

---

<sup>5</sup> <http://www.iso55000.info/2.html>

2.5.2 Ítems que lo componen. La propuesta de estándar PAS 55 es la Especificación British Standard que se encuentra disponible al público para la gestión optimizada de activos físicos, esta provee todas una serie de definiciones y especificaciones de 28 requerimientos necesarios para establecer y auditar un sistema de gestión integrado y optimizado a lo largo del ciclo de vida para todo tipo de activo físico.

Así mismo se encuentran todos los requerimientos que permiten demostrar competencias, establecer prioridades de mejora y capitalizar dichas mejoras, lograr conexiones claras entre los planes estratégicos organizacionales y el trabajo real diario y las realidades de los activos.

PAS 55 aplica a cualquier organización bien sea pública o privada, regulada o no regulada, que tenga una alta dependencia en infraestructura o equipos físicos. Esta describe todo lo requerido para una adecuada sincronización entre la planificación e implementación, adquisición/creación, operación, mantenimiento y renovación/desincorporación y en diversas variables que impulsan un desempeño optimizado y sustentable.

Las organizaciones que han adoptado estas aproximaciones sistemáticas y optimizadas han mejorado de manera consistente sus costos, riesgos, el desempeño y los servicios desde las líneas bases o procesos soportes a su razón de ser. La PAS 55 también provee una evidencia clara de sustentabilidad para los clientes; inversionistas, reguladores y otras partes interesadas.

A diferencia con otros estándares, los cuales en gran medida se cumplen con la adquisición de gran cantidad de archivos documentales, la PAS 55 requiere de manera específica evidencia de una alineación real entre las buenas intenciones escritas en el sistema de gestión y el trabajo real de terreno.

De esta manera es un mecanismo muy valioso para asegurar que los principios de planificación total del tiempo de vida del activo, gestión integral de riesgo, costo/riesgo/beneficio, enfoque al cliente, sustentabilidad, etc, sean realmente implementados dentro del trabajo diario de implementación de proyectos de capital, operaciones, mantenimiento, etc. optimizado y sustentable.

A continuación se muestra la estructura del sistema de gestión según la PAS 55:2008, dentro de la cual se evidencia una interconexión natural con otros sistemas de gestión integrados.

**Figura 1. PAS 55:2008 Estructura del Sistema de Gestión<sup>6</sup>**



### 2.5.3 Industrias que lo utilizan.

A continuación se listan algunas de las compañías certificadas bajo la propuesta de estándar PAS 55 y sus fechas de certificación:

<sup>6</sup> Gráfica tomada de PAS 55-1:2008 Final Draft V.3, Figura 6.

- Transco UAE 2007
- CE Electric Mar 2008
- Central Networks May 2007
- CLP Power, Hong Kong - Power Mar 2007
- Systems Business Group (PSBG)
- National Grid Gas Distribution Mar 2007
- National Grid Gas Transmission Feb 2007 Feb 2010
- Central Networks Feb 2007 Feb 2010
- United Utilities Jan 2007 Jan 2010
- Essent Netwerk (Netherlands) 2006
- EDF Energy Networks Nov 2006 Nov 2009
- WPD Nov 2006 Nov 2009

Sin embargo al ser una norma de origen inglés solo tiene validez jurídica real en el Reino Unido por lo cual la certificación en otros países simplemente significa una muestra de las buenas prácticas recomendadas en gestión de activos aplicadas por cada compañía.

## **2.6. MODELO DE GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO "MMM"<sup>7</sup>**

A continuación se muestra el modelo de gestión del mantenimiento MMM a través del cual se ha estructurado el proceso de aplicación de técnicas de confiabilidad y gestión del mantenimiento dentro de la Transportadora de Gas Internacional; este se utiliza como un puente de enlace a través del cual se consolida de forma práctica y sistemática un modelo de gestión de activos empresarial.

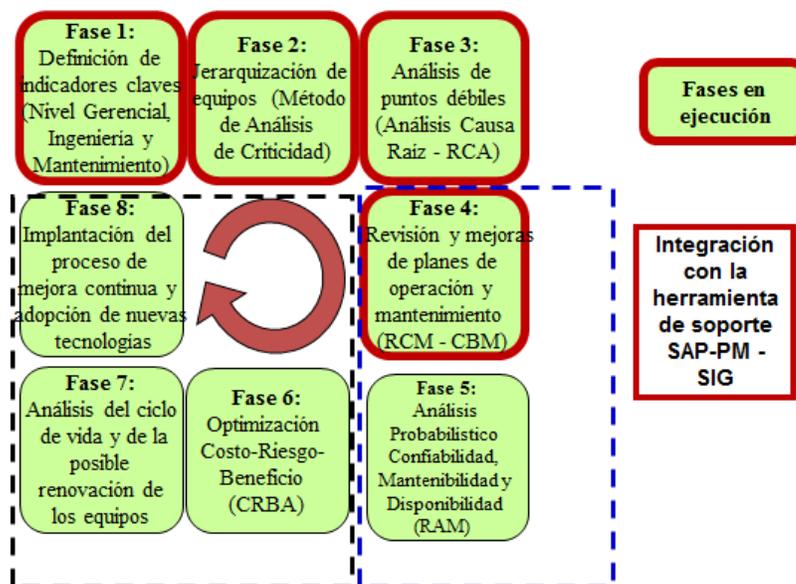
---

<sup>7</sup> *MMM: Maintenance Management Model* A. Crespo Márquez, C. Parra Márquez, P. Moreu de León, J.F. Gómez Fernández, and M. López Campos. (2009). "The maintenance management framework. A practical view to maintenance management". *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, Vol. 15, N.2, pp. 167 – 178.

2.6.1 Marco histórico de su creación. El modelo de gestión del mantenimiento adoptado por la compañía TGI S.A ESP mediante un proceso de auditoría internacional fue propuesto y difundido inicialmente por los Doctores Adolfo Crespo y Carlos Parra en su libro “The Maintenance Management Framework” publicado por la editorial Springer en el año 2007.

2.6.2 Ítems que lo componen. Este modelo consta de 8 fases que abarcan todo el ciclo de vida de los activos. A continuación se muestran las fases que componen dicho modelo adoptado y su significado dentro de la gestión de activos físicos en el mantenimiento de la infraestructura.

**Figura 2. Modelo de Gestión del Mantenimiento “MMM”<sup>8</sup>**



Las fases 1, 2 y 3 condicionan que tan eficaz está siendo la gestión del mantenimiento, los bloques correspondientes a las fases de la 4 a la 8 del modelo aseguran la eficiencia de las actividades y su mejora continua de la siguiente forma: las fases 4 y 5 incluyen acciones para la planificación y programación del

<sup>8</sup>Crespo Marquez A. The maintenance management framework. Models and methods for complex systems maintenance. London: Springer Verlag (2006).

mantenimiento, incluyendo por supuesto la planificación de la capacidad del departamento de mantenimiento. Las fases 6 y 7 están dedicados a la evaluación y control del mantenimiento y del costo de los activos a lo largo de su ciclo de vida. Por último la fase 8 se centra en acciones para asegurar la mejora continua de la gestión.

Al ser un modelo de gestión con recomendación de buenas prácticas asociadas al mantenimiento, no otorga con ningún tipo de certificación internacional.

**2.6.3 Industrias que lo utilizan<sup>9</sup>.** Actualmente el modelo de gestión del mantenimiento MMM se ha aplicado en empresas dedicadas a distintos sectores tales como:

- Empresa Canal de Panamá
- Transportadora de Gas Internacional TGI S.A ESP
- Petróleos de Venezuela S.A PDVSA

Este modelo ha sido ampliamente utilizado y difundido en ponencias internacionales y papers que se mencionarán más adelante en las referencias bibliográficas.

## **2.7 METODOLOGÍA APLICADA PARA EL DESARROLLO DEL PRESENTE TRABAJO.**

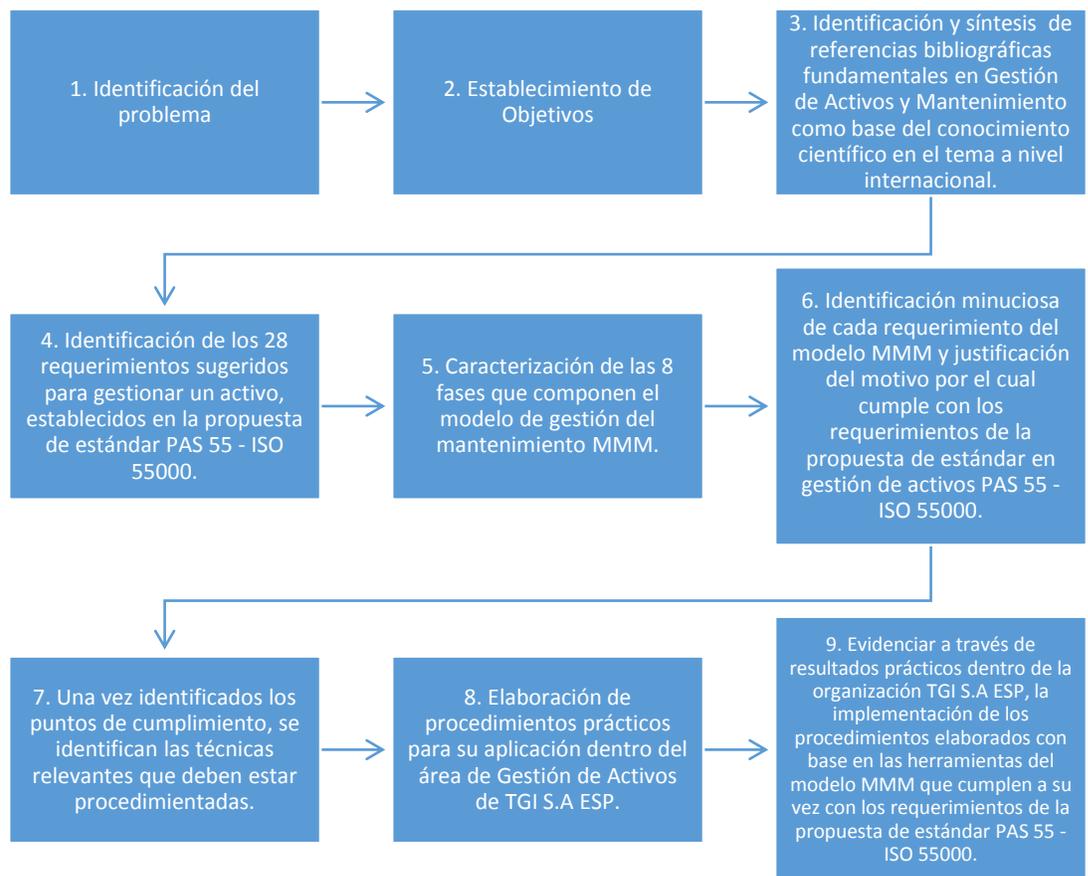
La finalidad del presente trabajo es mostrar una evidencia práctica sobre como el modelo de gestión de mantenimiento MMM, cumple con los requerimientos de la propuesta de estándar PAS 55; y como este cumplimiento se ve reflejado de forma

---

<sup>9</sup>Disponible en:  
[http://www.amcouncil.com.au/files/Asset\\_Management\\_Council\\_0902\\_Tonysakerpresentation\\_2008.pdf](http://www.amcouncil.com.au/files/Asset_Management_Council_0902_Tonysakerpresentation_2008.pdf)

real y concreta en términos económicos mediante acciones realizadas en un período de 2 años.

Para llevar a cabo el presente trabajo de aplicación y una vez explicado el marco de la necesidad, los objetivos planteados y el estado del arte asociado a las gestión de activos y el mantenimiento; se muestra de forma organizada y consecutiva, la concepción del entregable mediante una serie de pasos metodológicos que dieron como resultado la evidencia necesaria ante la gerencia para mantener y continuar asignando los recursos dentro de un plan estratégico corporativo. A continuación se muestran los pasos que se siguieron para tal fin:



La caracterización del flujo aplicado como parte del desarrollo del presente trabajo, es la guía mediante la cual se evidencia y estructura cada uno de los posteriores capítulos.

### **3. SINTESIS BIBLIOGRÁFICA ASOCIADA A LA GESTIÓN DE ACTIVOS**

Se presenta una síntesis de los temas que se tratan en la bibliografía más relevante para la profundización del presente trabajo de grado. Esta síntesis hace parte del cumplimiento de los objetivos propuestos en el capítulo No 2 de este libro y su ejecución depende de la comprensión y transcripción dentro de un sumario de los temas que allí se tratan y su resultado se hará evidente como se muestra en los siguientes numerales.

#### **3.1. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA No 1**

**3.1.1 Título.** "The Maintenance Management Framework"

**3.1.2 Autor.** Adolfo Crespo Márquez, PhD. Department of Industrial Management School of Engineering of the University of Seville Camino de los Descubrimientos s/n Seville 41092 Spain

**3.1.3 Código – Editorial.** ISBN-13: 9781846288203. Library of Congress Control Number: 2007922727. Springer Series in Reliability Engineering series ISSN 1614-7839 ISBN 978-1-84628-820-3 e-ISBN 978-1-84628-821-0 Printed on acid-free paper. © Springer-Verlag London Limited 2007

**3.1.4 Síntesis.** El presente texto bibliográfico se compone de 18 capítulos organizados en secuencias lógicas según 3 áreas fundamentales referentes al proceso de gestión del mantenimiento según la estructura de soporte fundamental propuesta; a continuación se describirán los aspectos relevantes correspondientes a cada área del conocimiento.

### **Área del conocimiento 1:**

Definición y caracterización de la gestión del mantenimiento.

#### **Propósito:**

Describe los conceptos básicos y actualizados del concepto de gestión del mantenimiento, sus procesos y su marco de referencia. Esta área del conocimiento describe los diversos puntos de vista que pueden ser encontrados en la literatura general. Se encuentra compuesta por los capítulos 1 y 2 del libro y responde a interrogantes sobre los siguientes temas:

- Efectividad y eficiencia en la gerencia del mantenimiento las cuales hacen parte de los objetivos estratégicos corporativos.
- Formulación de estrategias y establecimiento de responsabilidades, de tal forma que su implementación pueda llevarse a cabo a nivel estratégico, táctico y operativo.
- Caracterización del modelo de gestión del mantenimiento “MMM” y conocimiento de sus pilares básicos.

### **Área del conocimiento 2:**

Conceptos básicos para sistemas de mantenimiento complejos.

#### **Propósito:**

El aspecto más relevante de esta parte del libro es la definición de la política de mantenimiento ya que este concepto es frecuentemente mal estructurado en muchas organizaciones, así mismo describe es el concepto básico de fallo y sus modelos así como el concepto de mantenimiento y sus respectivos modelos. La presente área del conocimiento se encuentra compuesta por los capítulos 3, 4, 5 y 6 del libro y responde a interrogantes sobre los siguientes temas:

- Estudio sobre el concepto de falla y sus distintos puntos de vista desde el mantenimiento.
- Modelos de falla de mantenimiento, adquisición de data y estudio de la distribución estadística de Weibull.
- Conceptos, tipos y modelos de mantenimiento totales y parciales tales como el CIR, ABR, PPR y el IPM.

### **Área del conocimiento 3:**

Desarrollo del modelo de gestión del mantenimiento “MMM”.

#### **Propósito:**

Corresponde a la parte fundamental del contenido del libro en la cual se mencionan o desarrollan algunas actividades de mantenimiento en 8 bloques o fases cada una de ellas con una función completamente definida dentro del proceso de mantenimiento. Se encuentra compuesta por los capítulos del 7 al 18 del libro y responde a interrogantes sobre los siguientes temas:

- Definición de objetivos dentro de la estrategia de mantenimiento, análisis de criticidad de activos.
- Aplicación de la metodología de análisis causa raíz (RCA).
- Aplicación de métodos para diseño de planes de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM).
- Modelamiento de confiabilidad-disponibilidad-mantenibilidad (RAM).
- Aplicación de métodos de análisis costo-riesgo-beneficio.
- Análisis del costo del ciclo de vida de un activo.

### **CONCLUSIÓN**

Esta referencia bibliográfica establece de forma técnica el modelo de gestión de mantenimiento MMM y sus 8 fases; así mismo aporta información relevante para

los procedimientos contenidos en el presente trabajo de aplicación en los numerales 5.1, 5.3, 5.8.

## **3.2. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA No 2**

### **3.2.1 Título.** PAS 55-1 Asset Management.

Part 1: Specification for the optimized management of physical infrastructure assets.

PAS 55-2 Asset Management. Part 2: Guidelines for the application of PAS 55-1.

**3.2.2 Autor.** Creada por el Instituto de Gestión de Activos (IAM)<sup>10</sup> de Reino Unido.

**3.2.3 Código – Editorial.** Publicada por la Institución Británica de Normas (BSI)<sup>11</sup>.  
www.bsigroup.com Tel: +44 (0)20 8996 7070.

PAS 55-1-2008 Asset Management. Part 1: Specification for the optimized management of physical infrastructure assets. ISBN: 978 0 580 50975 9

PAS 55-2-2008 Asset Management. Part 2: Guidelines for the application of PAS 55-1. ISBN: 978 0 580 50976 6

**3.2.4 Síntesis.** PAS-55 es un estándar preliminar o llamado en inglés “Publicly Available Specification” para la gestión de activos, desarrollo que ha sido conducido por el IAM (UK) y publicado por el BSI.

---

<sup>10</sup> IAM: Por sus siglas en inglés (The Institute for Asset Management)

<sup>11</sup> BSI: Por sus siglas en inglés (The British Standards Institution)

Provee un marco de conocimiento para la gestión de activos físicos abarcando desde las políticas organizacionales, estrategias de planeación, documentación, entrenamiento, manejo del riesgo y demás. Pas 55 provee lineamientos generales, pero no provee indicaciones sobre las técnicas a ser utilizadas para su cumplimiento.

Pas 55 consta de 4 secciones introductorias y una sección adicional de requerimientos específicos para el manejo de los activos. A continuación en la Figura 3, se muestra un esquema relacionado con la estructura de la PAS 55.

Figura 3. Esquema general contenido de la PAS 55<sup>12</sup>



### Área del conocimiento 1:

Introducción.

### Propósito:

Describe de forma general el objetivo de la propuesta de estándar referente a la gestión de activos físicos y sus principios clave. Define el concepto de gestión de activos y de plan estratégico organizacional. Menciona los principales beneficios de un ciclo de vida optimizado de gestión de activos.

<sup>12</sup> Esquema tomado del libro Physical Asset Management, Pag. 325. Autor: Nicholas A.J. Hastings. 2010.

**Área del conocimiento 2:**

Alcance.

**Propósito:**

Lista el rango de los tipos de activos para los cuales aplica la propuesta de estándar, dado que todo el personal involucrado en estos temas debe tener un conocimiento claro de los activos que se manejan. Menciona el tipo de empresas desde las pequeñas hasta las multinacionales a las cuales puede aplicar esta propuesta de estándar.

**Área del conocimiento 3:**

Publicaciones de referencia.

**Propósito:**

Lista referencias relacionadas a documentos internos y externos relevantes para la aplicación en la gerencia de activos, estructuras organizacionales, procedimientos y estándares técnicos. Menciona referencias o puntos de encuentro con estándares de seguridad tales como OSHAS 18001:2007, Estándares ambientales como ISO 14001:2004 y estándares de calidad como ISO 9001:2000.

**Área del conocimiento 4:**

Términos y definiciones.

**Propósito:**

Menciona los diferentes términos y definiciones que se tratan dentro de PAS 55.

**Área del conocimiento 5:**

Requerimientos del sistema de gestión de activos.

**Propósito:**

Abarca la gestión de activos en campo y sus requerimientos. Esta sección se subdivide en las 7 subsecciones que se mencionan a continuación:

- 4.1 Requerimientos generales
- 4.2 Políticas de gestión de activos
- 4.3 Estrategias, objetivos y planes de gestión de activos
- 4.4 Habilitadores y controles de gestión de activos
- 4.5 Implementación de planes de gestión de activos
- 4.6 Evaluación del desempeño y mejora
- 4.7 Revisión de la gestión

Las anteriores subsecciones proponen acciones estratégicas o lineamientos claves para dar cumplimiento con la propuesta de estándar de gestión de activos, sin embargo continúa siendo una aproximación poco práctica desde el punto de vista de la ejecución.

**CONCLUSIÓN**

La referencia bibliográfica No 2 propone los requerimientos contenidos dentro del numeral No 4 de este libro dentro del cual se hallan los puntos de integración y cumplimiento con las fases del modelo MMM, estas últimas contenidas dentro de la referencia bibliográfica No 1.

**3.3. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA No 3****3.3.1 Título. “Physical Asset Management”**

**3.3.2 Autor.** Dr. Nicholas A. J. Hastings. Queensland University of Technology Centre for Integrated Engineering Asset Management (CIEAM). Gardens Point Campus, Level 7, O Block Brisbane QLD 4001 Australia

**3.3.3 Código – Editorial.** ISBN 978-1-84882-750-9. e-ISBN 978-1-84882-751-6. DOI 10.1007/978-1-84882-751-6. Springer London Dordrecht Heidelberg New York. Library of Congress Control Number: 2009935958. © Springer-Verlag London Limited 2010

**3.3.4 Síntesis.** El presente texto bibliográfico se compone de 24 capítulos organizados en secuencias lógicas según 6 áreas fundamentales referentes al proceso de gestión de activos; a continuación se describirán los aspectos relevantes correspondientes a cada área del conocimiento.

#### **Área del conocimiento 1:**

Introducción General.

#### **Propósito:**

Describe los conceptos, la estructura y actividades de la gestión de activos; así mismo indica las competencias necesarias que debe tener cada miembro del grupo de gestión de activos.

La presente área del conocimiento se encuentra compuesta por los capítulos 1 y 2 del libro y responde a interrogantes sobre los siguientes temas:

- Tipos de activos que poseen las organizaciones y los tipos de industria para los cuales un manejo de la gestión de activos es importante.
- Definiciones fundamentales desde el punto de vista financiero.
- Introducción al costo del ciclo de vida.
- Estructuración del grupo de gestión de activos y las actividades en las cuales debe estar involucrado.

- Roles y competencias del personal de gestión de activos.
- Estrategias del área de gestión de activos.

### **Área del conocimiento 2:**

Adquisición y desarrollo de activos.

#### **Propósito:**

Describe el proceso de adquisición y desarrollo de los activos físicos de las compañías desde el concepto de aprobación de un proyecto, desarrollo de casos, implementación y desarrollo de planes o modelos de negocio. La presente área del conocimiento se encuentra compuesta por los capítulos 3, 4 y 5 del libro y responde a interrogantes sobre los siguientes temas:

- Etapas del desarrollo de activos de infraestructura física.
- Análisis de pre factibilidad y factibilidad para el desarrollo de un plan de adquisiciones.
- Etapas para el desarrollo de casos de negociación de pequeños y grandes proyectos.
- Establecimiento de equipos de trabajo, comisionamiento y manejo del cambio.

### **Área del conocimiento 3:**

Gerencia de activos en servicio.

#### **Propósito:**

Describe el proceso identificación y conocimiento de los activos, gerencia de activos en servicio, manejo del outsourcing y planeación del capital de inversión y presupuesto. La presente área del conocimiento se encuentra compuesta por los capítulos 6, 7, 8, 17 y 18 del libro y responde a interrogantes sobre los siguientes temas:

- Visión integral de la infraestructura existente mediante la planeación de su sostenimiento durante su ciclo de vida.
- Como planear la compra de equipos a través de un horizonte planeado de costos año – año.
- Desarrollo de presupuestos de capital y su priorización basada en retornos, riesgos y criticidad de los activos.
- Tipos de outsourcing, actividades que pueden ser realizadas bajo este concepto y cuáles deben ser ejecutadas in house.
- Importancia de los activos en el negocio, sus roles, sus tecnologías involucradas y los cuellos de botella que se pueden presentar durante el desarrollo del negocio.

#### **Área del conocimiento 4:**

Análisis financiero.

#### **Propósito:**

Describe el análisis financiero mediante flujos de caja descontados, conceptos de depreciación e impuestos, criterios para inversión en activos y decisión de reemplazo de equipos. La presente área del conocimiento se encuentra compuesta por los capítulos 9, 10, 11, 12 y 16 del libro y responde a interrogantes sobre los siguientes temas:

- Como el gerente de gestión de activos puede utilizar herramientas financieras para la toma de decisiones.
- Como se calcula la depreciación y la utilidad neta, como se toman decisiones a partir de diagramas de flujo de caja, valor presente neto, tasa interna de retorno, el impacto de la confiabilidad en los activos, métodos de valoración de activos.
- Método para realizar análisis costo – riesgo – beneficio utilizando el balance general.

- Factores que influyen el reemplazo de equipos durante su ciclo de vida, teniendo en cuenta su riesgo.

### **Área del conocimiento 5:**

Aspectos técnicos.

#### **Propósito:**

Describe algunos aspectos de tipo técnico como el apoyo logístico, el mantenimiento dentro de la organización, análisis de confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad, así como el manejo del inventario. La presente área del conocimiento se encuentra compuesta por los capítulos 14, 20, 21 y 22 del libro y responde a interrogantes sobre los siguientes temas:

- Reducción de problemas en la gestión de la infraestructura mediante un análisis en su etapa de adquisición y los factores a tener en cuenta.
- La importancia del mantenimiento dentro de una organización y su presupuesto.
- Análisis de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad (RAM)<sup>13</sup> como parte del análisis del ciclo de vida de un activo.
- Análisis de inventarios y consumibles en bodegas.

### **Área del conocimiento 6:**

Facilitadores generales.

#### **Propósito:**

Describe aspectos relacionados con el análisis y manejo del riesgo, sistemas de información, indicadores de desempeño y la propuesta de estándar PAS 55. La presente área del conocimiento se encuentra compuesta por los capítulos 13, 19, 23 y 24 del libro y responde a interrogantes sobre los siguientes temas:

---

<sup>13</sup> RAM: Por sus siglas en inglés (Reliability, Availability, Mantenibility)

- Análisis y tratamiento del riesgo en relación a proyectos, plantas y maquinaria, teniendo en cuenta obligaciones regulatorias.
- Estructura de flujo de datos y el rol de un sistema de manejo de la información.
- Creación de indicadores de desempeño para aplicaciones específicas.
- Alcance de la propuesta de estándar PAS 55 y como se relaciona con algunas técnicas utilizadas por la gerencia de gestión de activos.

## **CONCLUSIÓN**

La referencia bibliográfica No 3, establece de forma técnica como se gestionan los activos físicos de una empresa; así mismo aporta información relevante para los procedimientos contenidos en el presente trabajo de aplicación en los numerales 5.2, 5.4, 5.10.

### **3.4. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA No 4**

**3.4.1 Título.** “La gestión de activos y PAS 55”

**3.4.2 Autor.** López Campos Mónica A., Parra Márquez Carlos y Crespo Márquez Adolfo.

Departamento de Organización Industrial y Gestión de Empresas I. Escuela Superior de Ingenieros. Camino de los Descubrimientos s/n. 41092. Universidad de Sevilla

**3.4.3 Código – Editorial.** Paper presentado en el XIII Congreso de Confiabilidad, Zaragoza – España, Noviembre 2011

**3.4.4 Síntesis.** La presente referencia bibliográfica propone los puntos de cumplimiento del modelo “MMM” dentro de la propuesta de estándar PAS 55:2008, en una primera aproximación práctica con referencia a los requerimientos del

sistema de gestión de activos. Si bien el presente paper aporta una base fundamental para el presente trabajo de aplicación, aún no muestra de forma práctica una forma de implementarlo dentro de la industria.

## CONCLUSION

La referencia bibliográfica No 4 aporta estudio de identificación de requerimientos contenidos dentro del modelo MMM asociado a la PAS 55; por lo tanto aporta al contenido del capítulo 4 del presente trabajo de aplicación.

### **3.5 APORTE FINAL DENTRO DEL DOCUMENTO**

Se han identificado las referencias bibliográficas más importantes para la definición del presente trabajo de aplicación, esta relación es fundamental dentro de la metodología mencionada en el capítulo No 2; sin ella sería prácticamente imposible establecer un correcto estado del arte, que conduzca a unos resultados confiables y enmarcados dentro de conceptos válidos dentro de la industria y el área académica.

Así mismo es fundamental resaltar la importancia del uso de libros científicos de editoriales como Springer, de reconocimiento mundial, cuyos estándares de calidad para la publicación por parte de cualquier autor, son elevados, lo cual garantiza una excelente confiabilidad de la información que allí se encuentra.

## **4. PUNTOS DE INTEGRACIÓN Y CUMPLIMIENTO DE LA PROPUESTA DE ESTÁNDAR PAS 55 CON MODELO MMM**

El presente capítulo se presenta para dar cumplimiento al objetivo específico No 1, dentro del cual se toma como referencia el trabajo realizado como parte del paper señalado en el numeral 4.4. Referencia Bibliográfica No4 y del libro Ingeniería de Mantenimiento y Fiabilidad Aplicada en la Gestión de Activos, Autor: Carlos Alberto Parra Márquez y Adolfo Crespo Márquez, Año 2012, Edita: INGEMAN. ISBN: 978-84-95499-67-7.

Dentro del trabajo realizado por los autores antes mencionados, se plantean los puntos de cumplimiento del modelo MMM dentro de los 28 requerimientos exigidos por la propuesta de estándar PAS 55:2008; obviamente el modelo MMM no abarca el total de las exigencias, dado que está enfocado hacia el mantenimiento y la norma PAS 55 es mucho más general.

A continuación se relacionan en una tabla estos puntos de identificación a los cuales posteriormente les será realizado el procedimiento respectivo asociado a la realidad de la transportadora de gas internacional TGI S.A ESP, de tal forma que se evidencie de forma práctica su aplicación.

### **4.1. IDENTIFICACIÓN**

Como parte del proceso metodológico y tomando como referencia bibliográfica el trabajo realizado dentro del libro Ingeniería de Mantenimiento y Fiabilidad Aplicada en la Gestión de Activos mencionado anteriormente, se muestra la sustentación de la integración para ambos lineamientos:

REQUERIMIENTOS DE LA NORMA PAS 55	EXPLICACIÓN DEL PORQUE LAS FASES DEL MODELO MMM CUMPLEN CON LOS REQUERIMIENTOS DE LA PROPUESTA DE ESTÁNDAR PAS 55 -
<p>4.1. REQUERIMIENTOS GENERALES DE LA PAS 55</p> <p>4.2. POLÍTICA DE GESTIÓN DE ACTIVOS</p> <p>4.3. ESTRATEGIA DE GESTIÓN DE ACTIVOS, OBJETIVOS Y PLANES</p> <p>4.3.1. Estrategia de gestión de activos</p> <p>4.3.2. Objetivos de la gestión de activos</p> <p>4.3.3. Planes de gestión de activos</p> <p>4.3.4. Planificación de contingencias</p>	<p>Fase 1. Propone el uso del cuadro de mando integral (Balanced Scorecard - BSC), propuesto por Kaplan y Norton, modelo que traduce la misión de una unidad de negocio y la estrategia en un conjunto de objetivos y medidas cuantificables. Al aplicar el BSC las organizaciones consiguen:</p> <p>1. Formular las políticas y estrategias para la operación y ejecución del mantenimiento de los activos a lo largo del ciclo de vida</p> <p>2. Poner en práctica las estrategias de mantenimiento y operación, las cuales se traducen en objetivos a corto, mediano y largo plazo.</p> <p>3. Desarrollar los planes de acción. Estos son los medios para conseguir llegar a los fines estipulados en los objetivos establecidos en el paso (2)</p> <p>4. Revisar y auditar periódicamente el rendimiento de las estrategias implantadas. Se realizará el seguimiento y se investigarán las relaciones causales entre las medidas, que se validarán a intervalos previamente establecidos y se definirán planes de contingencia</p>
<p>4.4. HABILITADORES Y CONTROLES PARA LA GESTIÓN DE ACTIVOS</p> <p>4.4.1. Estructura, autoridad y responsabilidades</p> <p>4.4.2. Subcontratación de las actividades de gestión de activos</p> <p>4.4.3. Entrenamiento, toma de conciencia y competencias</p>	<p>El MGM no propone ninguna actividad específica para cumplir con los requerimientos de esta sección de la PAS 55</p>
<p>4.4.4. Consulta y participación</p>	<p>Fase 8. Propone la utilización de los sistemas de soporte informático (ERP, EAM, softwares de fiabilidad, etc.), con el fin de administrar y divulgar toda la documentación e</p>

comunicación	información a ser generada por los diferentes activos en sus procesos de operación y mantenimiento. Los sistemas de información para la gestión de los activos son herramientas claves por su capacidad de dar soporte y facilitar la gestión, gracias a la transmisión y procesamiento de información en grandes velocidades y cantidades superando las propias fronteras de las empresas y fortaleciendo la convergencia entre sectores. La necesidad de una correcta implantación de los sistemas de soporte para la gestión de la información, es la base, para el desarrollo de programas para mejorar la fiabilidad, el mantenimiento y las operaciones
4.4.5. Sistema de documentación para la gestión de activos	
4.4.6. Gestión de la información	
4.4.7. Gestión de riesgos	Fase 2. Propone al inicio de un proceso de mejora, el desarrollo y la aplicación de modelos básicos de priorización de activos basados en el análisis del factor Riesgo (ejemplo: matriz cualitativa de riesgos y técnica AHP: Analytic Hierarchy Process, etc.)
4.4.7.1. Procesos de gestión de riesgos	Fase 3. Propone el uso de la metodología de Análisis Causa Raíz (RCA: Root Cause Analysis) para evaluar los eventos de fallos de mayor impacto, tomando como base para la definición de soluciones, el nivel de Riesgo provocado por los eventos de fallos a ser analizados
4.4.7.2. Metodología de gestión de riesgos	Fase 4. Propone el uso de la metodología Mantenimiento Centrado en Fiabilidad (RCM: Reliability Centered Maintenance), para optimizar los planes de mantenimiento y operación en función del nivel de Riesgo que generan los modos de fallos dentro del contexto operacional
4.4.7.3. Identificación y evaluación de riesgos	Fase 5. Propone la utilización de métodos de optimización a ser utilizados en la programación y asignación de recursos para mantenimiento y operaciones. Dentro de los métodos seleccionados se encuentran técnicas relacionados con procesos de análisis de riesgos tales como: teoría de colas, simulación de Monte Carlo y técnicas probabilísticas de punto de pedido de inventarios
4.4.7.4. Uso y gestión de la información de riesgos de activos	Fase 6. Propone un proceso integral de evaluación probabilística de los indicadores de: Fiabilidad, Mantenibilidad, Disponibilidad, Coste y Riesgo. Adicionalmente, en esta fase se explica un procedimiento que permite relacionar los indicadores fiabilidad y mantenibilidad, con decisiones de optimización en las áreas de mantenimiento y operación basadas en técnicas de análisis coste riesgo beneficio
4.4.8. Requerimientos legales y otros	Fase 1. Propone el uso del cuadro de mando integral (Balanced Scorecard - BSC) el cual tiene que ajustarse a todos los requerimientos legales del entorno operacional  Fases 2. Propone el uso de modelos de priorización los cuales deben ajustarse a los requerimientos legales exigidos por el entorno del activo evaluado y a su vez ayudarán al cumplimiento de estos requerimientos  Fases 3 y 4. Propone la aplicación de métodos de fiabilidad como el RCA y el RCM, los cuáles deben ajustarse a todos los requerimientos legales exigidos por el entorno del activo evaluado y a su vez ayudarán al cumplimiento de estos requerimientos
4.4.9. Gestión del cambio	Fase 8. Propone establecer un proceso de mejora continua el cual debe ser capaz de registrar y ajustarse a los constantes cambios relacionados con técnicas y tecnologías emergentes en áreas que se consideren de alto impacto como resultados de los estudios realizados en las 8 fases anteriores del modelo de gestión de mantenimiento propuesto
4.5. IMPLEMENTACIÓN	Fase 7. Propone un proceso de análisis de costes de ciclo de vida que permite optimizar la toma de decisiones asociadas a los procesos de diseño, selección, desarrollo y

<p>DE LOS PLANES DE GESTIÓN DE ACTIVOS</p> <p>4.5.1. Actividades de ciclo de vida</p> <p>4.5.2. Herramientas, instalaciones y equipo</p>	<p>sustitución de los activos que conforman un sistema de producción. El proceso de ciclo de vida comienza con la definición de las diferentes tareas de producción para el diseño preliminar. Luego se desarrollan actividades tales como: plan de producción, trazado de planta, selección de equipos, definición de procesos de manufactura y otras actividades similares. Posteriormente, se considera la logística previa a la fase de diseño. Esta fase envuelve el desarrollo del soporte necesario para el diseño y las diferentes etapas de producción, el soporte a los posibles usuarios, el plan de mantenimiento previsto para el uso del activo y el proceso de desincorporación del activo</p>
<p>4.6. EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO Y MEJORA</p> <p>4.6.1. Desempeño y monitorización de la condición</p> <p>4.6.2. Investigación de fallos, incidentes y no conformidades</p> <p>4.6.3. Evaluación de la conformidad</p> <p>4.6.4. Auditoria</p> <p>4.6.5. Acciones de mejora</p> <p>4.6.5.1. Acciones correctivas y preventivas</p> <p>4.6.5.2. Mejora continua</p>	<p>Fase 1. Propone el uso del cuadro de mando integral (Balanced Scorecard - BSC) para medir inicialmente, indicadores de desempeño económico de la organización y posteriormente, integrarlo con indicadores técnicos de operación y mantenimiento. Adicionalmente, en esta fase 1, se propone el uso de auditorías de control y mejora continua entre las cuales se encuentran: MES (Maintenance Effectiveness Survey), MCEM (Matriz Cualitativa de Excelente en Mantenimiento), etc.</p> <p>Fases 3 y 4. Propone la aplicación de métodos de fiabilidad como el RCA y el RCM que permiten evaluar los modos de fallos y determinar sus causas. Estos métodos ayudan a determinar los incidentes y no conformidades, permiten evaluar las consecuencias que pueden generar los fallos a la seguridad, el ambiente y a las operaciones y adicionalmente, estas técnicas proponen procedimientos que ayudan a definir acciones de mejora y control: correctivas, preventivas, de rediseño y por condición</p> <p>Fase 5. Propone la utilización de métodos de mejora continua a ser utilizados en la programación y asignación de recursos para mantenimiento y operaciones.</p> <p>Fase 6. Propone un proceso integral de análisis de indicadores de desempeño y mejora (evaluación probabilística de los indicadores de: Fiabilidad, Mantenibilidad, Disponibilidad, Coste y Riesgo</p> <p>Fase 7. Propone un proceso de análisis de costes de ciclo de vida que permite optimizar la toma de decisiones asociadas a los procesos de diseño, selección, desarrollo y sustitución de los activos que conforman un sistema de producción</p> <p>Fase 8. Propone establecer un proceso de mejora continua el cual debe ser capaz de revisar y evaluar de forma continua el desempeño técnico y económico de la organización</p>
<p>4.6.6. Registros</p>	<p>Fases 3 y 4. Propone la aplicación de métodos de fiabilidad como el RCA y el RCM que permiten registrar de forma ordenada la información relacionada con los modos de fallos y las consecuencias que pueden generar los fallos a la seguridad, el ambiente y a las operaciones. Adicionalmente, estas técnicas proponen procedimientos que ayudan a registrar la información de los planes de mantenimiento y de las acciones de mejora y control: correctivas, preventivas, de rediseño y por condición</p> <p>Fase 5. Propone procedimientos de registro de la información a partir de métodos de mejora continua a ser utilizados en la programación y asignación de recursos para mantenimiento y operaciones</p> <p>Fase 6. Propone un proceso integral de captura y registro de información para el desarrollo de indicadores de desempeño y mejora (evaluación probabilística de los indicadores de: Fiabilidad, Mantenibilidad, Disponibilidad, Coste y Riesgo</p>
<p>4.6.7. Revisión de la</p>	<p>Fase 1. Propone el uso del cuadro de mando integral (Balanced Scorecard - BSC) para</p>

gestión	<p>medir y revisar los indicadores de desempeño económico de la organización y posteriormente, integrarlo con los indicadores técnicos de operación y mantenimiento (indicadores técnicos que se desarrollan en la Fase 6). Adicionalmente, en esta fase 1, se propone el uso de auditorías de control y mejora continua entre las cuales se encuentran: MES (Maintenance Effectiveness Survey), MCEM (Matriz Cualitativa de Excelente en Mantenimiento), etc.</p> <p>Fase 8. Propone el establecer un proceso de mejora continua el cual debe ser capaz de revisar y evaluar de forma continua el desempeño técnico y económico de la organización</p>
---------	---

A continuación se muestra tabla resumen del cumplimiento de lo anteriormente presentado de forma tal que sea fácil identificar las fases que componen el modelo MMM asociadas a cada uno de los requerimientos globales exigidos por la propuesta de estándar PAS 55 – ISO 55000.

**Tabla 4. Cumplimiento de requerimientos de la PAS 55 y el Modelo MMM<sup>14</sup>**

REQUERIMIENTOS DE LA PROPUESTA DE ESTÁNDAR PAS 55 : 2008	FASES DEL MODELO DE GESTIÓN DE ACTIVOS PROPUESTO “MMM”
4.1. REQUERIMIENTOS GENERALES DE LA PAS 55	FASE 1 DEL MODELO MMM
4.2. POLÍTICA DE GESTIÓN DE ACTIVOS	FASE 1 DEL MODELO MMM
4.3. ESTRATEGIA DE GESTIÓN DE ACTIVOS, OBJETIVOS Y PLANES	FASE 1 DEL MODELO MMM
4.3.1. Estrategia de gestión de activos	FASE 1 DEL MODELO MMM
4.3.2. Objetivos de la gestión de activos	FASE 1 DEL MODELO MMM
4.3.3. Planes de gestión de activos	FASE 1 DEL MODELO MMM
4.3.4. Planificación de contingencias	FASE 1 DEL MODELO MMM
4.4. HABILITADORES Y CONTROLES PARA LA GESTIÓN DE ACTIVOS	MMM no propone actividades específicas para su cumplimiento
4.4.1. Estructura, autoridad y responsabilidades	MMM no propone actividades específicas para su cumplimiento
4.4.2. Subcontratación de las actividades de gestión de activos	MMM no propone actividades específicas para su cumplimiento
4.4.3. Entrenamiento, toma de conciencia y competencias	MMM no propone actividades específicas para

<sup>14</sup> Tomada del paper “La gestión de activos y PAS 55” y ajustada según libro Ingeniería de Mantenimiento y Fiabilidad Aplicada en la Gestión de Activos, Autor: Carlos Alberto Parra Márquez y Adolfo Crespo Márquez, Año 2012

REQUERIMIENTOS DE LA PROPUESTA DE ESTÁNDAR PAS 55 : 2008	FASES DEL MODELO DE GESTIÓN DE ACTIVOS PROPUESTO “MMM”
	su cumplimiento
4.4.4. Consulta, participación y comunicación	FASE 8 DEL MODELO MMM
4.4.5. Sistema de documentación para la gestión de activos	FASE 8 DEL MODELO MMM
4.4.6. Gestión de la información	FASE 8 DEL MODELO MMM
4.4.7. Gestión de riesgos	FASES 2, 3, 4, 5 y 6 DEL MODELO MMM
4.4.7.1. Procesos de gestión de riesgos	FASES 2, 3, 4, 5 y 6 DEL MODELO MMM
4.4.7.2. Metodología de gestión de riesgos	FASES 2, 3, 4, 5 y 6 DEL MODELO MMM
4.4.7.3. Identificación y evaluación de riesgos	FASES 2, 3, 4, 5 y 6 DEL MODELO MMM
4.4.7.4. Uso y gestión de la información de riesgos de los activos	FASES 2, 3, 4, 5 y 6 DEL MODELO MMM
4.4.8. Requerimientos legales y otros	FASES 1, 2, 3 y 4 DEL MODELO MMM
4.4.9. Gestión del cambio	FASE 8 DEL MODELO MMM
4.5. IMPLEMENTACIÓN DE LOS PLANES DE GESTIÓN DE ACTIVOS	FASE 7 DEL MODELO MMM
4.5.1. Actividades de ciclo de vida	FASE 7 DEL MODELO MMM
4.5.2. Herramientas, instalaciones y equipo	FASE 7 DEL MODELO MMM
4.6. EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO Y MEJORA	FASE 1, 3, 4, 5, 6, 7 y 8 DEL MODELO MMM
4.6.1. Desempeño y monitorización de la condición	FASE 1, 3, 4, 5, 6, 7 y 8 DEL MODELO MMM
4.6.2. Investigación de fallos, incidentes y no conformidades	FASE 1, 3, 4, 5, 6, 7 y 8 DEL MODELO MMM
4.6.3. Evaluación de la conformidad	FASE 1, 3, 4, 5, 6, 7 y 8 DEL MODELO MMM
4.6.4. Auditoria	FASE 1, 3, 4, 5, 6, 7 y 8 DEL MODELO MMM
4.6.5. Acciones de mejora	FASE 1, 3, 4, 5, 6, 7 y 8 DEL MODELO MMM
4.6.5.1. Acciones correctivas y preventivas	FASE 1, 3, 4, 5, 6, 7 y 8 DEL MODELO MMM
4.6.5.2. Mejora continua	FASE 1, 3, 4, 5, 6, 7 y 8 DEL MODELO MMM
4.6.6. Registros	FASE 3, 4, 5 y 6 DEL MODELO MMM
4.6.7. Revisión de la gestión	FASE 1 y 8 DEL MODELO MMM

## 4.2. PUNTOS DE NO CUMPLIMIENTO

A continuación en la Tabla 5, se presentan los puntos que no alcanzan a ser cubiertos por el Modelo de Gestión de Mantenimiento (MMM) y los estándares o documentos que pueden ayudar a dar cumplimiento con respecto de los habilitadores y controles solicitados por la propuesta de estándar PAS 55.

**Tabla 5. Puntos de no cumplimiento de requerimientos del Modelo MMM**

4.4. HABILITADORES Y CONTROLES PARA LA GESTIÓN DE ACTIVOS	
4.4.1. Estructura, autoridad y responsabilidades	ISO 9001:2008 <sup>15</sup> UNE-ENV 13269 <sup>16</sup>
4.4.2. Subcontratación de las actividades de gestión de activos	UNE-ENV 13269 UNE-EN <sup>17</sup>
4.4.3. Entrenamiento, toma de conciencia y competencias	PROYECTO: 20-102-2010 – SAA <sup>18</sup>

ISO 9001:2008: Propone un modelo para obtener un sistema de gestión de calidad.

UNE-ENV 13269: La presente guía sirve como modelo para la preparación de contratos de mantenimiento que finalmente son auditables y sirven como buena práctica para su organización.

---

<sup>15</sup> ISO 9001:2008: Requisitos para un sistema de gestión de calidad.

<sup>16</sup> UNE-ENV 13269: Norma Española Experimental - Guía para la preparación de contratos de mantenimiento.

<sup>17</sup> UNE-EN: Nueva normativa sobre mantenimiento industrial – Auditoría de contrato de mantenimiento.

<sup>18</sup> PROYECTO: 20-102-2010 – SAA: conformación del grupo de soporte de ingeniería de confiabilidad y gestión de activos como pilar de apoyo al modelo de gestión del mantenimiento (MMM) propuesto para la ACP (Autoridad del Canal de Panamá)

UNE-EN: Se apoya en la norma anterior y presenta un modelo de auditoría en la ejecución de contratos de mantenimiento.

PROYECTO: 20-102-2010 – SAA: Propuesta para la definición de competencias para el personal que apoya o soporta un modelo de gestión del mantenimiento como el MMM.

#### **4.3 IMPORTANCIA DE LOS PUNTOS DE INTEGRACIÓN PARA TGI S.A ESP**

El resultado del presente capítulo 4 dentro del cual se establecieron los puntos de integración entre ambos lineamientos, es importante, porque en este momento se logra justificar la inversión que ha realizado la gerencia dentro del objetivo estratégico PEC P1. Implementación de prácticas de clase mundial; y se proponen alternativas para dar cumplimiento en aquellas áreas donde las metodologías contenidas dentro del modelo MMM no logran tener efecto.

A continuación se proponen los procedimientos prácticos para lograr dar cumplimiento a cada una de las fases del Modelo de Gestión del Mantenimiento “MMM” y que a su vez evidencian el cumplimiento de la propuesta estándar de gestión de activos “PAS 55 – ISO 55000”.

## 5. PROCEDIMIENTOS PARA LOGRAR CUMPLIMIENTO

Los procedimientos definidos en este capítulo aportan al cumplimiento del objetivo específico No 2; dentro de este, se propone una forma específica para dar cumplimiento práctico a los requerimientos de la PAS 55 a través de las herramientas que son utilizadas dentro del modelo MMM. Estas herramientas no son las únicas que existen en el mercado ni son herramientas de tipo comercial; se trabaja teniendo en cuenta modelos genéricos.

### ➤ CRITERIOS DE SELECCIÓN DE LOS PROCEDIMIENTOS

Una vez evaluado y justificado cada punto donde se integra el modelo de gestión de activos PAS 55 – ISO 55000 y el modelo de gestión de mantenimiento MMM en el anterior capítulo; se procede a realizar los siguientes pasos:

- Evaluar las herramientas que propone la metodología MMM.
- Se listan las herramientas metodológicas como se menciona a continuación.
- Se define procedimiento de aplicación para cada una de ellas, teniendo en cuenta la realidad práctica dentro de la organización TGI S.A ESP.

A continuación se muestra resumen de las fases, herramientas evaluadas y su procedimiento:

Fase No 1 del modelo MMM	Herramienta de auditoría de mantenimiento tipo MES.	Procedimiento numeral 5.1
Fase No 1 del modelo MMM	Definición de indicadores de mantenimiento.	Procedimientos numeral 5.2 y 5.3

Fase No 2 del modelo MMM	Herramienta de jerarquización de activos físicos.	Procedimientos numeral 5.6
Fase No 3 del modelo MMM	Herramienta de análisis causa raíz.	Procedimientos numeral 5.8
Fase 4 del modelo MMM	Herramientas de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM)	Procedimientos numeral 5.7
Fase 5 del modelo MMM	Herramienta de análisis costo-riesgo-beneficio.	Procedimientos numeral 5.9
Fase 6 del modelo MMM	Herramienta de indicadores mantenibilidad, confiabilidad, disponibilidad (RAM)	Procedimientos numeral 5.4 y 5.5
Fase 7 del modelo MMM	Herramienta de análisis del costo del ciclo de vida.	Procedimientos numeral 5.10
Fase 8 del modelo MMM	Retroalimentación continua de procesos.	Procedimientos numeral 5.1

➤ **INFLUENCIA DE LOS PROCEDIMIENTOS DENTRO DE TGI S.A ESP**

La creación de los procedimientos como se menciona a continuación servirá para alcanzar dos objetivos fundamentales dentro de la organización:

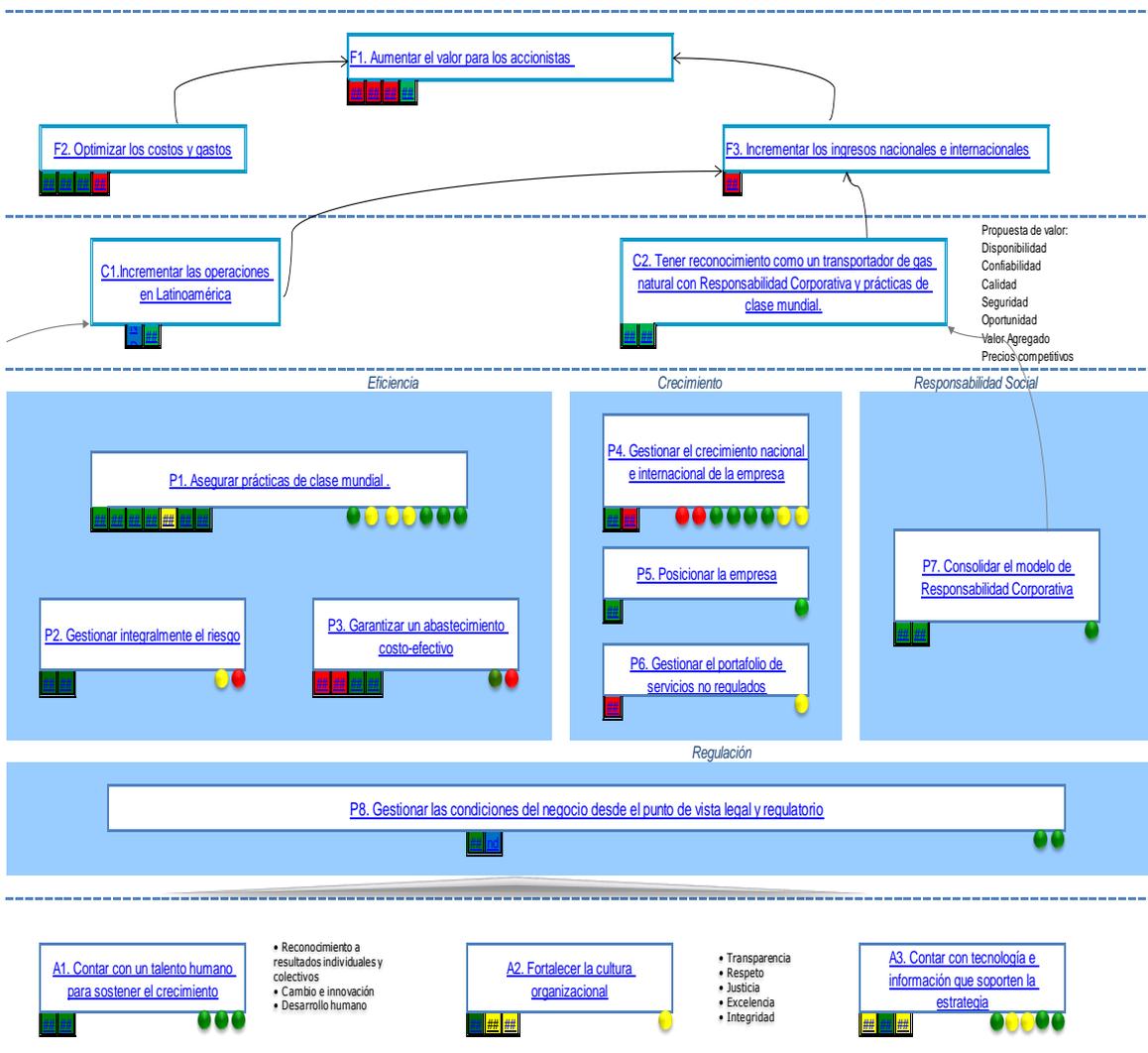
- Servirán de base para la creación del manual de gestión de activos dentro de la compañía, dentro del cual se estandarizarán todas las técnicas utilizadas cumpliendo con las buenas prácticas recomendadas a nivel mundial en cuanto al proceso de gestión de activos físicos de infraestructura.

- Aportará al objetivo estratégico corporativo (PEC) Numeral P1. “Aseguramiento de Practicas de Clase Mundial”. A continuación se muestra el mapa estratégico de la compañía TGI S.A ESP, donde se puede ubicar este objetivo gerencial dentro de los parámetros de Eficiencia.

**Figura 4. Mapa estratégico corporativo de TGI S.A ESP**

**MISIÓN:** Somos una empresa del Grupo Energía de Bogotá que genera valor a sus accionistas mediante la prestación del servicio de transporte de hidrocarburos nacional e internacional, con responsabilidad global, prácticas de clase mundial y un equipo humano innovador y eficiente.

**VISIÓN:** Ser en el año 2024 la primera empresa transportadora independiente de gas natural en América Latina, reconocida por su responsabilidad global y por sus prácticas de clase mundial.



- Al ser procedimientos cuya aplicación se enmarca en herramientas prácticas de mantenimiento; directamente contribuye al cumplimiento de los indicadores dentro del Balance Score Card corporativo, específicamente indicadores de disponibilidad de la infraestructura y continuidad de la prestación del servicio como se menciona a continuación.

**Figura 5. Metas Balance Score Card de TGI S.A ESP**



Rangos IND	
≥ 100%	
≥ 93% - <100%	
<93%	
No disponible	

<b>Perspectiva</b>	PROCESOS INTERNOS
<b>Objetivo P1</b>	ASEGURAR PRÁCTICAS DE CLASE MUNDIAL
<b>Descripción del Objetivo</b>	Implementar prácticas de clase mundial que garanticen una gestión eficiente y costo efectiva

No.	Indicador	Fórmula	Meta 2011	Real	Observaciones
13	<a href="#">Atención de solicitudes de nuevos puntos de salida en Gaseoductos Propios</a>	Tiempo Total Actividades Realizadas/ Tiempo Total Actividades Planeadas	100%	69.00%	Se obtuvo un 69% como resultado del indicador, alcanzando la meta propuesta. Para este periodo se logró mantener el rendimiento del indicador, la eficiencia en la atención de las solicitudes de conexión al SNT y el control sobre las actividades que intervienen en el proceso de construcción del Puntos de Entrada y/o Salida.  Aunque el indicador tuvo una disminución, ésta no es significativa y el indicador se sigue manteniendo dentro de intervalos de confiabilidad. Además, se debe a procesos que no son convencionales o que tienen consideraciones especiales.
15	<a href="#">Utilización de la capacidad de transporte</a>	$\frac{((\sum(VTG_i/CNT_i) * LNT_i) / \sum LNT_i) * 100}{100}$	51,00%	56.41%	El valor del indicador superó la meta establecida.  A pesar de su cumplimiento para todos los meses del trimestre, se observa un descenso en el mes de Septiembre ocasionado por nuevos problemas internos del CIB (complejo Industrial de Barrancabermeja). Durante el mes de Agosto se presentó generación térmica a gas debido a mantenimientos de plantas generadores de carbón en el interior del país.
16	<a href="#">Continuidad del Servicio</a>	$\frac{((\sum HD_i - \sum HS_i) / \sum HD_i) * 100}{100}$	98,50%	100.00%	El valor del indicador superó la meta establecida.  Se realizaron los siguientes mantenimientos: En julio conexión del nuevo cruce subfluvial del ramal de valledupar. En Agosto se realizó cambio del sistema de medición de los City Gate de Cumaral y Restrepo, intervención para expansión del City Gate de La Virginia, realineamiento del ramal de Jesus María y limpieza de raspadores en el gasoducto de La Sabana (tramo Cogua - Mosquera). En Septiembre no se presentaron suspensiones que afectaran la continuidad del servicio.
17	<a href="#">Disponibilidad de la Infraestructura</a>	$\frac{(\sum CDT_i * LNT_i / \sum CNT_i * LNT_i) * 100}{100}$	99,50%	100.00%	El valor del indicador superó la meta establecida.  Se realizaron los siguientes mantenimientos: En julio conexión del nuevo cruce subfluvial del ramal de valledupar. En Agosto se realizó cambio del sistema de medición de los City Gate de cumaral y restrepo, intervención para expansión del City Gate de La Virginia, realineamiento del ramal de Jesus María y limpieza de raspadores en el gasoducto de La Sabana (tramo Cogua - Mosquera). En Septiembre no se presentaron suspensiones que afectaran la disponibilidad de la infraestructura.

18	<a href="#">Índice de pérdidas</a>	$\frac{((II + \sum RG - IF - \sum EGE) / \sum RG) * 100}{}$	0,60%	0,59%	<p>El indicador se ubico en un 0,02% por debajo de la meta.</p> <p>Se continua con el plan de aseguramiento metrologico adicionalmente se implementó la metodología ajustada para contabilización de gas de venteo.</p> <p>En el cálculo del índice de pérdidas se genera una incertidumbre adicional al no contarse con medidores de gas combustible y gas de tea en todas las estaciones compresoras.</p>
19	<a href="#">Emisiones de CO2</a>	$ECO2 = \sum ECO2 \times \text{combustión} + \sum ECO2 \times \text{venteos}$	Línea Base - Delta	22,54%	<p>Se presentó una pérdida de 22,54 Toneladas de CO2/Millón de gas transportado y no se presentó ninguna situación anómala en los gasoductos.</p> <p>En el mes Septiembre se mantuvieron los rangos permanentes de perdida de CO2 y las emisiones de metano por fugas, además no se reporta emisiones por venteos, puesto que no se presentó ninguna situación anómala.</p>
20	<a href="#">Índice de Severidad</a>	(No. De días perdidos por accidente de trabajo o enfermedad profesional durante el último periodo / Horas Hombre trabajadas en el mismo periodo) * K	0%	0,00%	<p>Se cumplio la meta propuesta. A 30 de Septiembre de 2011, se han presentado 4 incidentes, de los cuales uno es vehicular, sin embargo, ningún incidente ha generado días incapacitantes, por lo que el indicador es 0. Se deben seguir realizando investigaciones, acciones preventivas y/o correctivas, y comenzar a trabajar sobre el comportamiento de los colaboradores frente a la seguridad industrial.</p>

## 5.1 AUDITORÍA ASOCIADA AL PROCESO DE MANTENIMIENTO

### Objeto:

Medir la gestión del mantenimiento utilizando criterios objetivos.

### Alcance:

El proceso de auditoría tiene como alcance medir, el desempeño de la gerencia en temas de mantenimiento, los sistemas de manejo de la información, el grupo de planeación y programación de mantenimiento, áreas de soporte de mantenimiento, áreas de ejecución del mantenimiento, clima laboral.

### Referencias:

**Fase 1:** Asociada al modelo de gestión del mantenimiento “MMM”. Ver Numeral 4.1.

**MCEM:** Matriz cualitativa de excelencia en mantenimiento. ABS – Reliability and Risk Group Training.

**MES<sup>19</sup>**: Encuesta de efectividad del mantenimiento. Instituto Marshall.<sup>20</sup>

**MWCS<sup>21</sup>**: Encuesta de mantenimiento de clase mundial. Propuesta por (Parra y Omaña)

### **Definiciones:**

**Auditoría:** Examen crítico y sistemático de un proceso o gestión.

### **Responsabilidades:**

**Gerencia de mantenimiento:** Tiene como función asignar recursos en tiempo y dinero para la realización del proceso de auditoría.

**Dirección de mantenimiento:** Asignar espacios de tiempo al personal administrativo y de ejecución del mantenimiento para participar en el proceso de auditoría.

**Área de gestión de activos:** Organización de la logística necesaria para este proceso.

**Auditor:** Encargado de desarrollar el proceso de auditoría al personal, debe ser preferiblemente un miembro ajeno a las áreas que se auditan.

---

<sup>19</sup> MES: Por sus siglas en inglés (Maintenance Effectiveness Survey).

<sup>20</sup> [http:// www.marshallinstitute.com](http://www.marshallinstitute.com)

<sup>21</sup> MWCS: Por sus siglas en inglés (Maintenance World Class Survey).

## **Desarrollo:**

- 1.** El proceso de auditoría de mantenimiento deberá ser realizado como mínimo 1 vez al año.
- 2.** El Área de Gestión de Activos deberá gestionar ante la Gerencia, la asignación de recursos de tiempo y dinero; así mismo deberá informar previamente a las direcciones auditadas sobre el desarrollo de esta actividad.
- 3.** Seleccionar el tipo de auditoría más adecuado según las necesidades de la compañía; se recomienda para procesos de seguimiento frecuente (ej. Trimestral) un método cualitativo (MCEM) o para auditorías mucho más detalladas métodos cualitativos (MES o el MWCS) que proporcionan un mejor ajuste estadístico.
- 4.** Como parte complementaria del proceso de formación del personal, se prefiere realizar previo al proceso de auditoría un proceso de capacitación en auditorías de mantenimiento por parte del personal de Gestión de Activos.
- 5.** Tomar como mínimo una muestra del 15% del personal involucrado en la gestión del mantenimiento y sus distintas dependencias para la realización de entrevistas personalizadas por parte del auditor.
- 6.** Según el tipo de auditoría seleccionado se deben realizar entrevistas que oscilan entre los 30 minutos y 1.5 hrs por persona.
- 7.** Es importante garantizarle al entrevistado un ambiente neutro y una total confidencialidad de las respuestas que allí se obtengan.

8. Una vez realizadas las entrevistas individuales, el proceso de consolidación de los datos tardaran por lo menos 1 semana en ser entregados al líder del área de Gestión de Activos.
9. El auditor realizará una presentación de los resultados a la dirección de mantenimiento y a la gerencia para su discusión y elaboración de planes de mejora y seguimiento.

**Registros:**

En el anexo A se presentan los formatos para auditoría de mantenimiento tipo MES necesarios para la ejecución del proceso de auditoría de mantenimiento.

## **5.2 DEFINICIÓN DE INDICADORES DE MANTENIMIENTO BÁSICOS**

**Objeto:**

Establecer la forma en la cual se medirá la gestión del mantenimiento y se presentarán los resultados de ese desempeño ante las direcciones y ante la gerencia.

**Alcance:**

Los indicadores de mantenimiento serán elaborados y presentados para medir el desempeño de la infraestructura física, mantenible y asociada al core del negocio.

**Referencias:**

**Fase 1:** Asociada al modelo de gestión del mantenimiento “MMM”. Ver Numeral 4.1.

**Balance Score Card – BSC:** Cuadro de mando integral propuesto por Kaplan y Norton, 1992.

**Indicadores Funcionales:** Como obtener indicadores funcionales para los KPIs propuesto por Crespo, 2007.

**Definiciones:**

**MTTF<sup>22</sup>:** Tiempo medio para la falla.

**MTTR<sup>23</sup>:** Tiempo medio de reparación.

**MTOCF<sup>24</sup>:** Tiempo medio fuera de control.

**FF:** Frecuencia de fallas.

**Disponibilidad:** Proporción de tiempo en el cual el equipo opera o se encuentra listo para operar en cualquier momento.

**Riesgo:** Probabilidad de que un evento de falla ocurra valorando sus potenciales consecuencias.

**Responsabilidades:**

**Área de Confiabilidad:** Asociada al Área de Gestión de Activos, es la encargada de establecer los indicadores de mantenimiento y confiabilidad, la forma de capturarlos y procesarlos y su respectivo análisis.

---

<sup>22</sup> MTTF: Por sus siglas en inglés (Mean Time to Failure).

<sup>23</sup> MTTR: Por sus siglas en inglés (Mean Time to Repair).

<sup>24</sup> MTOCF: Por sus siglas en inglés (Mean Time Out of Control).

**Dirección de Mantenimiento:** Encargada de suministrar todos los datos de forma verás, clara y a tiempo, al área de confiabilidad para su análisis.

**Desarrollo:**

1. Identifique dentro del Balance Score Card de la compañía el objetivo estratégico al cual se van a asociar los indicadores de desempeño del mantenimiento y confiabilidad de la infraestructura.
2. Especifique y vincule los indicadores según lo tipos de órdenes de mantenimiento básicas con las cuales debe contar un área de mantenimiento (preventivas, correctivas, inspección por condición, mantenimiento/sustitución por condición).
3. A continuación se presenta la formulación de los indicadores de mantenimiento:

Indicadores de confiabilidad (en su orden de izquierda a derecha asociados a Mantenimiento Correctivo, Mantenimiento Preventivo, Mantenimiento de inspección por Condición, Mantenimiento o sustitución por condición)

$$MTTF: \frac{TO_f}{\# \text{Eventos}} \quad MTTP: \frac{TO_p}{\# \text{Eventos}} \quad MTTIC: \frac{TO_{ic}}{\# \text{Eventos}} \quad MTTMC: \frac{TO_{mc}}{\# \text{Eventos}}$$

Frecuencia de fallos (en su orden de izquierda a derecha asociados a Mantenimiento Correctivo, Mantenimiento Preventivo, Mantenimiento de inspección por Condición, Mantenimiento o sustitución por condición)

$$Ff: \frac{1}{MTTF} \quad Fp: \frac{1}{MTTP} \quad Fic: \frac{1}{MTTIC} \quad Fmc: \frac{1}{MTTMC}$$

Indicadores de mantenibilidad (en su orden de izquierda a derecha asociados a Mantenimiento Correctivo, Mantenimiento Preventivo, Mantenimiento de inspección por Condición, Mantenimiento o sustitución por condición).

$$MTTR: \frac{TRf}{\# \text{Eventos}} \quad MTTMP: \frac{TMp}{\# \text{Eventos}} \quad MTTMic: \frac{Tic}{\# \text{Eventos}} \quad MTTmc: \frac{Tmc}{\# \text{Eventos}}$$

Indicadores de tiempos muertos (en su orden de izquierda a derecha asociados a Mantenimiento Correctivo, Mantenimiento Preventivo, Mantenimiento de inspección por Condición, Mantenimiento o sustitución por condición)

$$MTOCF: \frac{TM}{\# \text{Eventos}} \quad MTOCMP: \frac{TM}{\# \text{Eventos}} \quad MTOCMic: \frac{TM}{\# \text{Eventos}} \quad MTOCMC: \frac{TM}{\# \text{Eventos}}$$

Indicadores de disponibilidad (en su orden de izquierda a derecha asociados a Mantenimiento Correctivo, Mantenimiento Preventivo, Mantenimiento de inspección por Condición, Mantenimiento o sustitución por condición)

$$Af: \frac{MTTF+MTTR+MTOCF}{(MTTF)}$$

$$Amp: \frac{(MTTP+MTTMP+MTOCMP)}{(MTTP)} \quad Aic: \frac{(MTTIC+MTTMic+MTOCMic)}{(MTTIC)}$$

$$Amc: \frac{(MTTMC + MTTmc + MTOCMC)}{(MTTMC)}$$

4. Es fundamental saber que los indicadores de mantenimiento deberán ir asociados a modos de falla o ítems mantenibles puntuales los cuales deben a su vez ser definidos ya sea de forma genérica o de forma puntualizada (referencias específicas). Estos últimos se emplean generalmente en empresas con infraestructura estandarizada en marcas y/o de tamaño pequeño.

**Registros:**

Para conocer el método de registrar los indicadores de mantenimiento, ver el numeral 5.3 a continuación donde se explica la mejor forma de obtenerlos, almacenarlos y procesarlos para un análisis continuo.

**5.3 OBTENCIÓN AUTOMÁTICA DE INDICADORES DE MANTENIMIENTO BÁSICOS****Objeto:**

Evidenciar de forma práctica un método para establecer la adquisición automatizada indicadores de mantenimiento.

**Alcance:**

Este procedimiento tiene como alcance la automatización del sistema de gerencia de mantenimiento para la obtención automatizada de indicadores de campo que permitan tomar decisiones de tipo gerencial.

**Referencias:**

**Fase 1:** Asociada al modelo de gestión del mantenimiento “MMM”. Ver Numeral 4.1.

**Sistemas de Información para la Gestión de Activos:** HASTINGS, Nicholas. Physical asset Management, Pag 243; Springer-Verlag London Limited (2010).

**Definiciones:**

**CMMS<sup>25</sup>:** Sistema computarizado de gerencia de mantenimiento.

---

<sup>25</sup> CMMS: Pos sus siglas en inglés (Computerized Maintenance Management System)

## **Responsabilidades:**

**Área de Confiabilidad:** Asociada al Área de Gestión de Activos, es la encargada de establecer los indicadores de mantenimiento y confiabilidad, la forma de capturarlos y procesarlos y su respectivo análisis.

**Dirección de Mantenimiento:** Encargada de suministrar todos los datos de forma verás, clara y a tiempo, al área de confiabilidad para su análisis.

**Dirección de Tecnologías de la Información:** Encargada de suministrar el personal idóneo para la manipulación y programación del sistema CMMS.

## **Desarrollo:**

Se parte bajo la suposición de que la compañía cuenta con un sistema automatizado de gestión del mantenimiento que aún no ha sido optimizado como herramienta para adquisición de indicadores de gestión.

1. Es fundamental garantizar el apoyo total de la gerencia y el respaldo de las distintas áreas de mantenimiento involucradas.
2. Establezca claramente las necesidades y restricciones que se pueden presentar al momento de modificar el esquema o parametrización del sistema CMMS. Estas necesidades deben ser planteadas en mesas de trabajo coordinadas por el área de confiabilidad y a la cual deberán asistir representantes de las direcciones de mantenimiento y tecnologías de la información.
3. Asegure la disponibilidad del recurso humano que intervendrá en la modificación del sistema CMMS.

4. Elabore un documento formal donde se plasme el requerimiento claro y detallado, con todas las posibles restricciones previamente establecidas en las mesas de trabajo.
5. Establezca un protocolo de comunicación claro entre el ingeniero responsable del proyecto vinculado al área de confiabilidad y el personal de programación vinculado al área de tecnologías de la información. La experiencia indica que es recomendable contar con personal in-house o dentro de la compañía que posea cercanía con los especialistas en mantenimiento.
6. Defina un cronograma claro en tiempos, recursos y producto entregable.
7. Establezca un protocolo paralelo de pruebas (ej. Hojas de Excel), a través de la cual se puedan cotejar y auditar los resultados que arroje el desarrollo y parametrización de los indicadores dentro del sistema CMMS.
8. Una vez realizado el desarrollo es fundamental la realización de pruebas con personal de campo.
9. Defina el mejor método de adquisición de estos datos en campo, ya sea con formatos en Excel o sistemas móviles de comunicación; que permitan capturar la información requerida para ser ingresada dentro del CMMS. El mejor sistema dependerá de la estructura organizativa del personal de campo y dependerá de variables tales como las distancias que se manejen entre la base y el emplazamiento donde sea ejecutado el mantenimiento, recursos, entre otros.
10. Realice seguimiento continuo y ajustes dentro del sistema CMMS hasta lograr una alta confiabilidad en adquisición y reporte de datos.

**Registros:**

En el Anexo B se presenta formato de adquisición de datos en Excel, cuyo esquema puede ser programado dentro de cualquier dispositivo móvil de comunicación.

En el Anexo C se presenta ejemplo de formato de protocolo de pruebas para auditar los resultados que se obtengan del CMMS.

**5.4 INDICADORES DE MANTENIMIENTO, CONFIABILIDAD Y DISPONIBILIDAD GLOBALES****Objeto:**

El presente procedimiento evidencia la mejor forma de utilizar los indicadores puntuales obtenidos de los procedimientos 5.2 y 5.3 para generar indicadores a nivel macro de toda la infraestructura de la empresa que permitan posteriormente evaluar el costo del ciclo de vida de los activos y estadísticamente el potencial comportamiento de sus fallas entre otros.

**Alcance:**

Estos indicadores globales deben ser aplicados a la infraestructura física de mantenimiento.

**Referencias:**

**Fase 6:** Asociada al modelo de gestión del mantenimiento “MMM”. Ver Numeral 4.1.

**Ingeniería de Confiabilidad y Análisis Probabilístico de Riesgo:** YAÑEZ, GOMEZ DE LA VEGA, VALBUENA. Reliability and Risk Management C.A (2004), Pág 252.

## **Definiciones:**

**Indicadores RAM<sup>26</sup>:** Indicadores de confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad.

## **Responsabilidades:**

**Área de Confiabilidad:** Asociada al Área de Gestión de Activos, es la encargada de establecer los indicadores de mantenimiento y confiabilidad, la forma de capturarlos y procesarlos y su respectivo análisis.

## **Desarrollo:**

1. Consolide los procedimientos mencionados anteriormente en los numerales 5.2 y 5.3 para la definición de indicadores de mantenimiento y su método de adquisición.
2. Adquiera un software de confiabilidad mediante una evaluación técnica de todas sus características y limitaciones. Es fundamental tener en cuenta la cantidad de nodos que se desean simular vs los permitidos por el respectivo software.
3. Defina un cronograma de trabajo en la cual sea incluido el personal que más tenga conocimiento en la infraestructura a evaluar.
4. Realice visita a la infraestructura física que se desea evaluar, defina la función principal que realiza el sistema, defina si los equipos poseen algún tipo de función que permita su respaldo en caso de alguna falla.
5. Para cada uno de los equipos obtenga los indicadores de MTTF y MTTR previamente definidos en los numerales 5.2 y 5.3 Con estos indicadores se deberá alimentar el software.

---

<sup>26</sup> RAM: Por sus siglas en inglés (Reliability, Availability, Maintainability)

6. Indague a profundidad con el personal técnico y operativo sobre la función del sistema y las posibles consecuencias mecánicas y operativas en caso de que cada componente falle y como se encuentran dispuestos sus respaldos.
7. Simule los anteriores datos dentro del software adquirido el cual finalmente permitirá establecer el indicador de Disponibilidad y Confiabilidad general en un tiempo específico.
8. Identifique los nodos críticos que arroje el sistema dentro de su simulación RAM y evalúe técnica – económicamente la posibilidad de mejorar tecnologías o adicionar respaldos para mejorar el comportamiento del sistema.
9. Dependiendo de la complejidad del modelo simulado los datos que alimenten el sistema deberán por lo menos ser alimentados de forma trimestral, para obtener tendencias en el tiempo que sirvan para toma de decisiones gerenciales.

**Registros:**

En el Anexo D se presenta formato ejemplo para la presentación de resultados de indicadores sistémicos de confiabilidad.

## **5.5 INTERRELACIÓN DE INDICADORES DE MANTENIMIENTO CON INDICADORES FINANCIEROS PARA LA GESTIÓN DE ACTIVOS**

**Objeto:**

Evidenciar de forma práctica un método para correlacionar los indicadores de mantenimiento con los estados financieros de una compañía de tal forma que permita una adecuada toma de decisiones a nivel gerencial.

**Alcance:**

Decisiones a nivel gerencial relacionadas con el mantenimiento de la infraestructura física mecánica de la empresa.

**Referencias:**

**Fase 6:** Asociada al modelo de gestión del mantenimiento “MMM”. Ver Numeral 4.1.

**Balance Score Card – BSC:** Cuadro de mando integral propuesto por Kaplan y Norton, 1992.

**Indicadores Funcionales:** Como obtener indicadores funcionales para los KPIs propuesto por Crespo, 2007.

**Sistemas de Información para la Gestión de Activos:** HASTINGS, Nicholas. Physical asset Management, Pag 243; Springer-Verlag London Limited (2010).

**Definiciones:**

**Confiabilidad:** Se define como la probabilidad de que un equipo funcione correctamente.

**Disponibilidad:** Se define como la porción de tiempo en la cual un equipo se encuentra operando o listo para operar.

**Indicadores RAM<sup>27</sup>:** Indicadores de confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad.

---

<sup>27</sup> RAM: Pos sus siglas en inglés (Reliability, Availability, Maintainability)

## **Responsabilidades:**

**Área de Confiabilidad:** Asociada al Área de Gestión de Activos, es la encargada de establecer los indicadores de mantenimiento y confiabilidad, la forma de capturarlos y procesarlos y su respectivo análisis.

**Dirección de Mantenimiento:** Encargada de suministrar todos los datos de forma verás, clara y a tiempo, al área de confiabilidad para su análisis.

**Gerencia de Infraestructura:** Encargada de tomar decisiones y sustentarlas ante la presidencia o ante un nivel de mayor rango, mediante su evidencia a través de herramientas financieras y de mantenimiento.

## **Desarrollo:**

1. Consolide los procedimientos mencionados anteriormente en los numerales 5.2, 5.3, 5.5 para la definición de indicadores de mantenimiento, su método de adquisición y la generación de indicadores sistémicos RAM de mantenimiento, confiabilidad y disponibilidad.
2. Obtenga el valor de disponibilidad y confiabilidad en un tiempo determinado para el sistema a evaluar.
3. Obtenga los estados financieros de la compañía y organícelos de tal forma que sea posible tomar los datos correspondientes a las líneas que causan impacto directo asociado al tema de mantenimiento.
4. Para el Balance General serán importantes el valor total del activo, así como el desglose en activos corrientes de la línea "Inventario", en activos no corrientes "Propiedad Planta y Equipo", "Inversiones". También será importante el valor del

pasivo total y el patrimonio. Lo anterior es una sugerencia, sin embargo cualquier empresa puede adaptar este análisis según su realidad propia.

- 5.** Para el Estado de Resultados serán de gran importancia la línea de “Ingresos Operacionales”, “Costos de Operación y Mantenimiento”, “Gastos de Administración”. Lo anterior es una sugerencia, sin embargo cualquier empresa puede adaptar este análisis según su realidad propia.
- 6.** Halle una correlación entre el indicador de disponibilidad mecánica y los ingresos financieros de la compañía de tal forma que se pueda pronosticar la reducción del ingreso operacional por cada punto de disponibilidad que se pierda. En algunos casos esta correlación no es tan evidente, por lo tanto se recomienda obtener valores estadísticos de disponibilidad mecánica vs las variaciones del ingreso operacional, para encontrar una ecuación ajustada que los relacione estadísticamente.
- 7.** En caso de ser solicitada una reducción de presupuesto para mantenimiento es fundamental tener en cuenta que puede afectar la disponibilidad mecánica y por ende el ingreso operacional.
- 8.** Seleccione los emplazamientos menos críticos del área a evaluar, cuyo procedimiento se menciona en el numeral 5.6. para el establecimiento de su criticidad.
- 9.** Inspeccione las rutinas de mantenimiento asociadas a estos emplazamientos de baja criticidad y elimine del plan de mantenimiento aquellas con el menor riesgo económico asociado. Ver procedimiento del numeral 5.7 “Aplicación de Metodología de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad”.

10. Con la eliminación de rutinas de mantenimiento de bajo riesgo, asuma el nuevo MTTF asociado a la nueva tasa de fallas esperada.
11. Evalúe un incremento de repuestos en inventario para atender el potencial incremento en su probabilidad de fallos al no mantener y cuyo porcentaje asociado al coste de mantenerlo en bodega se verá incrementado.
12. Finalmente evalúe el impacto de reducir presupuesto en mantenimiento lo cual se verá reflejado en una disminución de la disponibilidad mecánica que a su vez impacta en menor ingreso operacional, así mismo un potencial incremento en costes de inventario.
13. Continúe disminuyendo rutinas de mantenimiento preventivo de mediano riesgo o de alto riesgo; posteriormente continúe con las rutinas para emplazamientos de media criticidad.

## **5.6 JERARQUIZACIÓN DE ACTIVOS FÍSICOS**

### **Objeto:**

Generar un método para jerarquizar la infraestructura física de mantenimiento según su nivel de riesgo asociado.

### **Alcance:**

Infraestructura física relacionada con el negocio principal de la compañía y a la cual se realizan actividades de mantenimiento.

### **Referencias:**

**Fase 2:** Asociada al modelo de gestión del mantenimiento “MMM”. Ver Numeral 4.1.

**Jerarquización de activos:** PARRA, Carlos, CRESPO, Adolfo. Ingeniería de Mantenimiento y Fiabilidad Aplicada en la Gestión de Activos, Capítulo 5, Pag 57. Editado por INGEMAN, España, (2012).

**Definiciones:**

**Jerarquizar:** Definir un nivel de importancia para un activo, mediante la asignación de variables específicas a cada uno de ellos.

**Responsabilidades:**

**Área de Confiabilidad:** Asociada al Área de Gestión de Activos, es la encargada de establecer la jerarquización de los activos de mantenimiento.

**Dirección de Mantenimiento:** Encargada de suministrar todos los datos de forma verás, clara y a tiempo, al área de confiabilidad para su análisis.

**Desarrollo:**

1. Establezca el equipo evaluador el cual debe consistir en un líder asociado al área de confiabilidad y el personal técnico experto en mantenimiento asociado a la dirección de mantenimiento.
2. Determine claramente el sitio o emplazamiento a evaluar.
3. Determine las variables que se desean evaluar y a través de las cuales se establecerá la jerarquización según riesgo. Se proponen como variables para jerarquización: 1) Frecuencia de fallos, 2) Seguridad-Higiene-Ambiente, 3) Tiempo de Respuesta, 4) Penalización por Lucro Cesante, 5) Imagen de la Empresa.

4. Determine las escalas de valoración para cada variable según las necesidades propias de la compañía.
5. Determine las escalas de valoración para la matriz de decisión según las necesidades propias de la empresa. Se propone una matriz 5 x 5.
6. Realice la mesa de trabajo y jerarquice los activos deseados.

**Registros:**

En el Anexo E se puede observar un ejemplo de jerarquización de activos.

## **5.7 APLICACIÓN METODOLOGÍA DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD**

**Objeto:**

Generar un método para aplicar la metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad sobre los activos.

**Alcance:**

Infraestructura física relacionada con el negocio principal de la compañía y a la cual se realizan actividades de mantenimiento.

**Referencias:**

**Fase 4:** Asociada al modelo de gestión del mantenimiento “MMM”. Ver Numeral 4.1.

**Mantenimiento Centrado en Confiabilidad:** PARRA, Carlos, CRESPO, Adolfo. Ingeniería de Mantenimiento y Fiabilidad Aplicada en la Gestión de Activos, Capítulo 7, Pag 115. Editado por INGEMAN, España, (2012).

## **Definiciones:**

**RCM:** Por sus siglas en inglés (Reliability Centered Maintenance), es una herramienta que permite analizar la forma en la cual funcionan los activos y sus potenciales modos de fallo, con la finalidad de determinar su mejor plan o estrategia de mantenimiento.

## **Responsabilidades:**

**Área de Confiabilidad:** Asociada al Área de Gestión de Activos, es la encargada de liderar el análisis RCM para establecer planes óptimos de mantenimiento.

**Dirección de Mantenimiento:** Encargada de suministrar todos los datos de forma verás, clara y a tiempo, al área de confiabilidad para su análisis.

## **Desarrollo:**

1. Establezca el equipo evaluador el cual debe consistir en un líder asociado al área de confiabilidad y el personal técnico experto en mantenimiento asociado a la dirección de mantenimiento.
2. Ejecute de forma estructurada el análisis RCM inicialmente para los activos jerarquizados como críticos, posteriormente los de mediana criticidad y por último los de baja criticidad. Para el proceso de jerarquización remítase al procedimiento 5.6.
3. Para el equipo sujeto de análisis defina sus modos de falla (ítems mantenibles) más relevantes.

4. Defina para cada uno de ellos como puede fallar y el efecto o consecuencia de esta falla.
5. Defina su tasa de fallos a través de documentación histórica, o a partir de la experiencia del personal de campo. Así mismo es importante referirse a la forma de adquisición de datos e indicadores referenciada en el procedimiento de los numerales 5.2 y 5.3
6. Defina para cada uno de los modos de falla, sus costes directos de reparación en caso de falla, costes asociados a impactos en seguridad-higiene-ambiente, costes por lucro cesante.
7. Establezca el riesgo económico asociado a cada uno de los modos de fallo y jerarquícelos de mayor a menor riesgo según el método de Pareto.
8. Establezca el costo actual de las actividades de mantenimiento y compárelo contra el riesgo económico.
9. Si el riesgo es mucho mayor que el costo de las actividades de mantenimiento actuales, la metodología permite invertir más dinero en planes o técnicas de mantenimiento preventivo o por condición. En caso que el riesgo sea mucho menor que las actividades de mantenimiento actuales, la metodología permite llevar el activo incluso a falla.
10. Defina y organice los planes de mantenimiento para cada uno de los equipos.

**Registros:**

En el Anexo F se puede observar un ejemplo de análisis de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM).

## 5.8 APLICACIÓN METODOLOGÍA DE ANÁLISIS CAUSA RAÍZ

### **Objeto:**

Generar un método para aplicar la metodología de análisis causa raíz (RCA) sobre los activos.

### **Alcance:**

Infraestructura física relacionada con el negocio principal de la compañía y a la cual se realizan actividades de mantenimiento.

### **Referencias:**

**Fase 3:** Asociada al modelo de gestión del mantenimiento “MMM”. Ver Numeral 4.1.

**Análisis Causa Raíz:** PARRA, Carlos, CRESPO, Adolfo. Ingeniería de Mantenimiento y Fiabilidad Aplicada en la Gestión de Activos, Capítulo 6, Pag 79. Editado por INGEMAN, España, (2012).

### **Definiciones:**

**RCA:** Por sus siglas en inglés (Root Cause Análisis), es una herramienta que permite investigar de manera estructurada, la forma en la cual se presentó una determinada falla en un equipo, sus consecuencias y la causa fundamental que la ocasionó.

### **Responsabilidades:**

**Área de Confiabilidad:** Asociada al Área de Gestión de Activos, es la encargada de liderar el análisis causa raíz (RCA) de alguna falla o evento, para establecer

compromisos entre las partes involucradas con la finalidad de que no vuelva a ocurrir.

**Dirección de Mantenimiento:** Encargada de suministrar todos los datos de forma verás, clara y a tiempo, al área de confiabilidad para su análisis.

**Desarrollo:**

1. Establezca el equipo evaluador el cual debe consistir en un líder asociado al área de confiabilidad y el personal técnico experto en mantenimiento asociado a la dirección de mantenimiento.
2. Jerarquice tomando como referencia los procedimientos contenidos en los numerales 5.6 y 5.7, de tal forma que mensualmente se puedan establecer las fallas más críticas a ser analizadas.
3. Defina y contextualice el problema dando respuesta a preguntas tales como Que sucedió? Cuando sucedió? Donde sucedió? Con que frecuencia ocurre? Que impacto económico ocasionó?; todas ellas asociadas al evento de falla.
4. Establezca para la falla más crítica, los potenciales modos de falla (ítems mantenibles) que pudiesen estar ocasionando el respectivo evento.
5. Defina dentro del grupo de trabajo, los ítems más probables a ser evaluados y defina las hipótesis de sus causas respectivas. Las causas pueden ser físicas, humanas o latentes.
6. Valide o descarte cada una de estas hipótesis con evidencias.

7. Genere un plan de acción y seguimiento dentro del cual se encuentre un responsable y sus fechas de cumplimiento de acciones tendientes a eliminar o mitigar las causas validadas.
8. Se recomienda que esta actividad sea realizada de forma periódica por un grupo de trabajo con dedicación exclusiva, dado que es una herramienta con resultados relativamente rápidos para mostrar gestión ante la gerencia.

**Registros:**

En el Anexo G se puede observar un ejemplo de análisis causa raíz (RCA).

## **5.9 APLICACIÓN METODOLOGÍA DE ANÁLISIS COSTO - RIESGO – BENEFICIO**

**Objeto:**

Definir los intervalos óptimos de inspección y mantenimiento para equipos.

**Alcance:**

Infraestructura física relacionada con el negocio principal de la compañía y a la cual se realizan actividades de mantenimiento.

**Referencias:**

**Fase 5:** Asociada al modelo de gestión del mantenimiento “MMM”. Ver Numeral 4.1.

**Análisis Costo-Riesgo-Beneficio:** PARRA, Carlos, CRESPO, Adolfo. Ingeniería de Mantenimiento y Fiabilidad Aplicada en la Gestión de Activos, Capítulo 8, Pag 153. Editado por INGEMAN, España, (2012).

## **Definiciones:**

**Weibull:** Distribución probabilística a través de la cual se puede predecir la confiabilidad y disponibilidad de un equipo.

## **Responsabilidades:**

**Área de Confiabilidad:** Asociada al Área de Gestión de Activos, es la encargada de liderar la optimización de planes de mantenimiento.

**Dirección de Mantenimiento:** Encargada de suministrar todos los datos de forma verás, clara y a tiempo; así mismo es la encargada de ejecutar y retroalimentar dichos planes al área de confiabilidad para su análisis.

## **Desarrollo:**

1. Identifique mediante la técnica RCM mencionada en el numeral 5.7 el equipo crítico a evaluar mediante la técnica de análisis costo-riesgo-beneficio.
2. Halle mediante datos históricos el coste promedio por falla de este equipo (CNP) y el coste promedio por mantenimiento preventivo (CP).
3. Obtenga un registro de tiempos operativos hasta la falla (TO) y mediante la función probabilística de weibull y sus parámetros Beta y Alfa halle para cada período de tiempo su probabilidad de que no falle ( $R(t)$ ) y su inverso  $1-(R(t)) = F(t)$  el cual es la probabilidad de que falle.
4. Grafique las siguientes fórmulas y encuentre el intervalo óptimo de mantenimiento.

$$\text{Riesgo Total} : CNP * \frac{F t}{t} + CP * \frac{R(t)}{t}$$

$$\text{Riesgo por eventos imprevistos} : CNP * \frac{F t}{t}$$

$$\text{Riesgo por eventos planificados} : CP * \frac{R t}{t}$$

5. En la gráfica el eje de la ordenada corresponde a valor en costes /año y el eje de la abscisa corresponde al tiempo (horas, meses, años..) a través del cual se obtiene el intervalo óptimo de mantenimiento.
6. Informe y retroalimente a las direcciones de mantenimiento sobre los nuevos ajustes a ser realizados sobre los planes de mantenimiento. Posteriormente a través del área de planeación introduzca estos cambios dentro del sistema CMMS.

**Registros:**

En el Anexo G diapositiva 23 se puede observar un ejemplo de análisis costo-riesgo-beneficio.

## 5.10 APLICACIÓN METODOLOGÍA DE ANÁLISIS COSTO DEL CICLO DE VIDA

**Objeto:**

Establecer el método para analizar el costo del ciclo de vida de los activos teniendo en cuenta el comportamiento futuro de sus fallas.

**Alcance:**

Infraestructura física relacionada con el negocio principal de la compañía y a la cual se realizan actividades de mantenimiento.

## **Referencias:**

**Fase 7:** Asociada al modelo de gestión del mantenimiento “MMM”. Ver Numeral 4.1.

**Análisis Costo del Ciclo de Vida:** PARRA, Carlos, CRESPO, Adolfo. Ingeniería de Mantenimiento y Fiabilidad Aplicada en la Gestión de Activos, Capítulo 10, Pag 203. Editado por INGEMAN, España, (2012).

## **Definiciones:**

**Ciclo de Vida:** Es un proceso sistemático para evaluar alternativas de adquisición para diferentes tipos de activo, la cual considera de forma simultanea los aspectos económicos y la confiabilidad con el fin de cuantificar su impacto económico y poder seleccionar el de mayor retorno.

## **Responsabilidades:**

**Área de Confiabilidad:** Asociada al Área de Gestión de Activos, es la encargada de liderar procesos de análisis del costo de ciclo de vida.

## **Desarrollo:**

1. Seleccione el grupo de trabajo que acompañara el proceso de análisis del costo del ciclo de vida (LCC). Este grupo debe estar conformado preferiblemente por un representante técnico, un representante del área financiera y el líder del área de confiabilidad.
2. Dado que para el área del mantenimiento un (LCC) generalmente está asociado a la selección de tecnologías; previamente es fundamental la adquisición de

costes de adquisición de los equipos, costes de mantenimientos rutinarios, costes de mantenimientos mayores, modos de falla más importantes, expectativas de vida para estos modos de falla y los costes de reparación en caso de falla.

3. Identifique el tipo de activo que se quiere evaluar mediante el método de análisis del costo del ciclo de vida con variables de confiabilidad propuestas por Williams – Scott.
4. Identifique los costos básicos evaluados en valor presente y a una tasa de descuento dada por la organización, como se presenta en la siguiente ecuación:

$$ACCV(P) = CI + CO + CMP + CTPF + CMM - VR$$

Dónde<sup>28</sup>:

**CI** = Coste inicial de adquisición e instalación, normalmente dado en valor Presente.

**CO** = Costes operacionales, normalmente dado como valor Anualizado.

**CMP** = Costes de Mantenimiento Preventivo, normalmente dado como valor Anualizado.

**CTPF** = Costes Totales por Fiabilidad, normalmente dado como valor Anualizado. En este caso se asume tasa de fallos constante calculada a partir del tiempo

---

<sup>28</sup> Tomado del curso de INGECON “Técnicas de análisis de costo de ciclo de vida e ingeniería de confiabilidad y riesgo aplicadas en el proceso de optimización del mantenimiento”.

promedio operativo hasta la falla - Distribución de Weibull, por lo cual el impacto en costes es igual en todos los años.

**CMM** = Costes de Mantenimiento Mayor –Especiales, normalmente dado como valor Futuro.

**VR** = Valor de reposición, normalmente dado como valor Futuro.

5. Una vez ingresados todos los costes asociados a un tiempo de evaluación del proyecto, evalúe la diferencia en valor presente neto de las alternativas y seleccione la más conveniente para la compañía (Menor VPN).

#### **Registros:**

En el Anexo G diapositivas 24, 25 y 26 se puede observar un ejemplo de análisis costo del ciclo de vida.

### **5.11 CONCLUSIÓN APORTE DE LOS PROCEDIMIENTOS DENTRO DEL DOCUMENTO**

Los procedimientos relacionados en los numerales anteriores son la base fundamental mediante la cual la organización TGI S.A ESP, llevará a cabo la elaboración del manual de Gestión de Activos de la compañía, cuya aplicación práctica permitirá como se menciona a continuación, obtener resultados concretos especialmente desde lo económico ante la gerencia.

El procedimiento 5.5 en la cual se interrelacionan los indicadores de mantenimiento con los indicadores financieros, servirán de guía para cualquier organización que desee sustentar decisiones que desde el área de ejecución impacten los estados financieros de la compañía.

## **6. APLICACIÓN PRÁCTICA ORGANIZACIÓN TGI**

### **6.1. GENERALIDADES DEL PROCESO DE IMPLEMENTACIÓN**

A continuación se presenta un ejemplo de aplicación práctica de la integración de los dos modelos antes mencionados para dar cumplimiento al objetivo específico No 3. Actualmente la Transportadora de Gas Internacional ha logrado abarcar 4 fases, proceso que ha llevado alrededor de 2 años en consolidación y el cual ha contado con la participación de la gerencia, personal administrativo y personal técnico-operativo involucrados en el proceso de transporte y compresión de gas.

### **6.2. CUMPLIMIENTO PRIMERA FASE DEL MODELO MMM**

El objetivo para desarrollar esta fase se basa principalmente en el compromiso de la empresa con el aseguramiento de prácticas de clase mundial cuya medición debe realizarse a través de un cuadro de mando integral.

Actualmente uno de los objetivos estratégicos corporativos incluidos dentro del cuadro de mando integral se denomina “Aseguramiento de Prácticas de Clase Mundial” cuyo proyecto específico asociado al mantenimiento se denomina “Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) en la infraestructura propia de TGI”.

El anterior compromiso mencionado y liderado por la gerencia de infraestructura de la compañía, da cuenta de la gran importancia que se le debe otorgar a un proyecto de esta envergadura; así mismo el estar incluido dentro del cuadro de mando integral, permite contar con recursos económicos y recursos humanos las cuales se traducen en objetivos a corto, mediano y largo plazo tendientes a consolidar este proceso.

Así mismo se aplica el proceso de auditoría de mantenimiento semi cuantitativa (MES) dentro de los cuales se obtienen un nivel de mantenimiento de nivel medio.

El proceso de implantación de la técnica de auditoría (MES) propone en términos generales, desarrollar las siguientes actividades:

- Realizar un conjunto de encuestas y entrevistas a nivel del personal de mantenimiento y operaciones pertenecientes a TGI S.A ESP.
- Verificar en sitio la información recopilada de las entrevistas y las encuestas realizadas. A continuación se describen los detalles generales de la auditoría propuesta.

#### **Tipo de auditoría**

- Cuestionario de evaluación de 60 preguntas repartidas en 5 áreas del mantenimiento, las respuestas a cada pregunta se limitan a cinco posibles opciones.

#### **Áreas de mantenimiento propuestas a ser evaluadas**

- Recursos Gerenciales.
- Gerencia de la información (Software de gestión del mantenimiento).
- Equipos y técnicas de mantenimiento preventivo.
- Planificación y ejecución.
- Soporte, Calidad y Motivación.

## **Proceso de aplicación**

A nivel de personal de gerencia, supervisión, operaciones y mantenimiento (se recomienda aplicar el cuestionario a 6 participantes, como mínimo); para este caso dentro de TGI S.A ESP se evaluaron mediante encuestas a 30 personas.

## **Ponderación de las áreas de mantenimiento a diagnosticar**

Las personas seleccionadas evalúan las 12 preguntas desarrolladas para cada área (total: 5 áreas / 60 preguntas) en función de una escala del 1 al 5. Para la calificación se puntúa, de acuerdo con la siguiente escala: 1 = no hay, 2 = deficiente, 3 = regular, 4 = bueno y 5 = excelente). Cada área a ser evaluada se considera con el mismo nivel de importancia. Las posibles puntuaciones máximas y mínimas a obtener son:

- Puntuación máxima: por área: 60 unidades, por las 5 áreas: 300 unidades.
- Puntuación mínima: por área: 12 unidades, por las 5 áreas: 60 unidades.
- Las puntuaciones totales se suman y promedian entre el número de personas encuestadas. Finalmente, se estima la posición del mantenimiento en función de los siguientes rangos:
  - o 261 – 300: Categoría “Clase Mundial” / nivel de excelencia en mantenimiento
  - o 201 – 260: Categoría “Muy buena” / nivel de buenas prácticas en mantenimiento
  - o 141 – 200: Categoría “Por arriba del nivel promedio” / nivel aceptable en mantenimiento
  - o 61 – 140: Categoría “Por debajo del promedio” / nivel no muy bueno del mantenimiento con oportunidades para mejorar
  - o Menos de 60: Categoría “Muy por debajo del promedio” / nivel muy malo mantenimiento con muchas oportunidades para mejorar

**Tabla 6. Resultados auditoría de mantenimiento semi cuantitativa (MES)**

<b>Resultados por áreas</b>	<b>Valor máximo esperado por área 60 puntos</b>	<b>Desvest.</b>
<b>Recursos Gerenciales</b>	<b>29.71</b>	<b>3.75</b>
<b>Gerencia de la Información (SAP PM)</b>	<b>25.59</b>	<b>3.97</b>
<b>Equipos y técnicas de mant. Preventivo</b>	<b>28.65</b>	<b>2.85</b>
<b>Planificación y Ejecución</b>	<b>29.06</b>	<b>2.59</b>
<b>Soporte, Calidad y Motivación</b>	<b>28.06</b>	<b>3.61</b>
<b>Totales</b>	<b>141.06</b>	

Esta primera fase da cumplimiento a los requerimientos 4.1, 4.2, 4.3, 4.3.1, 4.3.2, 4.3.3, 4.3.4, 4.4.8, 4.6, 4.6.1, 4.6.2, 4.6.3, 4.6.4, 4.6.5, 4.6.5.1, 4.6.5.2, 4.6.7; de la propuesta de estándar PAS 55 versión 2008. Ver Numeral 4.1.

### **6.3. CUMPLIMIENTO SEGUNDA FASE DEL MODELO MMM**

Una vez definido el compromiso por parte de la gerencia, se realiza una jerarquización de la infraestructura de transporte y compresión de gas en 6 distritos y 12 estaciones de compresión.

La siguiente matriz de criticidad fue generada mediante grupos de trabajo interdisciplinarios asociados al mantenimiento de la infraestructura en la cual participó un total de 10 personas.

Es importante resaltar que no existe un formato único de matriz para jerarquización de activos físicos, cada empresa es libre de determinar su nivel de aceptabilidad del riesgo; en el caso de TGI S.A ESP se definieron mediante

técnicas una evaluación cualitativa del riesgo las siguientes variables fundamentales:

### **Frecuencia de fallas**

- 1.- Excelente: menos de 1 en 10 años / 1 en 20 años
- 2.- Bueno: entre 1 evento en 5 años y 1 evento en 9 años / 1 en 10 años
- 3.- Promedio: entre 1 evento en 4 años y 1 evento al año / 1 en 5 años
- 4.- Pobre: entre 2 y 3 eventos al año / Hasta 1 evento al año
- 5.- Muy pobre: más de 3 eventos al año / Más de 1 al año

### **Seguridad - Higiene -Ambiente (SHA)**

- 5.- Evento catastrófico: muerte y/o Alto impacto ambiental) / Cercanía a población Menor de 5 metros
- 4.- Evento genera: lesión incapacitante y/o afectación sensible al ambiente / Cercanía a población entre 5 y 20 metros
- 3.- Evento genera: daños menores a la integridad física y/o afectación al ambiente controlable / Cercanía a la población entre 20 y 50 m
- 2.- Evento genera: alarma potencial en seguridad y/o incidente ambiental sin repercusión sobre la normativa legal vigente /entre 50 y 100m
- 1.- No genera ningún impacto sobre la seguridad y el ambiente / cercanía a la población mayor de 100 m.

### **Tiempo de Respuesta**

- 5.- Más de 8 horas
- 4.- Entre 6 y 8 horas
- 3.- Entre 3 y 6 horas
- 2.- Entre 1 y 3 horas
- 1.- Menos de 1 hora

**Penalización en función del volumen transportado (kpc/hr)**

- 5.- Mayor a 150 kpc/hr
- 4.- Mayor de 20 hasta 150 kpc/hr
- 3.- Mayor de 3 hasta 20 kpc/hrs
- 2.- Mayor de 0.2 hasta 3 kpc/hr
- 1.- Menos de 0.2 kpc/hr

**Imagen de la empresa**

- 5.- Deficiente
- 3.- Regular
- 1.- Buena

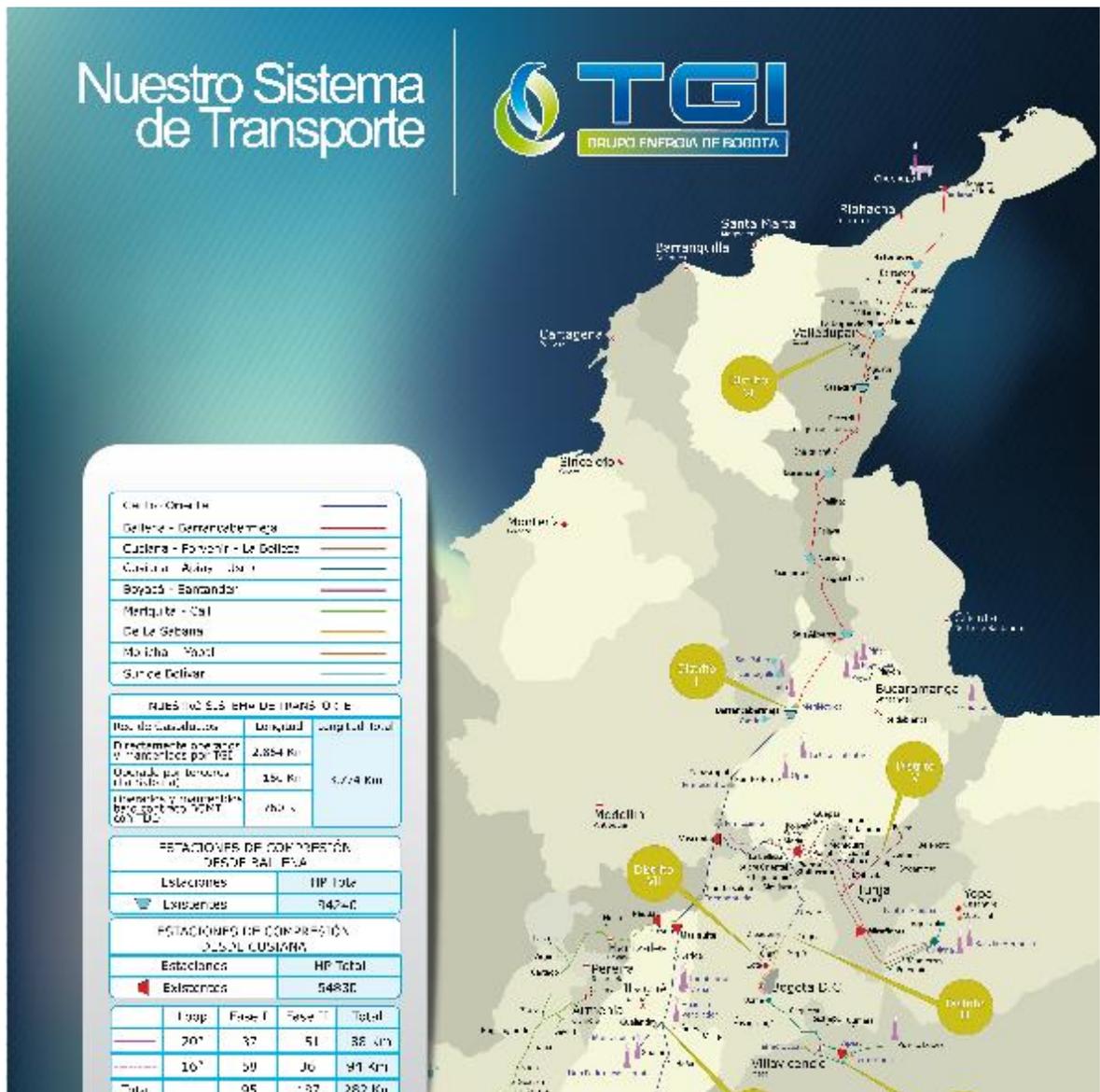
**Figura 6. Matriz de criticidad para jerarquización de activos**

<b>FRECUENCIA</b>	5	M	M	A	MA	MA
	4	M	M	A	A	MA
	3	B	M	M	A	MA
	2	B	B	M	A	MA
	1	B	B	M	A	MA
		1	2	3	4	5
		<b>B = Baja Criticidad</b> <b>M = Media Criticidad</b> <b>A = Alta Criticidad</b> <b>MA = Muy alta Criticidad</b>				
		<b>CONSECUENCIAS</b>				

Como herramienta para la jerarquización de los diversos emplazamientos que componen la infraestructura, se utilizó formato en Excel cuya programación contiene la matriz de criticidad (Ver Figura 2) con la finalidad de establecer la valoración de todos y cada uno de los sitios que componen la infraestructura de la compañía.

Se determinan los sitios o ubicaciones geográficas donde se encuentra instalado el activo físico de TGI S.A ESP, el cual consta de 180 puntos de entrega repartidos en 7 departamentos del país; así mismo 119 sitios como rectificadores, centros operacionales, estaciones de medición y estaciones de compresión. A continuación se muestra mapa general de la infraestructura propia de la compañía.

### Infraestructura de TGI S.A ESP



Como resultado de un total de 299 emplazamientos evaluados, 8 arrojaron ser de muy alta criticidad, 43 alta criticidad, 99 media criticidad, 149 baja criticidad.

Una vez se ha establecido la priorización de los activos, se definió una estrategia clara de mantenimiento a aplicar a cada categoría de activo; a partir de este momento esta estrategia se ajustará con el paso del tiempo y deberá ser revaluada de forma cíclica en un período de tiempo definido por el grupo de trabajo. Los emplazamientos catalogados como de muy alta y alta criticidad, se convirtieron en los primeros en ser analizados y algunas de sus tareas de mantenimiento preventivo serán de obligatorio cumplimiento dentro del plan detallado de trabajo mensual, apoyados obviamente en una herramienta de gerencia del mantenimiento en este caso el SAP PM.

Esta segunda fase da cumplimiento a los requerimientos 4.4.7, 4.4.7.1, 4.4.7.2, 4.4.7.3, 4.4.7.4, 4.4.8; de la propuesta de estándar PAS 55 versión 2008. Ver Numeral 4.1.

#### **6.4. CUMPLIMIENTO TERCERA FASE DEL MODELO MMM**

Esta etapa comprende todo el análisis de falla respectivo no solo a eventos ocurridos sino a eventos con gran potencial de falla, estos últimos se evidencian con mayor fuerza cuando se habla de la integridad del sistema de tuberías, en la cual cualquier acción de mejora y prevención presenta una mejor relación costo-beneficio que llevar a falla la infraestructura de transporte de gas especialmente relacionado con el lucro cesante y potenciales multas.

A la fecha se han conducido un total de 6 análisis de causa raíz que representan un potencial ahorro en prevención del riesgo de \$105.000.000 COP. Así mismo TGI S.A ESP ha desarrollado dentro de su sistema de gerencia del mantenimiento SAP PM una herramienta que aplica la metodología de los 5 porqués dentro del

aviso de mantenimiento (Ver Figura 5), garantizando que toda falla tenga su respectivo análisis por parte del personal técnico que reporta los eventos y a su vez sirviendo como punto de partida para una investigación más detallada de los modos de falla con alto riesgo económico.

**Figura 7. Desarrollo metodología de los 5 porque dentro del aviso de mantenimiento en SAP PM.**

The screenshot shows the SAP PM interface for creating a maintenance order. The title is 'Crear aviso-MT: Mto. Correctivo'. The 'Aviso' field contains '%0000000001 A1' and 'Falla Regulador Fisher'. The 'Status' is 'MEAB'. Below the main form, there are tabs for 'Objeto Técnico', 'Sistema-Modo de Falla', 'Actividades', 'Causa Probable', and 'Causas integridad'. The 'Causa Probable' tab is active, showing a list of five reasons under the heading 'Los porque':

Id	Descripción
01:	El regulador pudo fallar por un mal montaje
02:	El mal montaje puede ser ocasionado por el uso de una herramienta inadecuada
03:	El uso de herramienta inadecuada se debe a que no se cuenta con toda la herramienta necesaria
04:	Se han solicitado en multiples ocasiones la herramienta necesaria para este mantenimiento
05:	No se han comprado por su excesivo precio

Cabe destacar que la actividad de análisis, investigación y seguimiento de acciones sobre los modos de falla críticos, debe llevarse a cabo de forma constante, con dedicación exclusiva de un grupo de trabajo y sus resultados deben ser reportados con una frecuencia fija definida por la gerencia del mantenimiento.

En una organización con un número de activos considerables, es fundamental no caer en el error de pretender que los análisis de causa raíz sean responsabilidad de los supervisores de mantenimiento; si bien estos últimos deben ser partícipes activos, el manejo, investigación, seguimiento y cierre de recomendaciones debe ser conducida exclusivamente por un personal idóneo en la aplicación de esta metodología.

Esta tercera fase da cumplimiento a los requerimientos 4.4.7, 4.4.7.1, 4.4.7.2, 4.4.7.3, 4.4.7.4, 4.4.8, 4.6, 4.6.1, 4.6.2, 4.6.3, 4.6.4, 4.6.5, 4.6.5.1, 4.6.5.2, 4.6.6; de la propuesta de estándar PAS 55 versión 2008. Ver Numeral 4.1.

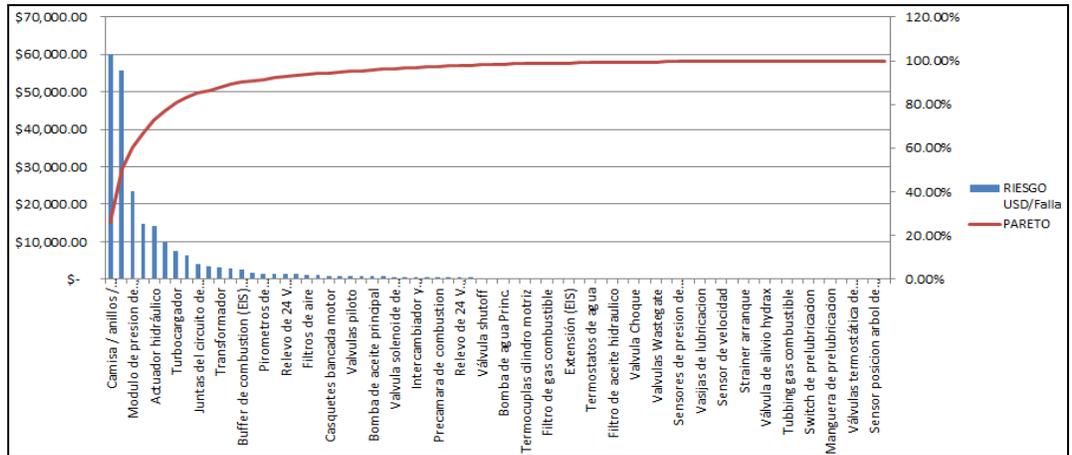
## **6.5. CUMPLIMIENTO CUARTA FASE DEL MODELO MMM**

La presente fase comprende la definición de un plan de mantenimiento preventivo adecuado mediante técnicas de confiabilidad, en este caso TGI utilizó la metodología del mantenimiento centrado en confiabilidad (Reliability Centered Maintenance - RCM).

Para este análisis es fundamental la definición de grupos de trabajo interdisciplinarios preferiblemente con conocimientos previos sobre la aplicación de la metodología utilizada; así mismo es fundamental el apoyo del área de planeación para lograr obtener el tiempo necesario en carga de trabajo horas hombre requerido para la evaluación de cada uno de los modos de falla que componen el sistema.

Durante el desarrollo de la metodología RCM es normal que se presenten inconvenientes o contratiempos al no contar con la información organizada de la forma como lo requiere la

**Figura 8. Clasificación riesgo de modos de falla motor CAT 3612 por la metodología Pareto.**



Metodología; por ejemplo al no tener integrado el módulo de materiales SAP MM con el módulo de mantenimiento SAP PM fue necesario cuantificar de forma manual los costos directos asociados al mantenimiento de cada uno de los modos de falla; de igual forma al no contar con una base de datos de falla organizada por modos de falla, se establecieron frecuencias de falla según la experiencia de cada uno de los técnicos de mantenimiento como una primera aproximación a la metodología.

Se observa en la Figura 6, una segunda jerarquización de criticidad asociado a modos de falla a través de la metodología de Pareto. Esta jerarquización le permitió a la compañía conocer cuáles son los elementos que más impactan la función general del emplazamiento o equipos de compresión de gas, los cuales representan el 80% del riesgo económico asociado y cuyas rutinas de ejecución del mantenimiento deberían ser de obligatorio cumplimiento dentro del plan detallado de trabajo. Cabe destacar que las rutinas de mantenimiento asociadas a modos de falla con el 20% del riesgo total, pueden eventualmente ser reprogramadas sin ningún inconveniente.

Con miras a facilitar el proceso de evaluación y análisis, se desarrolló una herramienta en Excel que permitió realizar una comparación directa entre el riesgo económico actual de mantenimiento vs los costos de mantenimiento propuestos por la metodología con unas nuevas frecuencias de ejecución.

Del anterior análisis se logra establecer una comparación económica estimada de los beneficios de la implementación de una metodología de optimización del mantenimiento RCM contra el mantenimiento realizado con base en actividades establecidas por el fabricante. La estimación inicial arroja por ejemplo para motores Caterpillar 3612 durante su ciclo de vida entre mantenimientos mayores, ahorros del orden de los \$49.000 USD/unidad; tan solo con un incremento de 1000 hrs en frecuencias de mantenimiento preventivo y reajuste de actividades a ejecutar durante las rutinas. Este ahorro se verá reflejado en una redistribución de personal para ejecución de otras actividades y en una menor compra de repuestos.

Un modelo de mantenimiento solamente puede considerarse óptimo cuando existe una evidencia tangible y medible de los resultados que arrojen las decisiones tomadas; por tal motivo, hubo la necesidad de establecer una serie de indicadores los cuales se presentan a continuación y son aprovechados para monitorear el desarrollo de la gestión del mantenimiento, estos indicadores se pueden dividir en indicadores de corte técnico e indicadores de corte gerencial según las necesidades y la utilidad que cada una de las dependencias presenten.

### **Indicadores desarrollados para TGI a nivel técnico**

**MTTF:** (Mean Time to Failure)  
(Tiempo Medio Para la Falla)

**FF:** (Failure Frequency)  
(Frecuencia de Falla)

- MTTR:** (Mean Time to Repair)  
(Tiempo Medio de Reparación)
- MTOCF:** (Mean Time Out of Control for Failure)  
(Tiempo Medio Fuera de Control para Falla)

Los indicadores considerados de nivel o de corte técnico serán de utilidad para el personal directamente involucrado en el mantenimiento como por ejemplo técnicos y supervisores.

### **Indicadores a nivel gerencial**

- AF:** (Availability)  
(Disponibilidad Asociada a Fallas)
- RF:** (Risk of Failure)  
(Riesgo Asociado a Fallas: \$/mes, \$/año, etc.)

Los indicadores considerados de nivel o de corte gerencial serán de utilidad para el personal directivo de mantenimiento como por ejemplo la dirección de mantenimiento y la gerencia de mantenimiento.

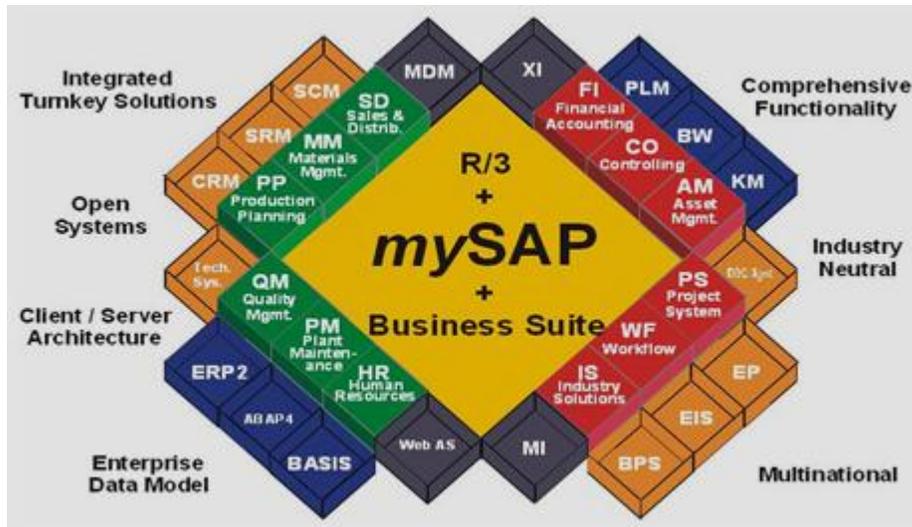
Para su automatización se tomó la decisión de integrarlos directamente con la herramienta de gerencia del mantenimiento, por lo tanto fueron programados mediante un desarrollo en el módulo SAP-PM; estos indicadores son transversales para el monitoreo de órdenes de trabajo de mantenimiento correctivo, preventivo, inspección por condición y reparación/sustitución por condición, adoptadas por la compañía.

Esta cuarta fase da cumplimiento a los requerimientos 4.4.7, 4.4.7.1, 4.4.7.2, 4.4.7.3, 4.4.7.4, 4.4.8, 4.6, 4.6.1, 4.6.2, 4.6.3, 4.6.4, 4.6.5, 4.6.5.1, 4.6.5.2, 4.6.6; de la propuesta de estándar PAS 55 versión 2008. Ver Numeral 4.1.

## 6.6. USO DE HERRAMIENTAS AUTOMATIZADAS PARA LA GERENCIA DEL MANTENIMIENTO

TGI S.A ESP utiliza como herramienta automática de gestión el software SAP, el cual posee varios módulos o aplicativos que abarcan desde el área de recursos humanos, pasando por el módulo financiero, hasta el módulo de mantenimiento el cual es el de nuestro interés denominado PM.

Figura 9. Estructura modular del sistema de gerencia del mantenimiento SAP.



El proceso de desarrollo de indicadores dentro de una herramienta de gestión como el SAP PM siempre debe ir plenamente respaldada por la gerencia, ya que afecta directamente todos los procesos de ejecución del mantenimiento y presentación de resultados por parte del personal técnico, una especie de cambio cultural de mantenimiento.

**Figura 10. Reporte de indicadores desarrollados dentro de la plataforma SAP PM.**

Centro emplazamiento	Grupo Modo de falla	Texto Grupo Modo de falla	Código Modo de falla	Texto Código Modo de falla	Tiempo med. para Mtto. Correctivo (Horas)
CE03	PM0001	Sistema de Filtracion	001	Elemento filtrante	2.654,40
CE03	PM0001	Sistema de Filtracion	002	Sistemas de drenajes	8.352,00
CE03	PM0001	Sistema de Filtracion	003	Otros especificque	3.720,00
CE03	PM0003	Sistema de Medicion	002	Elemento secundario	8.136,00
CE03	PM0004	Sistema de Energia de Respaldo	005	Ups	7.848,00
CE03	PM0004	Sistema de Energia de Respaldo	006	Banco de baterias	4.019,00
CE03	PM0004	Sistema de Energia de Respaldo	008	Otros especificque	3.720,00
CE03	PM0010	Sistema de Tuberias	004	Tuberia cruce subfluvial	1.606,24

Num. Eventos	Proyección Frec. Mtto. Correctivo (Mensu)	Tiempo medio de Mtto. Correctivo (Horas)	Tiempo medio fuera control (Horas)	Disponi. asoc. Mtto. Correctivo (%)
3	0,28	41,40	32,20	97,30
1	0,09	44,00	30,00	99,12
1	0,20	38,00	36,00	98,05
1	0,09	18,00	8,00	99,68
2	0,09	44,00	30,00	99,07
2	0,19	40,30	33,30	98,20
1	0,20	38,00	36,00	98,05
5	0,46	18,00	8,00	98,41

Disponi. asoc. Mtto. Correctivo (%)	Riesgo económico	Incidente integridad	Desviación integridad	Riesgo Lucro Cesante (USD)
97,30	0,00	0,00	0,00	0,00
99,12	0,00	0,00	0,00	0,00
98,05	0,00	0,00	0,00	0,00
99,68	0,00	0,00	0,00	100,00
99,07	0,00	0,00	0,00	0,00
98,20	0,00	0,00	0,00	0,00
98,05	0,00	0,00	0,00	0,00
98,41	0,00	60,00	40,00	500,00

Durante el desarrollo o programación dentro del sistema, fue fundamental un proceso de comunicación claro con los programadores; antes del comienzo de estas actividades es necesario generar una serie de requerimientos con alto contenido visual y lo más específico que se pueda.

Dentro de lo posible la contratación de un desarrollador ABAP de cabecera o freelancer haría el proceso un poco más rápido; desafortunadamente varias de las empresas que prestan este servicio lo hacen utilizando herramientas de comunicación vía electrónica que impidió en este caso, una fluidez de la comunicación con el personal de mantenimiento sin contar con un arduo proceso administrativo que en últimas generó retrasos en tiempo de ejecución según cronograma.

Así mismo TGI como solicitante del servicio generó un protocolo de pruebas en Excel con diversos tiempos y modos de falla que evidencian los resultados numéricos de los indicadores los cuales posteriormente fueron cotejados con el desarrollo en SAP PM con la finalidad de verificar su exactitud.

Finalmente se obtiene como resultado una modificación del aviso de mantenimiento cuyos parámetros para el ingreso de datos arrojan los indicadores antes mencionados (Ver Figura 7). Actualmente la empresa se encuentra a la espera de una recolección de datos significativa para realizar los análisis de confiabilidad para los cuales fue desarrollada esta herramienta.

## **6.7. RESULTADOS PRACTICOS OBTENIDOS DENTRO DE TGI S.A ESP**

Consolidando las metodologías más relevantes en cuanto a ahorros obtenidos dentro de la organización TGI S.A ESP y teniendo como estructura los procedimientos mencionados en el capítulo anterior; se obtiene lo siguiente:

- Según aplicación del método de auditoría tipo MES, TGI S:A ESP se encuentra en un nivel intermedio, obteniendo su valoración mas baja en la aplicación de técnicas de planeación.
- Con base en lo anterior se propone realizar valoración mediante la herramienta de jerarquización correspondiente a la fase 2 del modelo MMM, cuyo resultado arroja que de un total de 299 emplazamientos evaluados, 8 arrojaron ser de muy alta criticidad, 43 alta criticidad, 99 media criticidad, 149 baja criticidad.
- De los 8 emplazamientos de alta criticidad y aplicando los requerimientos de la metodología RCM correspondientes a la fase 4 del modelo MMM, se realizaron cálculos estimados de costo de mantenimiento y riesgo por cada actividad obteniendo los siguientes resultados:

Dirección de gasoductos:

Riesgo: \$11.540.524 USD/Año

Ahorro: \$636.949 USD/Año

La implementación de la metodología RCM representa un ahorro estimado del 14% en comparación con el mantenimiento tradicional.

Dirección de compresoras:

Riesgo: \$226.577 USD/Año

Ahorro: \$585.645 USD/Año

La implementación de la metodología RCM representa un ahorro estimado del 6% en comparación con el mantenimiento tradicional.

Los anteriores valores muestran un resultado obtenido como parte de un trabajo extenso realizado en un lapso de 2 años y cuyo detalle no hace parte del presente trabajo de aplicación; sin embargo es importante resaltar que la aplicación continua y organizada de los procedimientos y herramientas metodológicas contribuyen al final en una ventaja competitiva para la compañía.

Los anteriores datos fueron obtenidos realizando de costeo manual por actividades de mantenimiento, dado que el sistema de gerenciamiento SAP PM aún no se encuentra integrado con el módulo SAP MM (Módulo para costeo de mantenimiento). Estos datos estimados servirán de base para correlacionar los resultados una vez sea revaluado el efecto de su implementación.

## **6.8. PROYECCIONES FUTURAS Y POTENCIALES AREAS DE MEJORA**

Como parte de un ciclo de mejora continua y perfeccionamiento del proceso de mantenimiento basado en herramientas de confiabilidad, es indispensable para la compañía en el mediano plazo, integrar la catalogación de sus materiales y costos dentro de la orden de mantenimiento. Lo anterior permitirá conocer de forma 100% real el impacto a nivel financiero que conllevan las decisiones adoptadas por el área de gestión de activos dentro del modelo de gestión de mantenimiento MMM.

Se deberá mejorar la dinámica de análisis cíclico de las fallas mediante la metodología RCA teniendo en cuenta su valoración de riesgo económico asociado.

De igual forma, una vez se consolide el proceso de adquisición de indicadores y aprovechando la herramienta de gestión del mantenimiento SAP PM; TGI será capaz de obtener datos de mantenimiento reales como el MTTF y el MTTR asociados a modos de falla por lo tanto permitirá en el mediano plazo, dar cumplimiento a la fase 5 del modelo MMM, mediante el análisis probabilístico de confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad (RAM).

El anterior análisis servirá como soporte para la planificación y optimización de nuevas inversiones con enfoque en la confiabilidad del sistema de transporte de gas y permitiría justificar más objetivamente ante el ente regulador o cualquier otra entidad, los proyectos de inversión dirigidos a mejorar la confiabilidad del sistema de transporte de gas.

## 7. CONCLUSIONES Y OBSERVACIONES

- Se da cumplimiento al objetivo específico No 1, mediante la identificación dentro de la propuesta del estándar británico “PAS 55” de los requerimientos que se pueden cumplir a través del modelo de gestión del mantenimiento “MMM”; lo anterior contenido dentro del capítulo No 4.
- Se da cumplimiento al objetivo específico No 2, mediante el desarrollo de los procedimientos específicos para el cumplimiento de cada uno de los requerimientos de la propuesta del estándar británico “PAS 55” que son cubiertos por el modelo de gestión del mantenimiento “MMM”; lo anterior contenido dentro del capítulo No 5.
- Se da cumplimiento al objetivo específico No 3, mediante la evidencia a través del procedimiento guía elaborado de una aplicación práctica de la integración de la propuesta de estándar de gestión de activos y la metodología de mantenimiento en el negocio de transporte de gas; lo anterior contenido dentro del capítulo No 6.
- El presente trabajo contribuyó a consolidar el objetivo estratégico corporativo (PEC) P1. Implementación de prácticas de clase mundial; y ayudó a evidenciar que efectivamente las metodologías que actualmente se emplean, son complementarias y no trabajan aisladamente; así mismo contribuyen a mejorar los indicadores contenidos dentro del Balance Score Card como lo son la disponibilidad y continuidad comercial.
- Dado lo anterior será posible justificar recursos ante la gerencia para la consolidación de una mentalidad empresarial para la gestión de activos, y que

el mantenimiento como metodología aporta en gran medida en esta gestión a la infraestructura.

- Los requerimientos sugeridos por la propuesta de estándar PAS 55 de gestión de activos y el análisis de la confiabilidad operacional y el riesgo ambos estructurados dentro del modelo de gestión del mantenimiento MMM, son factores claves para mejorar las estrategias y las políticas dentro de la gerencia de infraestructura de TGI y en general dentro de cualquier compañía que adopte estos lineamientos.
- El potencial ahorro definido una vez se ha culminado de estructurar el nuevo programa de mantenimiento bajo la estrategia de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad correspondiente a la fase 4 del modelo MMM para los gasoductos propios de TGI y en las estaciones de compresión, requiere de seguimiento y análisis posteriores; por cuanto las nuevas frecuencias son susceptibles de modificar.
- El proceso de integración entre los diversos grupos: operaciones, ingeniería, seguridad, ambiente, proyectos, mantenimiento, etc., es un aspecto decisivo dentro de la optimización de la confiabilidad operacional. Las áreas de operaciones y mantenimiento deben utilizar las mejores prácticas de confiabilidad y riesgo y a su vez explotar la integración de estas metodologías dentro de los sistemas de gestión informática tales como SAP PM.
- Se debe tener en cuenta, que los procesos de implantación y consolidación de las técnicas de Ingeniería de Confiabilidad dentro de una organización basados en las buenas prácticas sugeridas por la propuesta de estándar PAS 55, no son procesos de corto plazo, las mismas deben ser visualizadas como un proyecto de largo alcance y con visión de futuro.

## BIBLIOGRAFIA

CRESPO, Adolfo, MOREU DE LEO'N, J.F, GÓMEZ, C. PARRA, Carlos and LÓPEZ, Monica. The maintenance management framework. A practical view to maintenance management. Journal of Quality in Maintenance Engineering Vol. 15 No. 2,pp. 167-178, (2009).

CRESPO, Adolfo. The maintenance management framework. Models and methods for complex systems maintenance. London: Springer Verlag (2006).

HASTINGS, Nicholas. Physical asset Management. Springer-Verlag London Limited (2010).

LÓPEZ, Mónica, PARRA, Carlos y CRESPO, Adolfo. Paper "La gestión de activos y PAS 55", Universidad de Sevilla, España, (2011).

PARRA, Carlos, CRESPO, Adolfo. Ingeniería de Mantenimiento y Fiabilidad Aplicada en la Gestión de Activos, Capítulos 1 y 2. Editado por INGEMAN, España, (2012).

PAS 55-1:2008. "Asset management. Specification for the optimized management of physical assets". BSI: United Kingdom, (2008).

PAS 55-2:2008. "Asset management. Guidelines for application of PAS 55-1". BSI: United Kingdom, (2008).

PINTELON, L.M. & Gelders, L.F. "Maintenance management decision making". European Journal of Operational Research; 58(3):301-317 (1992).

REYES-PICKNELL, J. "An introduction to PAS 55 – Optimal Management of Physical Assets". Works Management en <http://www.worksmanagement.co.uk/> (2007).

YAÑEZ, GOMEZ DE LA VEGA, VALBUENA. "Ingeniería de Confiabilidad y Análisis Probabilístico de Riesgo". Reliability and Risk Management C.A (2004).

# **ANEXOS**