

**MODELO DE ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO DEL BLOQUE CAÑO SUR  
ESTE DE LA SUPERINTENDENCIA DE OPERACIONES CAÑO SUR –  
ECOPETROL S.A.**

**ANDRES FELIPE MAHECHA RINCON  
MILTON FERNANDO RODRIGUEZ ORTIZ**

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

**2014.**

**MODELO DE ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO DEL BLOQUE CAÑO SUR  
ESTE DE LA SUPERINTENDENCIA DE OPERACIONES CAÑO SUR –  
ECOPETROL S.A.**

**ANDRES FELIPE MAHECHA RINCON  
MILTON FERNANDO RODRIGUEZ ORTIZ**

**Monografía de Grado presentada como requisito para optar el título de  
ESPECIALISTA EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO**

**Director  
JAVIER GARCIA.  
Ingeniero Electronico**

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

**2014.**

## CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION .....	15
1. MARCO CONCEPTUAL.....	19
1.1 ANTECEDENTES Y DESCRIPCIÓN DE LA PROBLEMÁTICA ACTUAL.	19
1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DEL CAMPO MAGO .....	23
1.2.1 Generalidades del proceso .....	23
1.2.2 Proceso de extracción en clusters.....	25
1.2.3 Proceso de recolección y tratamiento/separación primaria del fluido en clusters.....	29
1.2.4 Proceso de recolección en Facilidad Mito-1, tratamiento/separación en especificaciones y despacho del crudo para ventas .....	32
2. MARCO TEÓRICO.....	42
2.1 MANTENIMIENTO CORRECTIVO .....	42
2.2 MANTENIMIENTO PREVENTIVO .....	44
2.3 MANTENIMIENTO PREDICTIVO .....	45
2.4 MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM) .....	46
2.5 INSPECCION BASADA EN RIESGO (RBI) .....	47
2.6 TPM (TOTAL PRODUCTIVE MAINTENANCE). .....	49
2.6.1 Mejoras Enfocadas.....	49
2.6.2 Mantenimiento Autónomo. ....	50
2.6.3 Mantenimiento Planeado.....	51

2.6.4	Capacitaciones.....	52
2.6.5	Control inicial.....	52
2.6.6	Mejoras de Calidad. ....	53
2.6.7	TPM en los departamentos de apoyo.....	54
2.6.8	Seguridad, Higiene y Medio Ambiente. ....	54
2.7	ANÁLISIS DE CRITICIDAD.....	54
2.8	GESTION INTEGRAL POR PROCESOS (GENOMA).....	56
3.	PROPUESTA. ....	61
3.1	ALCANCE DE LA PROPUESTA.....	61
3.2	OBJETIVOS DE LA PROPUESTA.....	65
3.2.1	Objetivo general.....	65
3.2.2	Objetivos específicos: .....	65
3.3	ESTRUCTURA DE LA PROPUESTA .....	65
3.3.1	Definir las políticas y metas de la gestión de activos en el campo Mago ..	67
3.3.2	Definir los indicadores de la estrategia de mantenimiento .....	69
3.3.3	Definir la lista de activos propios presentes en el campo Mago.....	70
3.3.4	Definir el procedimiento de codificación o etiquetado de los activos e ingreso al CMMS .....	71
3.3.5	Determinar la criticidad de los activos.....	73
3.3.6	Establecer y ajustar los planes de mantenimiento .....	74
3.3.7	Establecer el modelo de mantenimiento rutinario .....	79
3.3.8	Establecer listado de repuestos críticos.....	85
3.3.9	Definir planes de capacitación para el recurso humano.....	89
3.3.10	Definir los recursos requeridos para la ejecución del plan .....	91
3.4	BENEFICIOS DE LA ESTRATEGIA.....	96

3.4.1	Ahorro energético.....	97
3.4.2	Beneficio Operativo.....	98
3.4.3	Beneficios al personal.....	98
3.4.4	Beneficios económicos.....	99
4.	CONCLUSIONES.....	100
	BIBLIOGRAFIA.....	103
	ANEXOS.....	106

## LISTA DE TABLAS.

	Pág.
Tabla 1. Ficha técnica separación. ....	35
Tabla 2. Instrumentación. ....	35
Tabla 3. Matriz RAM. ....	56
Tabla 4. Comparación de metodologías .....	77

## LISTA DE FIGURAS.

	Pág.
Figura 1. Distribución de campos del Bloque Caño Sur.....	15
Figura 2. Bloque Comercial Caño Sur Este .....	16
Figura 3. Bloque Comercial Caño Sur Este, Campo Mago.....	16
Figura 4. Ficha técnica Bloque Caño Sur .....	20
Figura 5. Facilidad Mito-1 (Campo Mago).....	23
Figura 6. Ubicación Facilidad Mito-1 y clústers actuales de extracción de crudo (Campo Mago) .....	24
Figura 7. Sistema de levantamiento artificial mediante bombeo electrosumergible BES.....	26
Figura 8. Sistema de levantamiento artificial mediante bombeo Cavidades Progresivas (BCP) .....	29
Figura 9. Set de pruebas típico (clúster Fauno-1).....	30
Figura 10. PI&D Set de pruebas típico (clúster Fauno-1) .....	31
Figura 11. Cabeza de Pozo Mito-1 .....	34
Figura 12. Sistema de almacenamiento de crudo y agua .....	37
Figura 13. Sistema de descargue de crudos externos.....	37
Figura 14. Sistema de cargue de crudo .....	39
Figura 15. Identificación de sistemas, equipos o componentes críticos para ASP	55
Figura 16. Estructura de Gestión Integral por Procesos (GENOMA) en Ecopetrol S.A. ....	58
Figura 17. Categorización de Mantenimiento. ....	59
Figura 18. Mapa de procesos – Gestión de activos industriales.....	60
Figura 19. Gestión de activos industriales – Proceso habilitador de procesos misionales de Ecopetrol S.A. ....	64
Figura 20. Alcance de la gestión de activos – Grupo de ítems de estrategia y planeación .....	66

Figura 21. Procesos de planeación e implementación – definición de plan de mto. corto plazo .....	68
Figura 22. Entradas y salidas al proceso Nivel 4 de “estructurar planes de mantenimiento de corto y mediano plazo” .....	69
Figura 23. Ejemplo de jerarquía de Equipos .....	72
Figura 24. Sistema de numeración recomendado .....	73
Figura 25. Proceso nivel 2 de Optimización del desempeño de los activos.....	75
Figura 26. Estructura de los planes y programas de mantenimiento en Ecopetrol S.A. ....	79
Figura 27. Proceso nivel 3 Mantenimiento Rutinario.....	80
Figura 28. Paquete de Trabajo para una adecuada planeación .....	83
Figura 29. Habilitadores de la organización y las personas .....	89

## LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Cronograma de implementación .....	106

## RESUMEN

### **TITULO:**

MODELO DE ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO DEL BLOQUE CAÑO SUR ESTE DE LA SUPERINTENDENCIA DE OPERACIONES CAÑO SUR – ECOPETROL S.A.\*

### **AUTORES:**

Mahecha Rincón Andrés Felipe y Rodríguez Ortiz Milton Fernando.\*\*

### **PALABRAS CLAVES:**

GENOMA, MANTENIMIENTO, INSPECCION BASADA EN RIESGO (RBI), MANTENIMIENTO BASADO EN CONFIABILIDAD (RCM).

### **DESCRIPCIÓN:**

El campo Mago del Bloque productor Caño Sur Este de Ecopetrol S.A. está ubicado en el municipio de Puerto Gaitán en el Meta. Este campo, productor de crudo pesado, obtuvo su comercialidad en Octubre del año 2013, y a partir de ese momento fue entregado a la Superintendencia de Operaciones Caño Sur, grupo encargado de administrar y gestionar los activos industriales y de producción, apoyado en los departamento de producción y mantenimiento.

Al ser un campo nuevo, que en la actualidad opera con contratos de pruebas de pozos y que se encuentra en la transición de la transferencia de activos a Ecopetrol S.A., se hace necesario desarrollar un modelo de estrategia que permita la adecuada gestión de los activos garantizando su disponibilidad y confiabilidad.

Es por eso que el presente documento pretende convertirse en una hoja de ruta que indique los mínimos aspectos a asegurar de acuerdo al contexto operacional y temporal (de corto plazo) de la facilidad principal Mito-1, estrategia basada en el aseguramiento de 10 pilares fundamentales y el modelo de gestión integral por procesos GENOMA de Ecopetrol S.A.

Los 10 pilares que han sido desarrollados a lo largo del presente documento y que son la base de la presente estrategia de mantenimiento son: definir las políticas y metas de la gestión de activos en el campo Mago; definir los indicadores de la estrategia de mantenimiento; definir la lista de activos propios presentes en el campo Mago; definir el procedimiento de codificación o etiquetado de los activos e ingreso al CMMS; determinar la criticidad de los activos; establecer y ajustar los planes de mantenimiento; establecer el modelo de mantenimiento rutinario; establecer los listados de repuestos críticos; definir planes de capacitación para el recurso humano; definir los recursos requeridos para la ejecución del plan.

---

\* Monografía.

\*\* Facultad de Ingenierías Físico – Mecánicas – Especialización Gerencia de Mantenimiento.  
Director : Javier García

## SUMMARY

**TITLE:**

MODEL STRATEGY OF MAINTENANCE OF “BLOQUE CAÑO SUR ESTE” OF THE CANYO SOUTH OPERATIONS SUPERINTENDENCE – ECOPETROL S.A.

**AUTHORS:**

Mahecha Rincón Andrés Felipe y Rodríguez Ortiz Milton Fernando. \*\*

**KEYWORDS:**

GENOMA, MAINTENANCE, RISK BASED INSPECTION (RBI), RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE.

**DESCRIPTION:**

Mago field, producer block of Caño Sur Este Ecopetrol S.A. it is located in Puerto Gaitan municipality, in Meta department. This field, heavy oil producer, has obtained its commerciality in October 2013, since then was given to Caño Sur Superintendence, group responsible for administration and managing of industrial and production assets, supported in the production and maintenance department.

As a new field, which currently operates with well testing contracts and is over transition to transfer assets from contractors to ECOPETROL S.A., is necessary to develop a model of strategy to enable proper management of the assets guaranteeing their availability and reliability.

That is why this paper intended becomes a roadmap indicating the minimum aspects to ensure according to operational and temporal context (short-term) of the principal facility Mito-1, assurance strategy based on 10 pillars and the model of integrated process management GENOMA ECOPETROL S.A.

The 10 pillars that have been developed throughout this document and are the basis of this maintenance strategy are: define the policies and goals of asset management in the field Mago; define indicators of the maintenance strategy; define the list of own assets present in the Mago field; define the coding or labeling of assets and income to CMMS; determine the criticality of the assets; setting and adjusting maintenance plans; establish the model of routine maintenance; establish critical parts listings; define plans for human resource training; define the resources required to implement the plan.

---

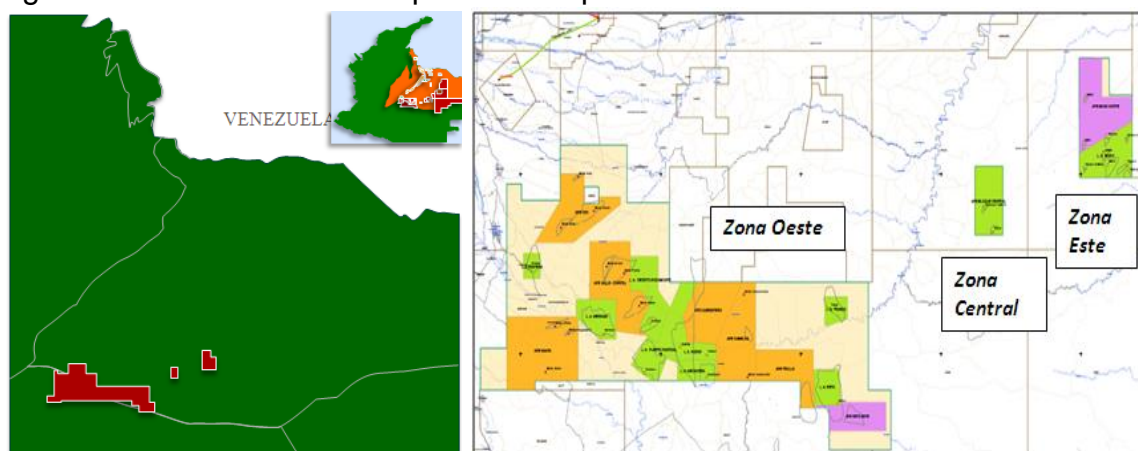
\* Monograph.

\*\* Faculty of Engineering and Physical – Mechanical – Maintenance Management Specialization  
Director: Javier García.

## INTRODUCCION

El Bloque Caño Sur es un bloque productor, que pertenece a la Vicepresidencia de Producción (VPR) de Ecopetrol S.A. Este bloque se encuentra ubicado en los municipios de Puerto Gaitán, San Martín, Puerto Lleras, Castilla la Nueva, San Carlos de Guaroa, Granada, Fuente de Oro, Mapiripán, San Juan de Arama y Vista Hermosa en el Departamento del Meta, y está dividido en 3 zonas tal como se indica en la Figura 1.

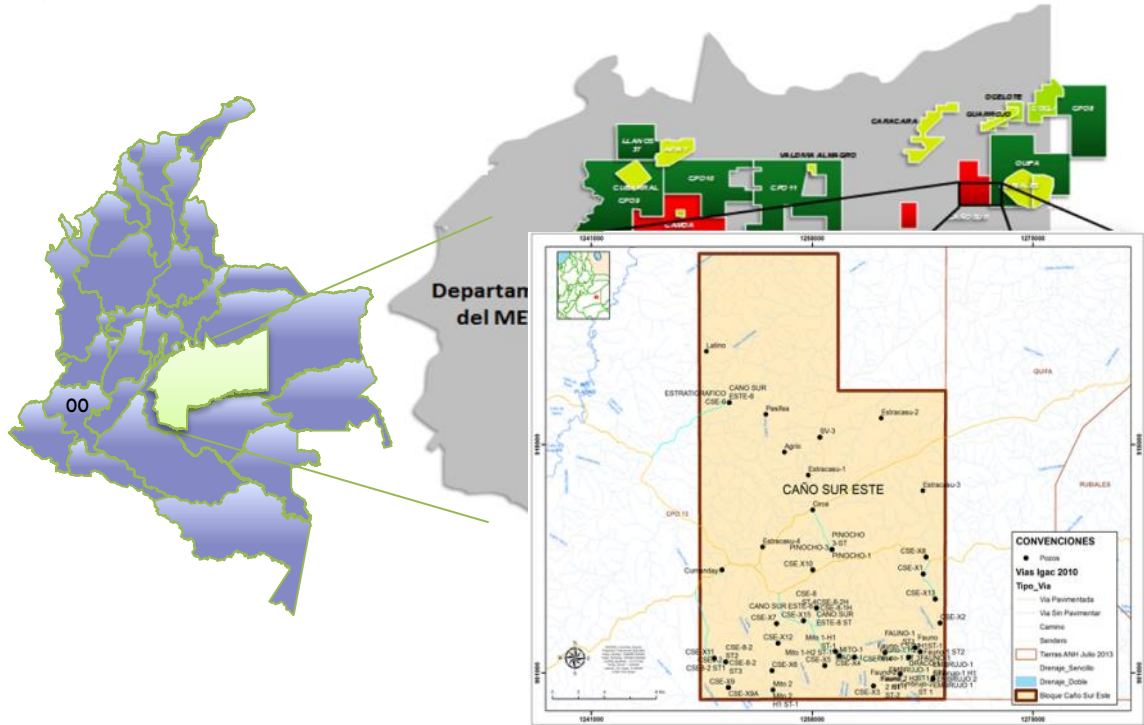
Figura 1. Distribución de campos del Bloque Caño Sur



Fuente: ECOPETROL S.A.

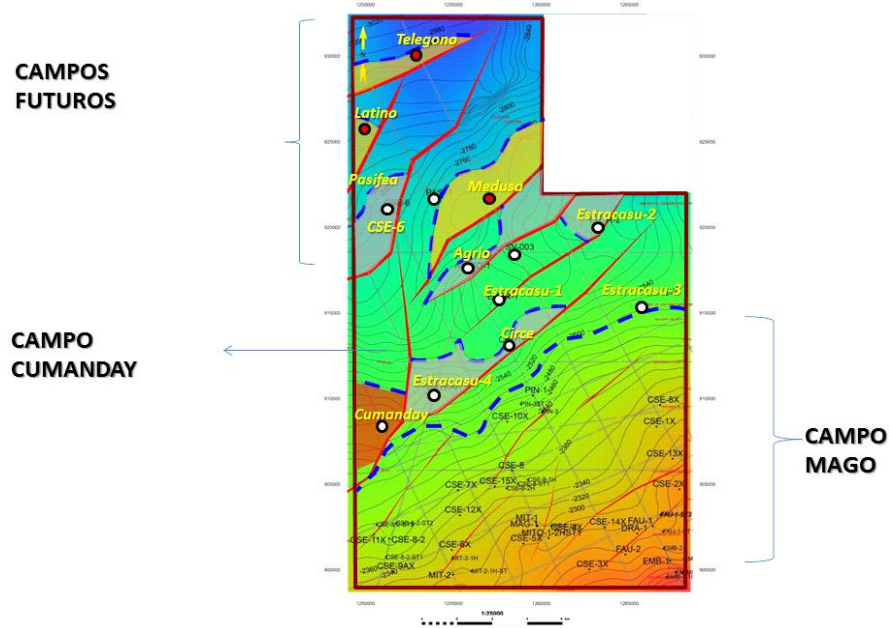
Debido a la ubicación geográfica y las largas distancias que separan las tres zonas del bloque Caño Sur, sumado a factores como accesibilidad, recursos, entorno, cercanía a otros proyectos o instalaciones de la compañía, la operación exploratoria y de desarrollo está concebida y planeada de forma independiente para cada una de las zonas del bloque. Por lo anterior, el alcance de la presente propuesta está limitado a la zona sur del bloque comercial **Caño Sur Este** (ver Figura 2), conocida como **campo MAGO** (ver Figura 3), siendo dicha área la zona de interés para la realización de la estrategia de mantenimiento dado que a la fecha, es el único campo en desarrollo con actividad de producción en el bloque.

Figura 2. Bloque Comercial Caño Sur Este



Fuente: ECOPEPETROL S.A.

Figura 3. Bloque Comercial Caño Sur Este, Campo Mago



Fuente: ECOPEPETROL S.A.

Actualmente el campo Mago, como será detallado posteriormente en este documento, cuenta con una facilidad principal de recibo, tratamiento y despacho del crudo. Esta estación recibe el crudo extraído de distintos clusters<sup>1</sup> y posterior a su recolección, la facilidad tiene como propósito tratar el fluido. Finalmente, desde esta facilidad se hace el despacho de crudo para ventas y el agua para inyección en las facilidades de otra operadora.

A la fecha, el campo Mago presenta una filosofía de O&M (Operación y Mantenimiento) que podría definirse como híbrida, en la cual se cuenta con activos en modalidad de renta y activos propios cuyo plan o estrategia de mantenimiento se encuentra en desarrollo. Teniendo en cuenta que la filosofía inicial de O&M era el alquiler de equipos por un lapso máximo de 6 meses (lo que es típico para las pruebas extensas de producción en la etapa exploratoria), el contratista no cuenta con árboles detallados de equipos, ordenes de trabajo sistematizadas, matriz de criticidad de equipos, registros de fallas, tiempos de reparación, tiempos medios entre fallas, entre otros, además de contar a la fecha con un Sistema de Información de Mantenimiento muy básico que no permite una adecuada “gestión” tanto de los activos en renta, como de los activos propios de Ecopetrol S.A.

En este punto es importante resaltar que la decisión estratégica de la compañía es mantener el modelo operacional actual, mientras se concretan hitos claves en el desarrollo del campo, tales como la conclusión de la ingeniería detallada de las facilidades para la extracción, recolección, tratamiento y despacho de fluidos, así como la aprobación por parte de la ANLA de la licencia ambiental que permite la construcción de tales facilidades (proyectada para Abril de 2014).

Por lo anteriormente expuesto, es evidente que bajo el esquema actual de O&M se presenta un alto riesgo operativo al no contar con una estrategia o modelo claramente definido para la gestión del mantenimiento de los activos. Es el

---

<sup>1</sup> En el contexto de la industria de hidrocarburos, un cluster es la presencia de varios pozos productores en una misma locación

propósito de este estudio definir un modelo de estrategia de mantenimiento del bloque Caño Sur Este – campo Mago que permita una adecuada gestión de los activos físicos de Ecopetrol en esa área, basados en la estrategia y visión corporativa definida dentro del marco del sistema de gestión integral de la compañía (GENOMA).

## 1. MARCO CONCEPTUAL.

### 1.1 ANTECEDENTES Y DESCRIPCIÓN DE LA PROBLEMÁTICA ACTUAL

El inicio de operaciones del bloque Caño Sur se remonta al 20 de Junio de 2005 con la firma del contrato de Exploración y Producción por parte de Ecopetrol con la Agencia Nacional de Hidrocarburos - ANH.

En agosto de 2007 Ecopetrol firma un acuerdo de participación igualitaria 50% - 50% con la empresa Shell, lo que permite la ejecución de 3 programas sísmicos durante los tres años posteriores, cubriendo 2050km de sísmica al 30 de noviembre de 2009.

En Febrero de 2011 la compañía Shell decide vender su participación a Ecopetrol, quedando esta última con el 100% de participación en la propiedad del bloque exploratorio. Con esto inicia un agresivo plan de perforación de pozos estratigráficos<sup>2</sup> y exploratorios<sup>3</sup> que permite que en Agosto de 2011 Ecopetrol emita el primer anuncio de descubrimiento de los pozos Mito-1, Fauno-1 y Pinocho-1 y con esto el inicio del programa de evaluación del Bloque Caño Sur Este.

A 2012 se tienen resultados satisfactorios con un total de 78 pozos perforados y 7 descubrimientos: Mito, Fauno, Pinocho, CSE8, Trasgo y Fontana (estos dos últimos pertenecen al bloque Caño Sur Oeste, que está por fuera del alcance del presente documento al ser aún un bloque en fase exploratoria). Es así, como tras

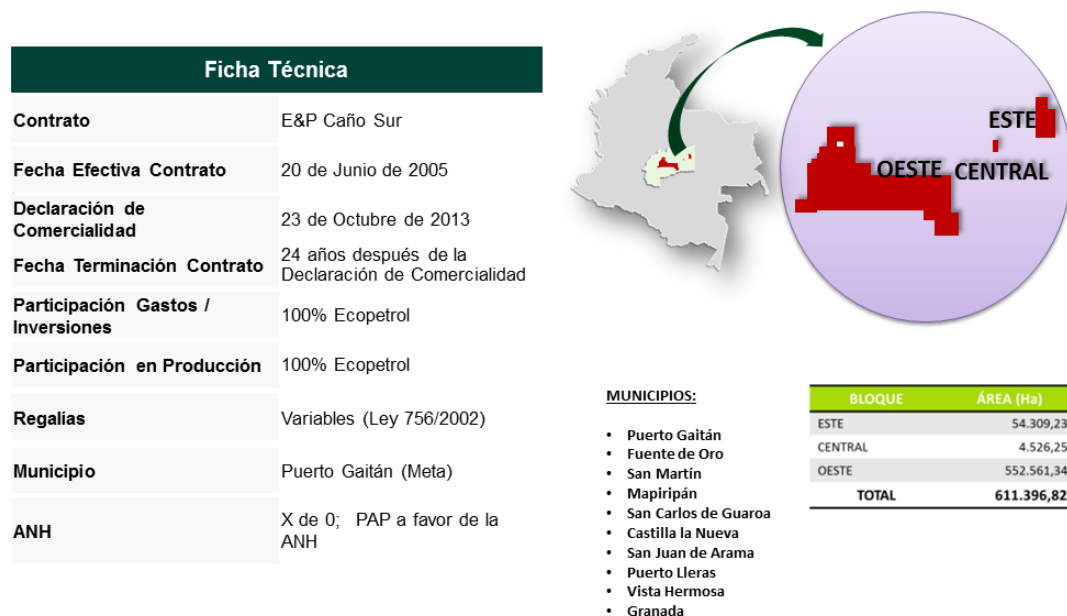
---

<sup>2</sup> Pozo estratigráfico: Es aquel que se perfora con el fin de determinar la estratigrafía de una zona geológicamente desconocida. Definición tomada de <http://www.minminas.gov.co/mme/>

<sup>3</sup> Pozo exploratorio: Es el que se perfora con el objeto de verificar las posibles acumulaciones de hidrocarburos entrampadas en una estructura geológica. Definición tomada de <http://www.minminas.gov.co/mme/>

8 años de trabajo se anuncia la comercialidad del bloque Caño Sur Este el 23 de Octubre de 2013. Esta comercialidad indica que el bloque pasa de un estado “exploratorio”, a un estado en “producción y desarrollo” de sus campos y permite la conformación de una estructura de planta de personal y recursos bajo el nombre de Superintendencia de Operaciones Caño Sur, quien tiene bajo su cargo la gestión de la producción, ingeniería, seguridad industrial y ambiental, y el mantenimiento de los activos industriales del campo

Figura 4. Ficha técnica Bloque Caño Sur



Fuente: ECOPETROL S.A.

Es importante hacer énfasis en que por lo general los contratos administrados en la etapa exploratoria, etapa previa a la entrada en comercialidad del campo, son contratos de corta duración (no mayor a 6 meses), para perforar y operar pozos en fase de “pruebas extensas de producción”. Dada la transición actual del campo por su entrada en comercialidad, a la fecha el campo Mago es operado bajo contratos cuyo objeto permanece circunscrito al desarrollo de “pruebas extensas de producción”. Para entender el contexto y las implicaciones de este hecho, es importante indicar cuál es el alcance y los objetivos de una prueba extensa de producción. De acuerdo a la resolución 181495 del 2 de Septiembre de 2009, una

prueba extensa es un “*periodo de producción posterior a la prueba inicial que tiene como finalidad obtener información adicional del yacimiento, para definir la comercialidad o no del campo*” y en su artículo 36 define que una Prueba Extensa de Producción “...*tendrán una duración máxima de seis (6) meses, prorrogables en función de su alcance...*”

Este hecho tiene fuertes implicaciones que impactan negativamente la adecuada gestión del mantenimiento, como son entre otros:

1. El alcance de un contrato de pruebas extensas se limita a la operación de producción y no involucra el mantenimiento de los equipos.
2. Los equipos para la operación de una prueba extensa son alquilados al contratista encargado de la prueba y no son propiedad de Ecopetrol S.A., representando altos costos para la compañía.
3. El contrato es de tan corta duración, que por lo general el contratista adecúa todos sus equipos para que operen solo por el tiempo de duración de la prueba extensa y no cuentan con un plan de mantenimiento, es decir que se corren a falla y solo se llevan cabo rutinas de cuidado básico de equipos y LILA (limpieza, inspección, lubricación y aspecto)<sup>4</sup>.
4. Los equipos alquilados dentro del contrato suelen pagarse por disponibilidad, es decir que el contratista debe asumir la reparación o el cambio de un equipo en caso de ocurrir una falla, para garantizar la operación del campo, representando altos costos para la compañía.
5. No se cuenta con cuadrillas especializadas para el mantenimiento de los equipos, ya que la práctica común suele ser la de contratar a un (1) técnico electromecánico para aplicar las rutinas indicadas en el punto 3.
6. Al no contar con ítems de mantenimiento dentro de los contratos de pruebas extensas, se presentan dificultades en la gestión e interrelación entre los profesionales de mantenimiento de Ecopetrol y el personal encargado de las pruebas extensas por parte de la empresa contratista.

---

<sup>4</sup> Presentación TPM

A pesar de lo anterior, y teniendo en cuenta que este modelo de operación a través de equipos alquilados deriva en un elevado costo de levantamiento (lifting cost), de acuerdo a las decisiones estratégicas de la gerencia enfocadas a la viabilidad económica del campo, se tomó la decisión en 2012 de adquirir equipos para el tratamiento del crudo, el manejo del agua de producción y el manejo del agua contraincendios en la facilidad Mito-1 (Figura 5) – se destaca que este bloque presenta un muy bajo índice GOR<sup>5</sup> –, sin que el contrato de compra de estos equipos incluyera servicios de mantenimiento. Por otra parte, ese elevado costo de levantamiento y la coyuntura de restricciones ambientales que impide tener una licencia ambiental de desarrollo que viabilice la construcción de facilidades definitivas, sumado a la estrategia de sostener el modelo operacional actual (contratos de pruebas extensas), marcó una tendencia a extender los requerimientos de compra de los activos que actualmente se encuentran en renta, al punto de efectuarse una compra directa al contratista de la mayoría de los equipos instalados en la facilidad de recolección, tratamiento y despacho Mito-1 – Campo Mago.

La problemática expuesta anteriormente hace necesario establecer una estrategia de mantenimiento basado en algún modelo validado a nivel internacional y alineado con el modelo de gestión de activos y mantenimiento corporativo, a fin de minimizar los riesgos que la filosofía actual de mantenimiento representa para la SCS.

Por otro lado es importante aclarar que la presente estrategia hace foco en la facilidad Mito-1 y no en los clusters de extracción, dado que se espera que su operación continúe por lo menos hasta el año 2015, con equipos en su mayoría propiedad de Ecopetrol, mientras que los clusters operados por contratistas con

---

<sup>5</sup> Índice GOR (Gas Oil Ratio): La relación Gas/Crudo es el cociente del volumen de gas presente en una solución, respecto al volumen de crudo en condiciones estándar. Un bajo índice de GOR como el evidenciado en el bloque Caño Sur indica que en términos prácticos no se presenta gas en el campo.

sets de pruebas, seguirán bajo un modelo de “prueba extensa”, es decir en renta y con una estrategia definida por el contratista. Una vez la licencia ambiental que permite el desarrollo del campo y construcción de facilidades definitivas sea aprobada por el ente regulador (en este caso la Agencia Nacional de Licencias Ambientales – ANLA), los sets de pruebas extensas serán desmantelados y reemplazados por un múltiple o manifold que permite el envío del fluido a la facilidad de producción Mito-1.

Figura 5. Facilidad Mito-1 (Campo Mago)



Fuente: ECOPEL S.A.

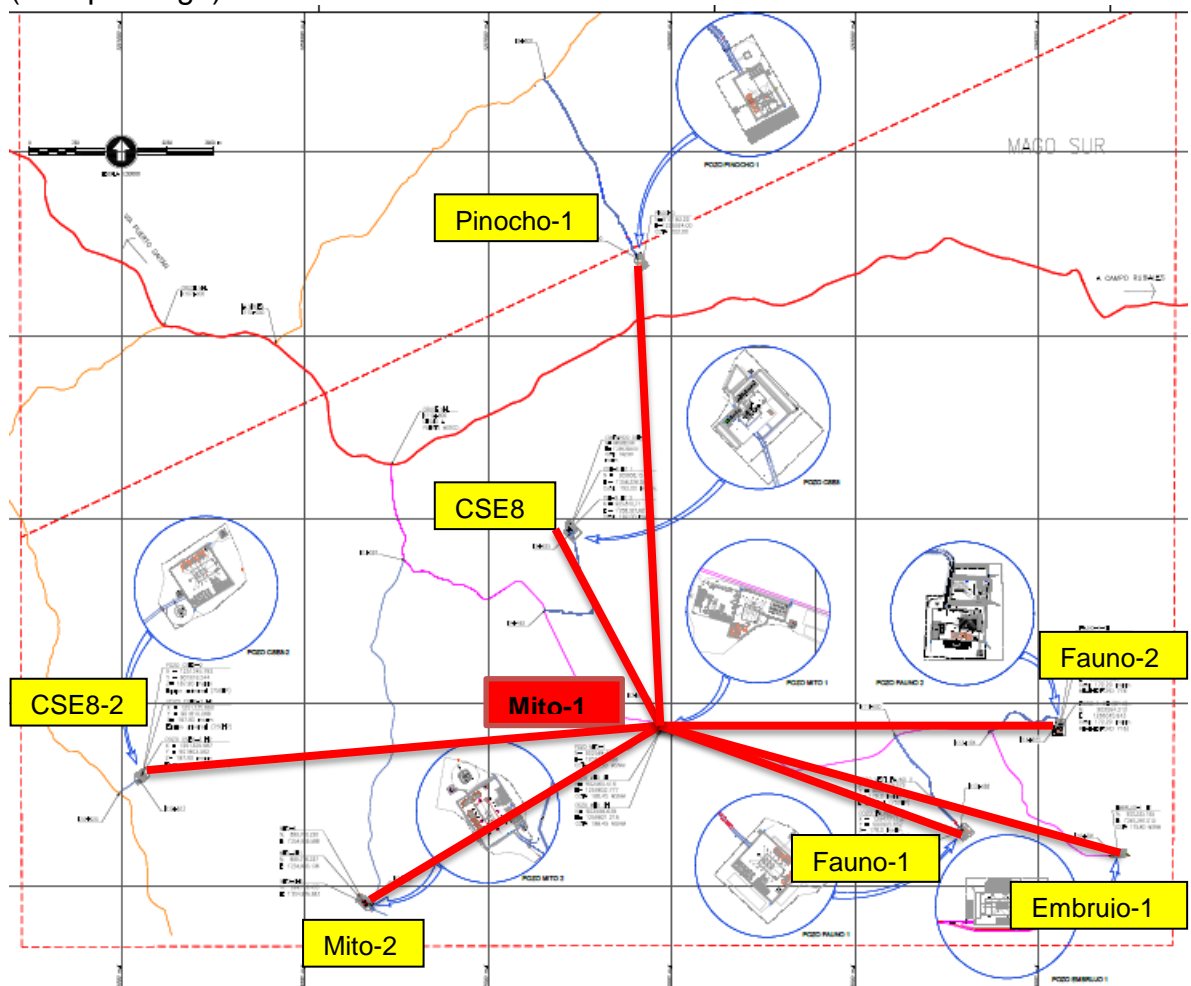
## 1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DEL CAMPO MAGO

### 1.2.1 Generalidades del proceso

A la fecha, el campo Mago cuenta con una facilidad principal de recibo, tratamiento y despacho de crudo, conocida como Mito-1. Esta facilidad inicialmente fue concebida como un cluster de pruebas extensas, con un set de pruebas cuya función era recolectar, hacer una separación primaria de la emulsión agua-crudo que es extraída y despachar el crudo de los pozos Mito-1, Mito-1 1H y

Mito-1 2H. Sin embargo, dados los requerimientos operacionales que se han venido concibiendo desde el inicio en 2011 de la operación de pruebas del cluster Mito-1, su filosofía ha ido migrando para convertirse en la facilidad principal que centraliza el recibo de crudos extraídos de otros clústers de pruebas, como Fauno-1, Fauno-2, CSE8, CSE8-2, Mito-2, Embrujio-1 y Pinocho-1.

Figura 6. Ubicación Facilidad Mito-1 y clústers actuales de extracción de crudo (Campo Mago)



Fuente: ECOPETROL S.A.

Una vez la emulsión crudo-agua es extraída de cada uno de los pozos en los clusters descritos anteriormente, estos son llevados vía carrotanque a la facilidad

Mito-1, cuyo objetivo es tratar el fluido recibido y separar el agua aún presente en la emulsión, dejando el crudo en especificaciones.

Finalmente, desde esta facilidad se hace el despacho de crudo para ventas a externos, y el agua se deja a disposición de otra operadora del área para su posterior inyección.

### 1.2.2 Proceso de extracción en clusters.

El proceso del campo Mago comienza en la extracción que tiene lugar en los pozos de los clusters Mito-1, Fauno-1, Fauno-2, CSE8, CSE8-2, Mito-2, Embrujo-1 y Pinocho-1. Cada uno de estos clusters cuenta con uno o más pozos cuyo método de levantamiento artificial se lleva a cabo mediante bombeo electro sumergible BES (ESP – Electric Submersible Pump) o bombeo por cavidades progresivas BCP (PCP – Progressive Cavity Pump), siendo el primero el de más amplio uso en este campo dadas las condiciones del fluido extraído, de una densidad de crudo de 13,7 °API y un BSW<sup>6</sup> en promedio del 90% a 95%.

#### 1.2.2.1 Método de levantamiento por bombeo Electrosumergible (BES)

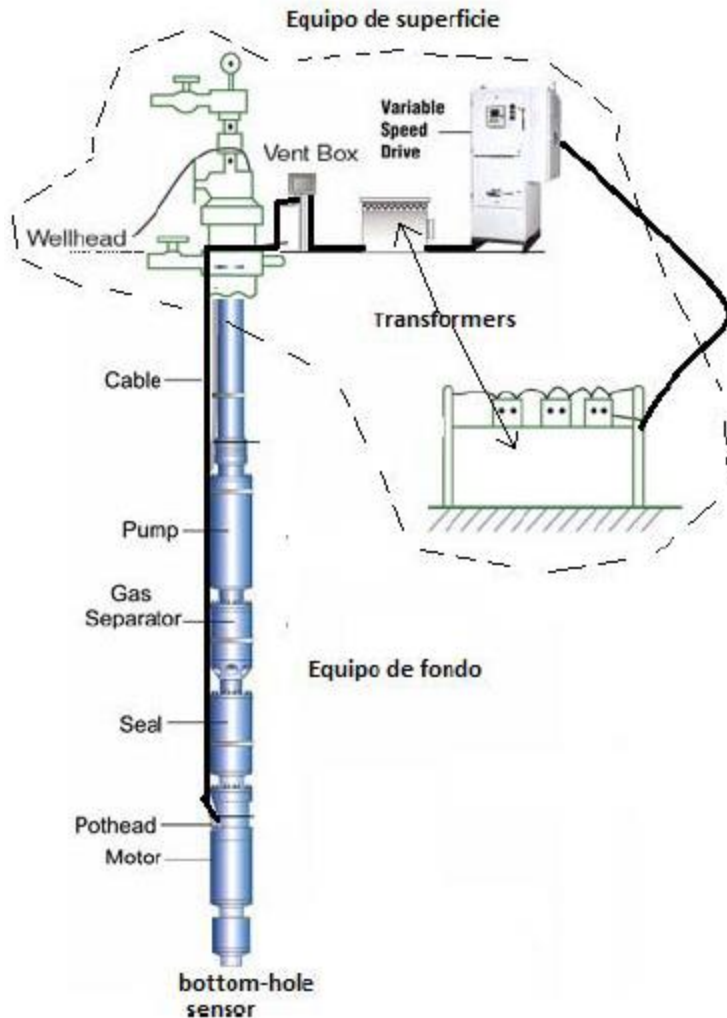
El sistema de Bombeo Electro-sumergible (BES) es un método de levantamiento artificial altamente eficiente para la producción de crudos livianos y medianos; sin embargo, es uno de los métodos de extracción de crudo que exige mayor requerimiento de supervisión, análisis y control, a fin de garantizar el adecuado comportamiento del sistema. Entre las características del sistema están su capacidad de producir volúmenes considerables de fluido desde diferentes profundidades, bajo una amplia variedad de condiciones del pozo. El sistema

---

<sup>6</sup> BSW (basic sediment and water) se refiere a la especificación técnica del fluido respecto a su contenido de impurezas y agua. Un BSW de 90% indica que del total de fluido extraído de un yacimiento, apenas el 10% es crudo y lo demás son sólidos y agua.

trabaja sobre un amplio rango de profundidades y volúmenes, su aplicación es particularmente exitosa cuando las condiciones son propicias para producir altos caudales de líquidos con bajas relaciones gas-aceite.<sup>7</sup>

Figura 7. Sistema de levantamiento artificial mediante bombeo electrosumergible BES



Fuente: ECOPETROL S.A.

El equipo de bombeo BES puede dividirse en dispositivos de fondo y de superficie como se presenta en la figura 7. El equipo de fondo está compuesto por: un sensor de fondo, un motor jaula de ardilla, un sello, un separador de gas (cuando

<sup>7</sup> Tomado de doc ecp

aplica) y la bomba. El equipo de superficie está compuesto por: el transformador reductor (SDT), el variador de frecuencia (VSD), el transformador elevador (SUT), la caja de venteo y el cabezal de pozo.

A diferencia de la figura 7, el esquema usado en la actualidad en el campo Mago no cuenta con red eléctrica de media tensión y transformador reductor a la entrada del variador de velocidad. A cambio cuenta con un generador independiente que trabaja a 480V que es la tensión requerida por el variador para trabajar.

Por otro lado, es importante recalcar que en Ecopetrol los equipos de fondo no son atendidos por los departamentos de mantenimiento, y en su lugar, los departamentos de producción e ingeniería de subsuelo y confiabilidad son quienes atienden estos requerimientos normalmente con trabajos de subsuelo y workover.

#### 1.2.2.2 Método de levantamiento por bombeo cavidades progresivas (BCP)

El Bombeo por Cavidad Progresiva proporciona un método de levantamiento artificial que se puede utilizar en la producción de fluidos muy viscosos y posee pocas partes móviles por lo que su mantenimiento es relativamente sencillo.

Un sistema BCP consta básicamente de un cabezal de accionamiento en superficie y una bomba de fondo compuesta de un rotor de acero, en forma helicoidal de paso simple y sección circular, que gira dentro de un estator de elastómero vulcanizado.

La operación de la bomba es sencilla; a medida que el rotor gira excéntricamente dentro del estator, se van formando cavidades selladas entre las superficies de ambos, para mover el fluido desde la succión de la bomba hasta su descarga.

El estator va en el fondo del pozo enroscado a la tubería de producción con un empaque no sellante en su parte superior. El diámetro de este empaque debe ser lo suficientemente grande como para permitir el paso de fluidos a la descarga de la bomba sin presentar restricción de ningún tipo, y lo suficientemente pequeño como para no permitir el paso libre de los acoples de la extensión del rotor.

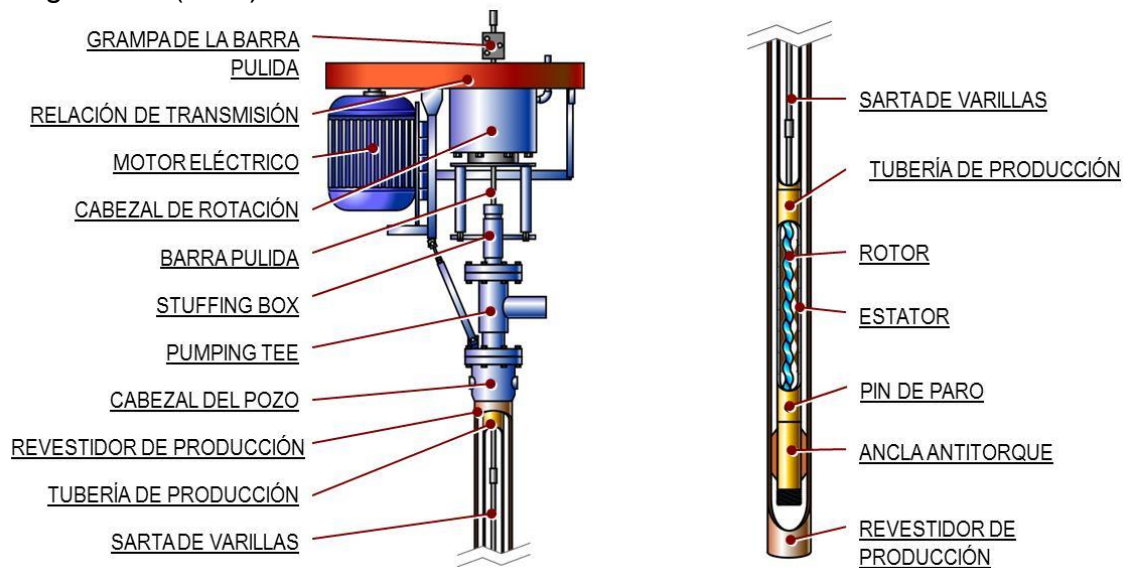
El rotor va roscado en las varillas por medio del niple espaciador o intermedio, las varillas son las que proporcionan el movimiento desde la superficie hasta la cabeza del rotor. La geometría del conjunto es tal, que forma una serie de cavidades idénticas y separadas entre sí. Cuando el rotor gira en el interior del estator estas cavidades se desplazan axialmente desde el fondo del estator hasta la descarga generando de esta manera el bombeo por cavidades progresivas. Debido a que las cavidades están hidráulicamente selladas entre sí, el tipo de bombeo es de desplazamiento positivo.

La instalación de superficie está compuesta por un cabezal de rotación, que está conformado, por el sistema de transmisión y el sistema de frenado. Estos sistemas proporcionan la potencia necesaria para poner en funcionamiento al a bomba de cavidades progresivas. Además de esto, para el caso Caño Sur Este, en superficie se encuentran los cables de potencia, variador de velocidad y generador eléctrico de potencia de 480V.

Otro elemento importante en este tipo de instalaciones es el sistema de anclaje, que debe impedir el movimiento rotativo del equipo ya que, de lo contrario, no existirá acción de bombeo. En vista de esto, debe conocerse la torsión máxima que puede soportar este mecanismo a fin de evitar daños innecesarios y mala operación del sistema.

El niple de asentamiento o zapato, en el que va instalado y asegurado al sistema de anclaje, se conecta a la tubería de producción permanentemente con lo cual es posible asentar y desasentar la bomba tantas veces como sea necesario.

Figura 8. Sistema de levantamiento artificial mediante bombeo Cavidades Progresivas (BCP)



Fuente: ECOPEPETROL S.A.

### 1.2.3 Proceso de recolección y tratamiento/separación primaria del fluido en clusters

El fluido extraído en el campo Mago es un fluido de muy alto contenido de agua y sólidos (BSW de 90% a 95%), de alta viscosidad ( $971,3 \text{ mm}^2/\text{s}$  a  $40^\circ\text{C}$ ) y alta densidad (crudo pesado, con gravedad API de  $13,7^\circ$ )<sup>8</sup>. La condición de alto BSW al momento de la extracción es mitigada previo al envío a la facilidad principal Mito-1, haciendo una separación primaria por gravedad y tiempo de retención en tanques horizontales. Para esto se dispone en cada cluster del set de pruebas nombrado anteriormente. Para el caso de los clusters diferentes a Mito-1, estos

<sup>8</sup> Informe Parcial I Analisis Assay Tipo I a una muestra de crudo (Submission: 100153836) (crudo Caño Sur Este 23-11-13)

sets de pruebas son suministrados en renta por el contratista, que se encarga de operar y mantener sus equipos por el tiempo que dure la prueba.

Figura 9. Set de pruebas típico (clúster Fauno-1)

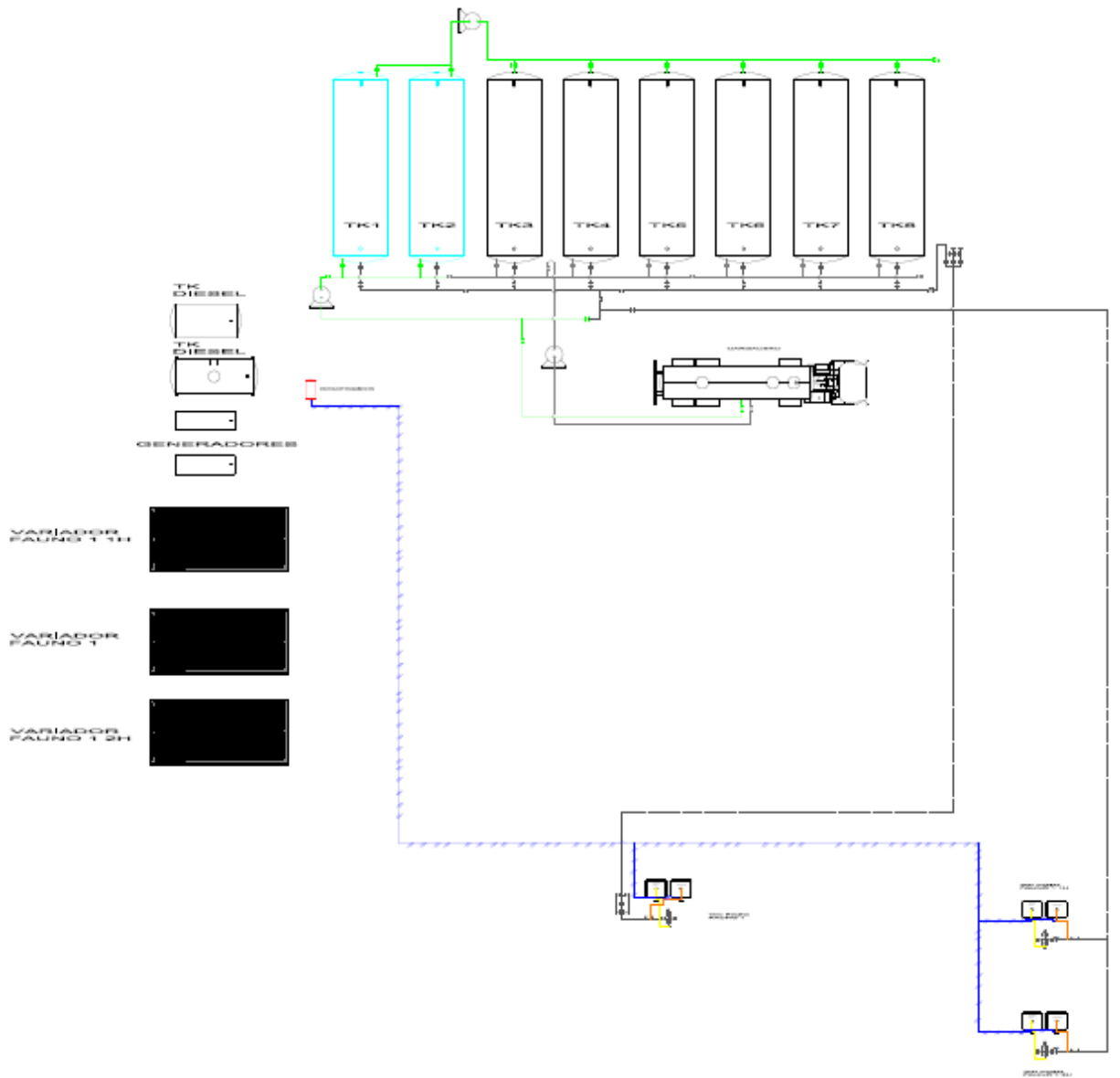


Fuente: ECOPETROL S.A.

Estos sets de pruebas constan básicamente de un múltiple o manifold de recolección de fluidos de cada pozo y mediante tubería de golpe es enviada a tanques horizontales de 500 lb. En estos tanques se efectúa la separación primaria del fluido por gravedad y tiempos de retención en los tanques. El crudo, al ser el fluido menos denso que el agua, flota sobre está formando un colchón de agua en el fondo del tanque.

Gracias a este efecto que ejerce la gravedad y el tiempo de retención, el fluido separado se bombea a tanques de despacho tanto de agua como de crudo en donde quedan listos para ser despachados mediante cargaderos en cada cluster a carrotanques para su posterior envío a la facilidad Mito-1, en el caso del crudo, y a un tercero para su inyección a PAD's de disposición.

Figura 10. PI&D Set de pruebas típico (clúster Fauno-1)



Fuente: ECOPETROL S.A.

## 1.2.4 Proceso de recolección en Facilidad Mito-1, tratamiento/separación en especificaciones y despacho del crudo para ventas

### 1.2.4.1 La Facilidad Mito-1

La facilidad está diseñada para recibir y almacenar 16500 BBI de crudo y 2000 BBI de agua. Adicionalmente, cuenta con un Gun Barrel que tiene capacidad de procesamiento de 10000 BBI/día. En esta locación actualmente se reciben los fluidos provenientes de los pozos Fauno-1 ST3, Fauno-2 y Fauno-2 1H ST2, además de la producción propia de los pozos Mito-1 y Mito-1 1H ST1.

El crudo de producción del Pozo Mito-1 y el crudo de producción proveniente de otros pozos, son tratados en la facilidad y son despachados cumpliendo con las especificaciones establecidas para venta y/o transferencia de custodia, es decir, con un BSW inferior a 0.5% y un contenido de sal en crudo inferior a 20 PTB<sup>9</sup>.

El aseguramiento de la medición del campo se basa en el MMH (Manual de Medición de Hidrocarburos de ECOPETROL), en las normas nacionales e internacionales aplicables y en los procedimientos establecidos por ECOPETROL S.A. para cada una de estas actividades. Para el monitoreo de las propiedades físico-químicas de los fluidos, la estación cuenta con un laboratorio dotado con una centrifuga para la determinación del BSW de los fluidos recibidos, un Karl Fisher para reporte del BSW del crudo de venta, con su respectiva impresora y balanza analítica, un agitador magnético, salinómetro y pHmetro para determinación de la salinidad y pH respectivamente, termómetros y termohidrómetros para determinación de las temperaturas y API del fluido, reactivos para determinar cloruros en agua, etc.

---

<sup>9</sup> PTB: libras de sal por cada 1000 barriles de crudo neto

Para simplificar el proceso de separación de las fases agua-crudo, la facilidad cuenta con un sistema de generación de vapor que alimenta dos (2) intercambiadores de calor, por donde circulan los fluidos y se realiza la transferencia de calor latente que permite el aumento en la temperatura del crudo y favorece la separación. El agua de formación que logra separarse durante la etapa de tratamiento de los fluidos de producción, actualmente, es enviada por medio de carro-tanques hacia un campo externo perteneciente a un tercero, donde realizan el tratamiento final de esta y su correspondiente disposición.

Para la operación de la facilidad se dispone de un sistema de aire comprimido para la instrumentación, sistemas de protección, bombas de trasiego de fluido. Además, se cuenta con bombas de desplazamiento positivo para la inyección de químico (Rompedor Directo) para el Pozo Mito-1.

Posterior al tratamiento térmico y químico, el crudo es fiscalizado con el fin de verificar el cumplimiento de los parámetros establecidos para la transferencia de custodia, finalmente se dispone en carro-tanques para ser vendido en cabeza de pozo o transportado hacia otro campo.

#### 1.2.4.2 Descripción del proceso general de la Facilidad Mito-1

La Facilidad Mito-1, por los diferentes procesos involucrados se puede dividir en los siguientes sistemas:

1. Cabeza de pozo y sistema de inyección de químico.
2. Sistema de separación y tratamiento térmico.
3. Sistema de almacenamiento de crudo y de agua.
4. Sistema de descargue de crudo.
5. Sistema de cargue de carro-tanques.
6. Sistema neumático e instrumentación.

7. Sistema de generación.
8. Sistema contra incendios.

#### 1.2.4.2.1 Cabeza de pozo y sistema de inyección de químicos

Actualmente, la facilidad Mito-1 cuenta con un clúster de 3 pozos, así: Mito-1 cuenta con un sistema de levantamiento artificial de cavidades progresivas (PCP). La línea general tiene salida de 3" y cuenta con puntos para el monitoreo de presiones, temperatura, toma de muestras e inyección de químico (rompedor de emulsión directa); esta línea lleva el fluido del pozo hacia el proceso. De igual forma, el pozo Mito-1 1H ST1 que cuenta con sistema de bombeo electrosumergible (BES) para el levantamiento de los fluidos que son direccionados a los tanques TK-176 y TK-019 y posteriormente entran al proceso. Por último, el pozo Mito-1 2H ST1 está dotado con un sistema de bombeo electrosumergible (BES), el cual entrega a los tanques TK-04 y TK-05; este pozo actualmente se encuentra en stand by.

Figura 11. Cabeza de Pozo Mito-1



Fuente: ECOPETROL S.A.

#### 1.2.4.2.2 Sistema de separación y tratamiento térmico

El sistema de separación está integrado por un Gun Barrel de las siguientes características:

Tabla 1. Ficha técnica separación.

<b>Nombre del equipo</b>	Gun Barrel
<b>Identificación</b>	K-230
<b>Dimensiones</b>	9.151 m D X 10.910 m L
<b>Capacidad</b>	5000 BBI
<b>Temp. Ope./dis</b>	150/180° F
<b>Presion ope.</b>	ATM
<b>Material</b>	ASTM A-283 Gr C
<b>Tipo</b>	VERTICAL

Fuente: ECOPETROL S.A.

El sistema de instrumentación y protecciones está compuesto por:

Tabla 2. Instrumentación.

<b>Instrumento</b>	<b>Descripción</b>	<b>Punto de Ajuste</b>
LCV- 0151	Válvula de control de nivel de agua GB K-230	Ajuste en el proceso

Fuente: ECOPETROL S.A.

El sistema de tratamiento térmico por su parte, se constituye en una herramienta fundamental para el tratamiento en crudos pesados. En la Facilidad Mito-1 se cuenta con un generador de vapor piro-tubular de 150 BHP de capacidad, utilizado en la operación para la deshidratación del crudo, el cual proporciona un flujo de vapor de 5175 libras de vapor/hora. Este generador también cuenta con un tablero digital, un sistema de control INK (PLC) y componentes de seguridad brindando confiabilidad en el manejo de presión.

#### 1.2.4.2.3 Sistema de almacenamiento de crudo y agua

Para el almacenamiento de crudo se cuenta con un (1) tanque cilíndrico vertical con una capacidad nominal 5036,67 BI, y quince (15) tanques horizontales de 500 BI cada uno, con sus accesorios que permiten la medición (boquilla de medición, plato de medición, punto de medición y referencia, visores, venteos). La distribución actual de los tanques en el proceso es: dos (2) tanques (ALQ-C 166, ALQ-C 016) para almacenar la producción del Pozo Mito-1, dos (2) tanques (ALQ-C 176, ALQ-C 019) para almacenar producción del Pozo Mito-1 1H ST1, dos (2) tanques (TK-04, TK-05) para almacenamiento de producción del Pozo Mito-1 2H ST1, cuatro (4) tanques (TKL 0099, TKL-0081, TKL-0079, K-120) para almacenar el crudo de venta; para el almacenamiento de agua se cuenta con un (1) tanque vertical con una capacidad nominal de 2072 BBI (K-130) y seis (6) tanques (ALQ-C 172, ALQ-C 160, ALQ-C 174, TK-06, TK-07, TK-08) que están disponibles para recibir la producción de otras locaciones (Pozos Fauno 1 ST3, Fauno-2, Fauno 2 1H ST2).

Los trenes de tanques están dotados de manifold de entrada de crudo desde el Gun Barrel con tubería de 3" y luego pasan a tubería de 6" que distribuye, a la entrada de los tanques en válvulas de bola en 4", la descarga de crudo de cada tanque se realiza a través de válvulas de 4" las cuales se interconectan con una línea de 6" que luego se conecta a una línea de 3" y posteriormente a la bomba de desplazamiento positivo (Blackmer) para cargue de carro tanques (BDP 0171 de 30 HP). Adicionalmente, se cuenta con la bomba de desplazamiento positivo (BDP 0240) con potencia de 30 HP como back up.

Se dispone de un sistema de recirculación que está diseñado para enviar el fluido nuevamente por el sistema de tratamiento térmico, buscando así que se libere más agua emulsionada o en suspensión en el crudo, este sistema cuenta con la

bomba de trabajo BDP 0161 de 30 HP y con la bomba BDP 0164 de 20 HP como back up.

Figura 12. Sistema de almacenamiento de crudo y agua



Fuente: ECOPELROL S.A.

#### 1.2.4.2.4 Sistema de descargue de crudo.

El sistema de descargue de carro-tanques cuenta con una bomba de desplazamiento positivo (BDP 0241), BLACKMER modelo MLX4 para 350 GPM con un motor de 30 HP de potencia, la cual cuenta con un variador.

Figura 13. Sistema de descargue de crudos externos



Fuente: ECOPELROL S.A.

#### 1.2.4.2.5 Sistema de cargue de carrotanques

La facilidad Mito-1 cuenta con un cargadero debidamente diseñado y certificado bajo los estándares exigidos por la norma; con sus respectivos accesorios (como son línea de vida, puntos de anclaje, barandas, pasarela y rampa de acceso). Que se utiliza para el cargue de crudo y agua en carro-tanques, que posteriormente transporta el fluido hasta su destino final.

El sistema de cargue de carro-tanques cuenta con una bomba rotativa de desplazamiento positivo BLACKMER (BDP 0171) modelo MLX4 para 350 GPM con un motor de 30 HP para trabajo, y una bomba BLACKMER (BDP 0240) de las mismas características como sistema de respaldo para el cargue de crudo, la cual será utilizada cuando se requiera intervenir la bomba principal para actividades de mantenimiento, estas bombas se encargan de impulsar el crudo a través de una tubería de 3" hasta una manguera de 3" que es introducida directamente en la escotilla central del vehículo. El control del cargue se realiza visualmente por parte del operador y/o auxiliar que se posiciona en la parte superior del carro-tanque y asegurado a la línea de vida del cargadero.

De igual forma el sistema de cargue de agua está formado por una línea conectada a la succión de la bomba centrífuga GRISWOOLD (BCF 0122) de 7.5 HP 3x2x6 y a la bomba de desplazamiento positivo (BDP 0178) modelo X4B de 20 HP de potencia que conducen el fluido del tanque K-130 y lo dirigen a la línea de cargue de carro-tanques.

Figura 14. Sistema de cargue de crudo



Fuente: ECOPETROL S.A.

#### 1.2.4.2.6 Sistema neumático e instrumentación

El sistema neumático de la facilidad cuenta con cuatro (4) compresores de aire COM 01021 / COM 00991 / COM 0081 / COM 0082; cada uno con una capacidad de trabajo de 80 psig @ 120 psig de presión de descarga. El aire generado es utilizado por las bombas neumáticas, herramientas neumáticas y mantenimiento.

Aire de Instrumentación: Los dos compresores de aire, COM-01021 / COM-00991, están conectados en paralelo a una línea de 3/4" que alimenta toda la instrumentación y la válvula controladora de nivel del Gun Barrel.

#### 1.2.4.2.7 Sistema de generación eléctrica

La operación eléctrica de la facilidad está estructurada de la siguiente manera:

El sistema está diseñado para trabajar en condiciones normales sin ninguna restricción. Actualmente la facilidad cuenta con el generador GEN 0110I (140 kW); generando a una tensión de 480 V, el cual tiene un consumo promedio de 85 Gls/día de combustible, que energiza al tablero TGD 0028 donde se distribuyen los circuitos para energizar el variador de la PCP y al tablero TGD 0054 el cual alimenta las bombas BDP 0274, BDP 0275, BDP 0276, BDP 0178, BCF 0132 a 480 V y compresores COM 0099I y COM 0102I a 220 V. Adicionalmente se cuenta con el generador GEN 0065 con capacidad de 180 kW que funciona como back up.

En caso de realizar un mantenimiento, el generador GEN 0110I de 140 kW se apaga y se realiza la transferencia por medio de un sistema de enclavamiento mecánico manual, para habilitar el generador de Back Up. Se alinea generador GEN 0065 de 180 kW, luego se accionan los breaker de los tableros.

Los pozos Mito-1 1H ST1 y Mito-1 2H ST1 cuentan con el generador GEN 0107I con capacidad nominal de 116 kW, generando una tensión de 480 V que energiza el variador de la bomba BES.

La operación cuenta con el generador GEN 158 con capacidad nominal de 200 kW, el cual genera un tensión de 480 V, que sirve para energizar el tablero TGD 0041 el cual distribuye dos tensiones, 480 V para los equipos rotativos, es decir, las bombas BDP 108, BDP 0161, BDP 0171, BDP 0241, BDP 0240, BDP 0164, BDP 0177; y 220 V para energizar el generador de vapor CPT 0003, el alumbrado perimetral del área de proceso y el sector de oficinas.

Por último el campamento posee el generador GEN 417 con capacidad nominal de 210 kW generando una tensión de 480 V que a su vez energiza el tablero de transferencia 738 que alimenta el transformador TRF-0030 de 150 KVA reduciendo el voltaje de 480 V a 220 V que suministra energía al campamento; el campamento tiene como back up el GEN 0074 que tiene una capacidad de 180 kW.

#### 1.2.4.2.8 Sistema contra incendio

Actualmente está siendo implementado en la Estación Mito-1, un sistema contra incendio que consta de un tanque contra incendio de 2000 BBI nominales y un sistema de bombas de inyección de diésel BCI 0002 y BCI 0003.

Se tiene estimado para 2014 tener completo y en funcionamiento el Sistema contra incendio de la locación.

Adicionalmente, la locación cuenta con un sistema contra incendio que consta de: extintores móviles de 150 lb y 30 lb para fuego clase ABC, equipo de contingencia ambiental que cuenta con: Fast Tank para 2,50 BBI, dos (2) palas plásticas anti chispa, cuatro (4) sacos de material absorbente, seis (6) baldes plásticos de 10 litros, cuatro (4) barreras de algodón, cinco (5) mangueras, una (1) bomba neumática de 2", cinco (5) pares de guantes de nitrilo y quince (15) costales de fibra.

## **2. MARCO TEÓRICO**

Se entiende que el objetivo del mantenimiento es mantener un estándar de funcionamiento de los activos de acuerdo a unas necesidades y a la estrategia que determine la empresa. El mantenimiento se basa también en el estado actual de los equipos, ubicación y recursos con los que cuenta la organización para mantenerlos en condición operativa.

La definición de la estrategia de mantenimiento de una compañía está ligada no solo a aspectos económicos y de tiempo, si no debe estar contextualizado a la razón de ser de la empresa, a sus activos y a la conveniencia de implementación y a la visión a largo plazo de la organización.

Para esto, el paso inicial es tener claro cuáles son los beneficios y limitaciones de cada uno de los tipos de mantenimiento, y analizar cuál es el más conveniente a partir de los criterios definidos con anterioridad.

También cabe resaltar que todos los tipos de mantenimiento pueden ser aplicados, dado que estos se deben seleccionar según el tipo y la razón de una empresa y cual se ajusta más a ella.

### **2.1 MANTENIMIENTO CORRECTIVO**

Básicamente como su mismo nombre lo indica basa en que los equipos de una organización operen hasta que se presente una falla, y se intervenga la máquina con el fin de corregirla, los principales problemas que se presentan es que la organización requiere un gran conocimiento de las máquinas, con el fin de determinar en qué parte se presentará la falla y corregirla en el menor tiempo posible, lo cual genera extensos tiempo muertos y una gran cantidad de repuestos

en stock, adicionalmente de personal muy bien entrenado con el fin de poder encontrar de la maneras más rápida las fallas que se presenten.

En muchas organizaciones, este tipo de mantenimiento es muy usado cuándo se presentan algunas facilidades como lo son:

- Que los equipos tengan back-up o equipos de respaldo.
- Que los gastos de mantenimiento sean relativamente bajos.
- Que dicho equipos al momento de presentar alguna falla no genere retrasos en una línea de producción
- Que los equipos ya se encuentra en la etapa final de uso.

No obstante se requiere una siempre una retroalimentación con el fin de poder determinar si sigue siendo rentable optar por este tipo de mantenimiento.

Por otro lado cabe resaltar, que aunque en muchas organizaciones este modelo de mantenimiento es bastante efectivo, también tiene, grandes dificultades y adicionalmente generar gastos innecesarios y desventajas hacia la organización como lo son:

- El trabajar los equipos a falla, puede traer como consecuencia que se generar fallas, que pueden ser difíciles de reparar, o que pueden tardar mucho tiempo en ser reparadas y en el peor de los casos fallas irreparables
- Lucro cesante es siempre mayor<sup>10</sup>.
- Generar paros con altas frecuencias, y afectando drásticamente la producción en una organización.
- Este modelo de mantenimientos requiere, grandes cantidades de repuestos y adicionalmente requiere tener más talento humano en el departamento de mantenimiento, para ejecutar las actividades de mantenimiento.

---

<sup>10</sup> Borrás P. Carlos. En: Principios de Mantenimiento. Marco 20013, p 59.

## 2.2 MANTENIMIENTO PREVENTIVO

Este tipo de mantenimiento está basado en la planificación y programación anticipada con base a los históricos de los equipos, esta planificación es única para cada máquina o equipo al que se quiera efectuar esta clase de mantenimiento, el objetivo principal de esta clase de mantenimiento es descubrir a tiempo las fallas con el fin de saber en qué momento se pueden reducir o repararlas, es clase de mantenimiento es una de las más usadas, pero a la vez requiere un buen sistema de información, con el fin de tener la información más adecuada de cuando hay que intervenir un equipo. Los elementos básicos del mantenimiento preventivo son:

- Inspección del equipo.
- Tiempo de ejecución de la inspección
- Control a la inspección.

Las razones principales para ejecutar un mantenimiento preventivo son:

- Prevención de las fallas
- Detectar el inicio de una falla
- Detección de fallas ocultas.

Las principales ventajas de esta clase de mantenimiento es lograr aumentar la disponibilidad de los equipos en una organización, y a la vez reducir drásticamente aquellos tiempos que no le generan ganancias a las organizaciones, con una buena organización y buena planificación se logran reducir los costos en mantenimiento, dado que solo se tiene lo estrictamente necesario en los stocks de repuestos en una planta, además puede garantizar no hacer reparaciones repetitivas, además se pueden clasificar en varios ítems:

- La importancia que tenga un equipo en una línea de producción.
- La complejidad que los mantenimientos tengan.
- El grado de conocimiento que se tenga de los equipos y de las actividades a realizar.

### **2.3 MANTENIMIENTO PREDICTIVO**

Este tipo de mantenimiento se basa en el monitoreo de variables que representan la condición en la cual se encuentra un equipo, y la predicción del comportamiento de estas variables con base a modelos matemáticos, estadísticos, proyectistas, multivariantes, etc. También se basa en que todas las posibles fallas que se presentan en un equipo se pueden producir lentamente y no son fáciles de detectar, por esto es necesario contar con sistemas de información que permitan determinar, en qué estado se encuentra y atacar las fallas a tiempo antes de que estas se presenten, y generen retrasos o paradas que se pudieran corregir a tiempo

También asocia actividades como monitoreos mediante análisis de vibraciones, termografías, análisis de aceite, entre otras. Las cuales permiten ya sean con imágenes gráficas como espectros de los equipos, saber en qué parte en específico se van generando las fallas y atacarlas a tiempo, como observar fisuras, altas temperaturas y daños en algunos componentes, que a simple vista no son detectables.

La dificultad que representa el mantenimiento predictivo son los altos costos de implementación de sistemas de monitoreo y del adiestramiento del personal ejecutor de las tareas de monitoreo, y contar con una base de datos bien complementada con el fin poder determinar variables como confiabilidad y disponibilidad de los diferentes equipos a los que se les puedan realizar este tipo

de mantenimiento, en estas bases de datos requiere de varias actividades las cuales van enfocadas a recopilación de información como lo son:

- Que tan aleatorias son las fallas que se puedan presentar.
- Que tan frecuente estas fallas se pueden presentar
- Que tan necesario es realizar actividades repetitivas de mantenimiento.
- Bajos índices de calidad y de producción.
- Altos consumos energéticos

## **2.4 MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM)**

RCM es un proceso que permite asegurar que los activos continúen ejerciendo las labores para las que el usuario las ha encomendado en su contexto presente de operación.

Este tipo de mantenimiento se basa en la disponibilidad de los equipos, a partir de la definición de su criticidad, y apoyado en los sistemas de información. Brinda criterios adecuados para determinar en qué momento se deben ejecutar las rutinas de mantenimiento, adicionalmente brinda herramientas a los operadores para ejercer las actividades dentro de un plan de mantenimiento, como muchos mantenimientos surge por la necesidad de obtener mejores resultados en las labores de mantenimiento, es específico esta clase de mantenimiento nace en la industria aeronáutica, y asocia criterios de mejoramiento continuo, estándares de operaciones y de calidad, monitoreos de variables medibles, también asocia la calidad del personal el cual tiene como labor no solo operar si no mantener los diferentes activos de una empresa.

Los objetivos de RCM son los siguientes:

- ✓ Eliminar fallas de los equipos
- ✓ Obtener una fuente de información en tiempo real del estado de los equipos con lo que se cuenta.
- ✓ Hacer una reducción óptima de los costos de reparación.
- ✓ Tener bases con el fin de poder anticipar las fallas y posteriormente poder planificar las intervenciones con el fin de minimizar averías.
- ✓ Incrementar la vida útil de los equipos, y tener una mejor organización y optimización de los recursos con los que se cuentan.

Cuáles son las ventajas de implementar un RCM:

- ✓ Generar una conciencia de trabajo en equipo.
- ✓ Aumentar los estándares de seguridad tanto de los equipos como del personal.
- ✓ Integrar todas las labores de mantenimiento y hacer una planeación estructurada de mantenimiento preventivo.
- ✓ Generar una filosofía de aprendizaje y de capacitación a todas aquellas personas que estén tanto directa como indirectamente relacionadas con las labores de mantenimiento.
- ✓ Implementar procesos de mejora y de estandarización.

## **2.5 INSPECCION BASADA EN RIESGO (RBI)**

Es una metodología, que tiene como objetivo principal, identificar, evaluar y determinar cuáles son los riesgos, que están asociados, a la integridad de todos aquellos activos ya sea maquinas, equipos estáticos y herramientas, con el fin de evaluar su grado de criticidad y poder planear programas que permitan hacer inspecciones programadas.

Para entrar de lleno a RBI, es necesario conocer a fondo que es el riesgo y como poder disminuir su impacto en la organización.

El riesgo es la suma, de todas aquellas probabilidades que se pueda dar un acontecimiento negativo durante un tiempo determinado, multiplicado por las consecuencias generadas por el acontecimiento en cuestión es decir:

$$\text{Riesgo} = \text{Probabilidad} * \text{Consecuencia}$$

Ahora bien se puede evaluar el nivel del riesgo mediante el cálculo de la frecuencia de falla de todos aquellos equipos que se van a someter a este análisis, es bueno remarcar que también es necesario evaluar todas aquellas consecuencias económicas, medio ambientales, operativas y de talento humano, con el fin de que ninguno de estos se vean comprometidos.

Para tener éxitos en el proceso de inspección basada en riesgo, es necesario contar con una serie de elementos que permitan tener herramientas de análisis y de estudio como lo son:

- Base de datos de los equipos a analizar.
- Valoración de riesgo, tanto económica, técnica y operativa
- Planes y rutinas de inspección.
- Una matriz con los resultados obtenidos por las inspecciones.

Esta metodología analiza desde un punto de vista muy generalizado aspectos como:

- ✓ Analiza sistemas que estén sometidos a corrosión
- ✓ Comportamiento histórico de las fallas.

- ✓ Cuáles son los modos de falla deterior y degradación.
- ✓ Características de los diseños de los equipos
- ✓ Condiciones operacionales
- ✓ Planes de mantenimiento e inspección.

## **2.6 TPM (TOTAL PRODUCTIVE MAINTENANCE).**

Más conocido como Mantenimiento Total Productivo, es una metodología o filosofía que nace en Japón en los años 70's, más exactamente en la empresa TOYOTA, y se como consecuencia de la necesidad de mejorar los procesos y la calidad, adicionalmente por la necesidad de optimizar los costos, puesto que en esos años había una latente recesión económica.

Esta metodología se soporta, con 8 pilares que permiten y aseguran el éxito y la mejora, con actividades organizadas y sistemáticas, que permiten el uso eficaz y eficiente de todos los recursos de una organización.

### **2.6.1 Mejoras Enfocadas.**

El primer pilar de TPM, tiene como principal objetivo, abordar los problemas y llegar mediante esta metodología a la causa raíz y poder proyectar metas a futuro, esto lo hace mediante una serie de metodología encaminadas y direccionadas con el fin de poder identificar los posibles factores de mejora, definir el tiempo que puede tardar en ser mejorados y que beneficios trae esto en una organización, también fomentan y da pautas para facilitar la transferencia de conocimiento que tiene cada uno de los individuos de un departamento, con el objetivo de generar una cultura de educación y de ampliación del conocimiento, esto permite no solo la mejorar de los procesos si no también la mejora del talento humano en una organización.

El norte de las mejoras enfocada es mejorar cada uno de los aspectos en una organización como lo son sus procesos, sus procedimientos, la maquinaria con que se cuenta y a la vez los componentes que cada uno de los equipos, como lo hace; mediante un procesos de detección de pérdidas o reprocesos, este pilar permite no solo identificarlo, si no también generar planes de acción que permiten de alguna manera, eliminar el impacto y fortalecer sus estándares de calidad y de confiabilidad o eliminar todo aquello que no genera valor a la organización.

### 2.6.2 Mantenimiento Autónomo.

Este pilar se centra, principalmente en los operadores, generando una conciencia no solo de operador si no también una conciencia de mantenedor, esto con el principal objetivo de mediante el conocimiento que día tras día los operarios adquieren de un equipo, esto se hace dado que mediante este modo se puede alargar la vida útil de los equipos en las áreas en donde se implemente TPM.

Este pilar, asocia una serie de actividades que son rutinarias, en las que se destacan actividades como inspección visual, limpiezas diarias, inspecciones, cambios en los Set ups, cambio ya sea de piezas como de herramientas de trabajo, algunas intervenciones menores en los equipos o en los componentes, ahora bien para poder sacar jugo al mantenimiento autónomo es necesario hacer otras actividades que permiten el mejor aprovechamiento no solo del talento humano si no también, de los elementos alrededor, para esto es necesario tener una serie de pasos que permiten el éxito como lo son:

- Organización y orden de las cosas.
- Limpieza.
- Eliminar de fallas
- Estandarización de actividades rutinarias.
- Inspección de los equipos.

- Inspección de los procesos.
- Estandarización general de todos los procesos.
- Control.

Mezclando todos los pasos anteriormente mencionados, mantenimiento autónomo permite tener un mayor control de actividades y de espacios con el fin de obtener el máximo desempeño tanto del talento humano como de los equipos, adicionalmente se pueden prevenir, averías, paradas prolongadas y reduce el costo de mantenimiento.

### 2.6.3 Mantenimiento Planeado.

El objetivo del mantenimiento planeado, es lograr alcanzar un equilibrio en el beneficio – costo en las actividades de mantenimiento de los equipos, este mantenimiento asocia una gran cantidad de actividades que son previamente programadas, encaminadas a mejorar la productividad no solo de las plantas sino también de los procesos, busca fundamentalmente lograr lo siguiente:

- Lograr cero averías.
- Cero accidentes en las áreas de trabajo.
- Cero defectos en los procesos.
- Cero gastos innecesarios.
- Cero derrames y cero contaminación al medio ambiente.

Para poder cumplir con todas estas actividades, es necesario contar con un talento humano muy bien calificado, que tenga las competencias necesarias para afrontar, cada uno de los desafíos y dar solución a las adversidades, todo esto tiene como norte lograr una reducción sustancial en los costos asociados a mantenimiento, tiempos excesivos de mantenimiento, respuesta oportuna frente a una falla y eliminación de fallas.

#### 2.6.4 Capacitaciones.

Este pilar se centra, en no solo la transferencia del conocimiento de las personas más experimentadas en los departamentos, si no también que el personal se complemente ese conocimiento empírico con conocimiento técnico, que permita el libre desarrollo del conocimiento en los integrantes del grupo de trabajo, el principal aporte que genera este pilar en las organizaciones, son:

- El formar cada vez más personal más altamente calificado.
- Estimula el desarrollo del conocimiento en el personal.
- Desarrollo de departamentos cada vez más capacitados.
- Mejoras en la calidad del trabajo del personal.
- Autosatisfacción por parte de los empleados.
- Ambientes de trabajo cada vez más cómodos para los miembros de la organización.

#### 2.6.5 Control inicial

Este pilar se sustenta, en la puesta en marcha todo lo anterior, de poner en práctica las lecciones aprendidas en los pilares anteriores, que se obtiene de poner en práctica todo lo aprendido, que permite hacer una reducción sustancial del deterioro de los equipos en una organización, optimizar todos los costos que se asocian a mantenimiento.

Una de las ventajas que trae este pilar es que permite que los arranques de los equipos sean más óptimos y confiables, que a la hora que un equipo de su arranque este sea rápido, eficaz y que se establezca en el menor tiempo posible, y que estas condiciones operacionales se mantengan en regímenes de alta calidad.

Los avances que se pueden lograr con este pilar se pueden ver reflejado en que se puede contar con maquinaria más confiable, con una facilidad a la hora tanto de operación como de labores de mantenimiento y que sean seguros para todo el personal.

#### 2.6.6 Mejoras de Calidad.

Este pilar se centra fundamentalmente, en las políticas y en las normas de calidad que la organización se proyecta a seguir y a cumplir, este pilar proyecta en poder pautar condiciones en los equipos que permitan obtener el cero defectos en sus procesos, y busca mediante sus procesos medir y asegurar las políticas de cero defecto y mantenerlas en regímenes operativos constantes, esto permite tener operaciones cada vez más seguras limpias y con el menor número de defectos.

Este pilar se sustenta en cuatro bases fundamentales las cuales son:

- Evitar la aparición de defectos, asegurando que cada una de las maquinas que intervienen en los procesos estén en condiciones operacionales de cero defectos, y que los regímenes de operación estén en los estándares técnicos de los equipos.
- Que todas las labores de mantenimiento se enfoquen, en el aseguramiento del cumplimiento de cero defectos.
- Llevar un control de anomalías presentes en los equipos, con el fin de poder monitorear y evitar que se salga de la política de cero defectos.
- Hacer análisis de causa raíz, en cada uno de los elementos o equipos los cuales, pueden tener una alta incidencia en el control de cero defectos, y optimizarlos para poder asegurar la calidad en los productos o servicios y llevar un control detallado de cada uno de estos elementos.

### 2.6.7 TPM en los departamentos de apoyo.

Para que TPM tenga éxitos es necesarios que, desde la alta gerencia se tenga la concepción y la visión para brindar el apoyo necesario a las áreas en donde se va a implementar, es decir que todos los departamentos pasando por administración, recursos humanos, producción, mantenimiento, calidad, etc. Den su granito de arena en el apoyo tanto logístico como de recursos, el objetivo es lograr tener un equilibrio entre todos los departamentos que conformar la cadena del valor de la organización y generar actividades de soporte a las áreas de implementación.

### 2.6.8 Seguridad, Higiene y Medio Ambiente.

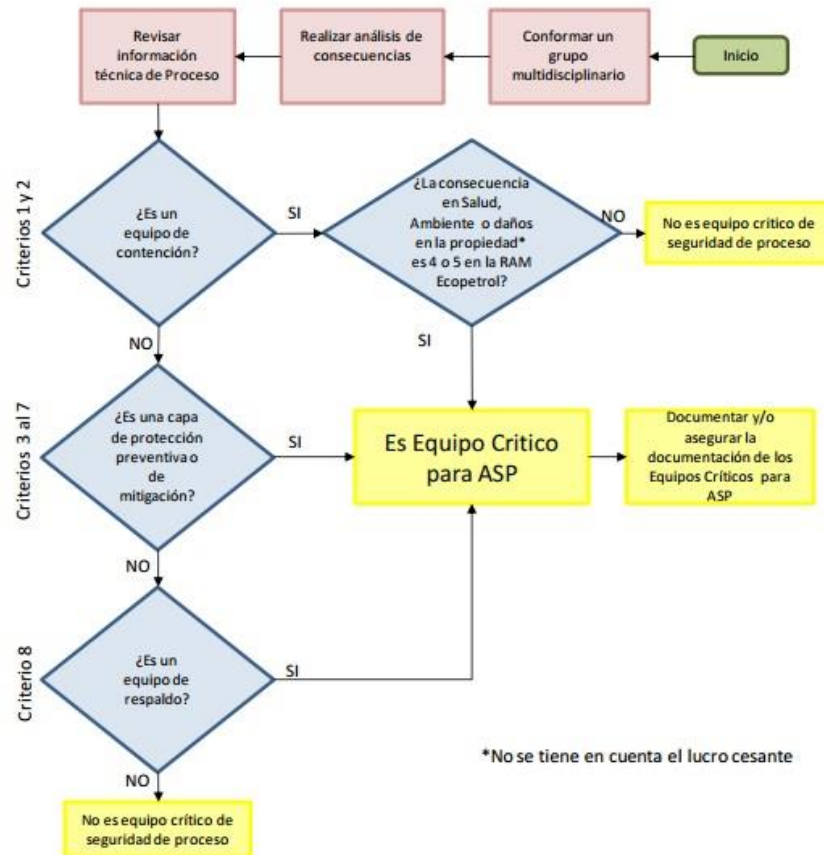
Este pilar se fundamenta en todas las políticas, gubernamentales que se refieran al uso adecuado del manejo de desperdicios, el aseguramiento del talento humano y la higiene en todas las áreas de incidencia, este pilar busca llevar las áreas de trabajo a ser zona de alto confort , limpios, seguros y aseados, con el fin de reducir el impacto ambiental y a si mismo asegurar sistemáticamente la seguridad de todos los trabajadores, y generar áreas de producción seguras con el fin de sacar el mejor provecho de los equipos y del personal, adicionalmente busca optimizar los espacios de trabajo, el uso adecuado de los equipos y herramientas, todo esto pretende llegar a cumplir con políticas de cero accidentes de trabajo y evitar de ante mano cualquier tipo de contaminación al ambiente ya sea por derrames, por expulsión de gases al ambiente, o por ruidos o vibraciones.

## **2.7 ANÁLISIS DE CRITICIDAD**

Es la metodología que brinda herramientas que ayudan a establecer cuáles son los equipos de más alto impacto en la organización, desarrollando estructuras que ayuden a la toma de decisiones encaminadas aprovechamiento de todos aquellos recursos con los que se cuentan, y que son necesarios para el mejoramiento de

las condiciones operacionales de un equipo, para poder establecer cuáles son los equipos más críticos, es necesario partir ya sea de matrices o de modelos, que permitan poder relacionar o interactuar, todos aquellos aspectos que generan un alto impacto en la organización.

Figura 15. Identificación de sistemas, equipos o componentes críticos para ASP



Fuente: Procedimiento para identificar componentes, equipos y sistemas críticos de seguridad de procesos. ECOPETROL S.A.

Tabla 3. Matriz RAM.

COLOR	RIESGO	TOMANDO DECISIONES	PARA EJECUTAR TRABAJOS
VH	Muy Alto	Intolerable.	Buscar alternativas. Si se decide hacer el trabajo, la alta dirección (Vicepresidente o Director) define el equipo para la elaboración del ATS y lo aprueba.
H	Alto	Deben buscarse alternativas que presenten menor riesgo. Si se decide realizar la actividad se requiere demostrar cómo se controla el riesgo y los cargos de niveles iguales o superiores a Gerente, Gerente General, Gerente de Negocio o Jefe de Unidad deben participar y aprobar la decisión.	Buscar alternativas. Si se decide hacer el trabajo, el Gerente, Gerente General, Gerente de Negocio, Jefe de Unidad o Jefe de Departamento del área involucrada nombra el equipo para elaborar ATS y lo aprueba.
M	Medio	No son suficientes los sistemas de control establecidos; se deben tomar medidas que controlen mejor el riesgo.	El coordinador nombra el equipo para elaborar ATS y lo aprueba.
L	Bajo	Se deben gestionar mejoras a los sistemas de control establecidos (procedimientos, listas de chequeo, responsabilidades, protocolos, etc.).	Efectuar Tres Ques: <ul style="list-style-type: none"> <li>• ¿Qué puede salir mal o fallar?</li> <li>• ¿Qué puede causar que algo salga mal o falle?</li> <li>• ¿Qué podemos hacer para evitar que algo salga mal o falle?</li> </ul>
N	Ninguno	Riesgo muy bajo, usar los sistemas de control y calidad establecidos (procedimientos, listas de chequeo, responsabilidades, protocolos, etc.)	

Fuente: Uso de la matriz de valorización de riesgos - RAM. ECOPETROL S.A.

Al aplicar la metodología vista en la figura anterior, se puede identificar claramente cuáles son los equipos más críticos en la organización, y de esta manera poder enfocar los planes de mantenimiento con el fin de que generen el menor impacto y poder establecer las programaciones, las órdenes de trabajo y la rutinas más acordes con las necesidades de operación.

## 2.8 GESTION INTEGRAL POR PROCESOS (GENOMA)

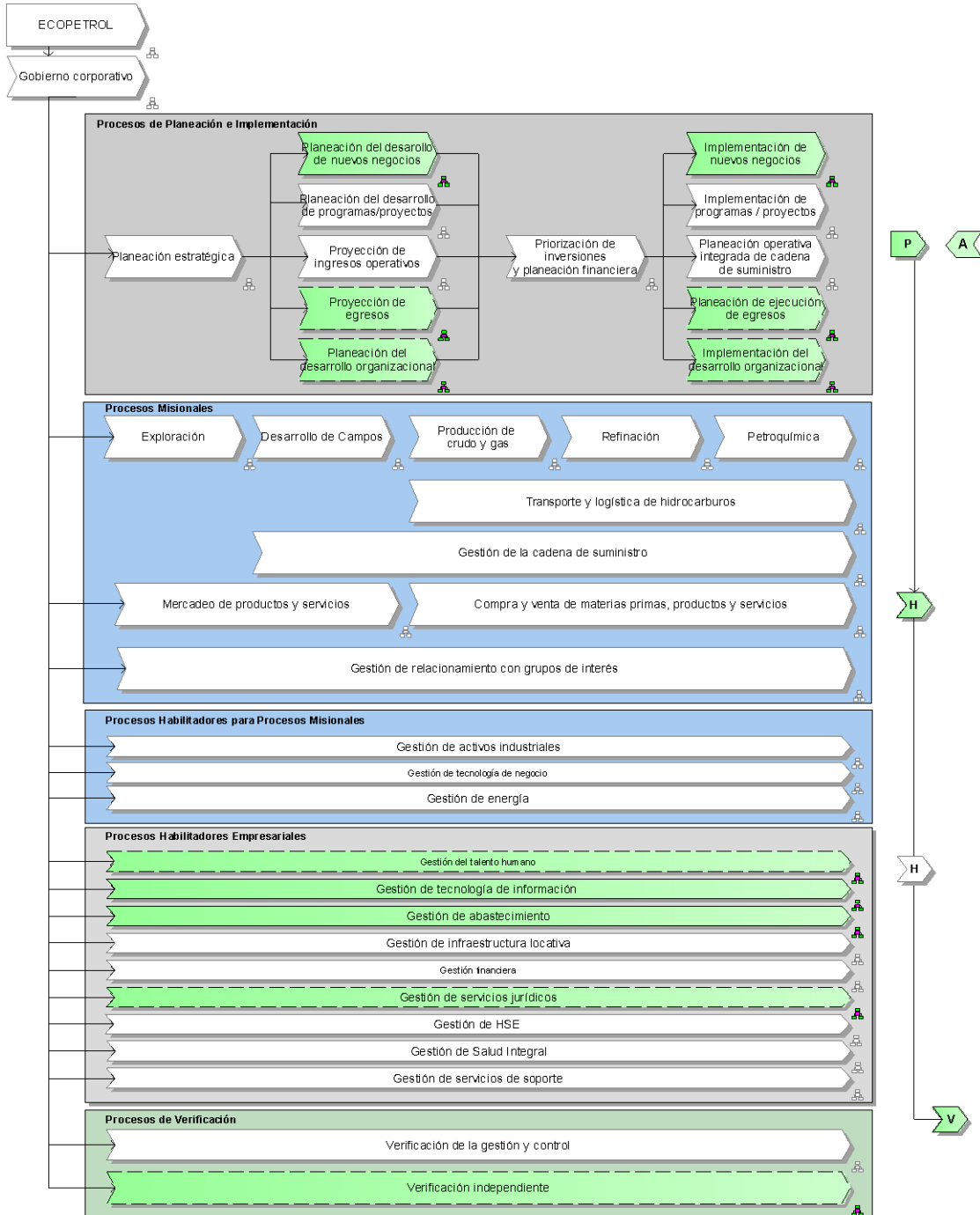
La tendencia actual de Ecopetrol S.A. es migrar hacia la gestión de todos sus procesos enmarcados en un Sistema de gestión y control integral basado en procesos, denominado GENOMA, su implementación da inicio en Diciembre de 2009. Bajo este Sistema Integral, se busca la estandarización, simplificación e integración de los procesos y funciones de los diferentes actores que intervienen

en la compañía, con el fin de mejorar estándares de la productividad y mejorar la calidad de vida de todas las personas.

Se puede definir GENOMA, como el norte de la organización, en donde todos sus procesos están encaminados y acoplados como un todo y permite definir cada una de las actividades y procesos que se deben realizar, y proyecta la gestión integral de los procesos, lo cual permita la transparencia en sus actividades y la optimización de los recursos.

GENOMA posee 4 pilares que se llevan a cabo los cuales son; procesos de planeación e implementación empresarial, el cual permite que se definan y que a la vez se ajusten que se asegure cada uno de los procesos que se llevan a cabo en ECOPETROL S.A. También hay un proceso misional que tiene como fin visualizar de una forma clara cuál es la cadena de valor de la empresa. Los habilitadores tienen como función principal la labor de administrar todos los recursos y también incorporar nuevos en pro del mejoramiento de los procesos, y finalmente la verificación tiene como fin ver que todo lo anterior se cumpla mediante controles, manejo de indicadores y análisis de las actividades.

Figura 16. Estructura de Gestión Integral por Procesos (GENOMA) en Ecopetrol S.A.

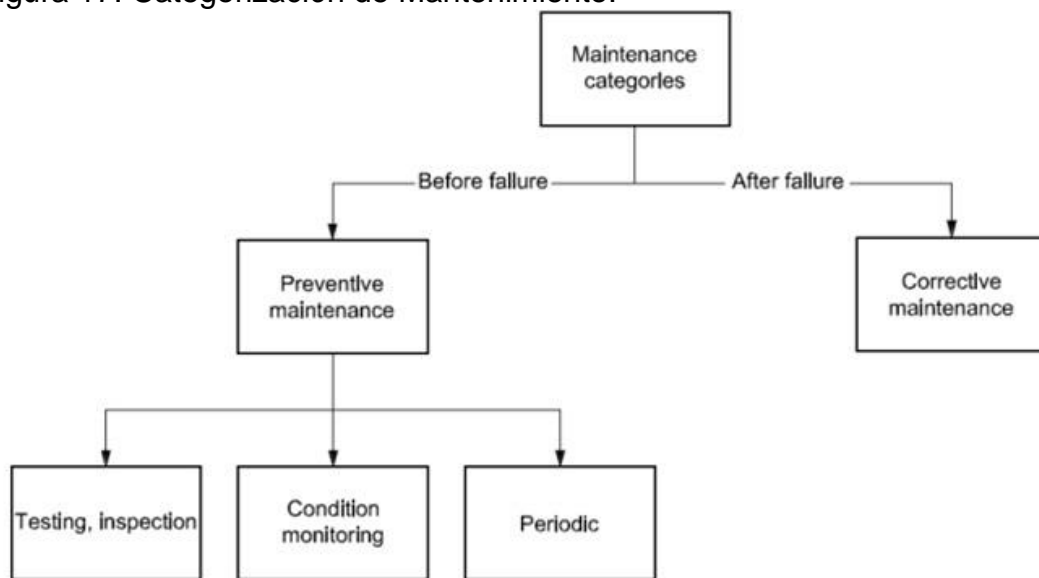


Fuente: ECOPETROL S.A.

El mantenimiento no es ajeno a esta tendencia corporativa, y como tal, se enmarca dentro del pilar de la gestión integral y está definida como un proceso transversal a los macro procesos de producción, exploración, refinación, etc.

La gestión de procesos en cuanto al área de mantenimiento, integra los parámetros establecidos en la Norma ISO 14224 del 2006, en cuanto a la categorización de las actividades de mantenimiento.

Figura 17. Categorización de Mantenimiento.

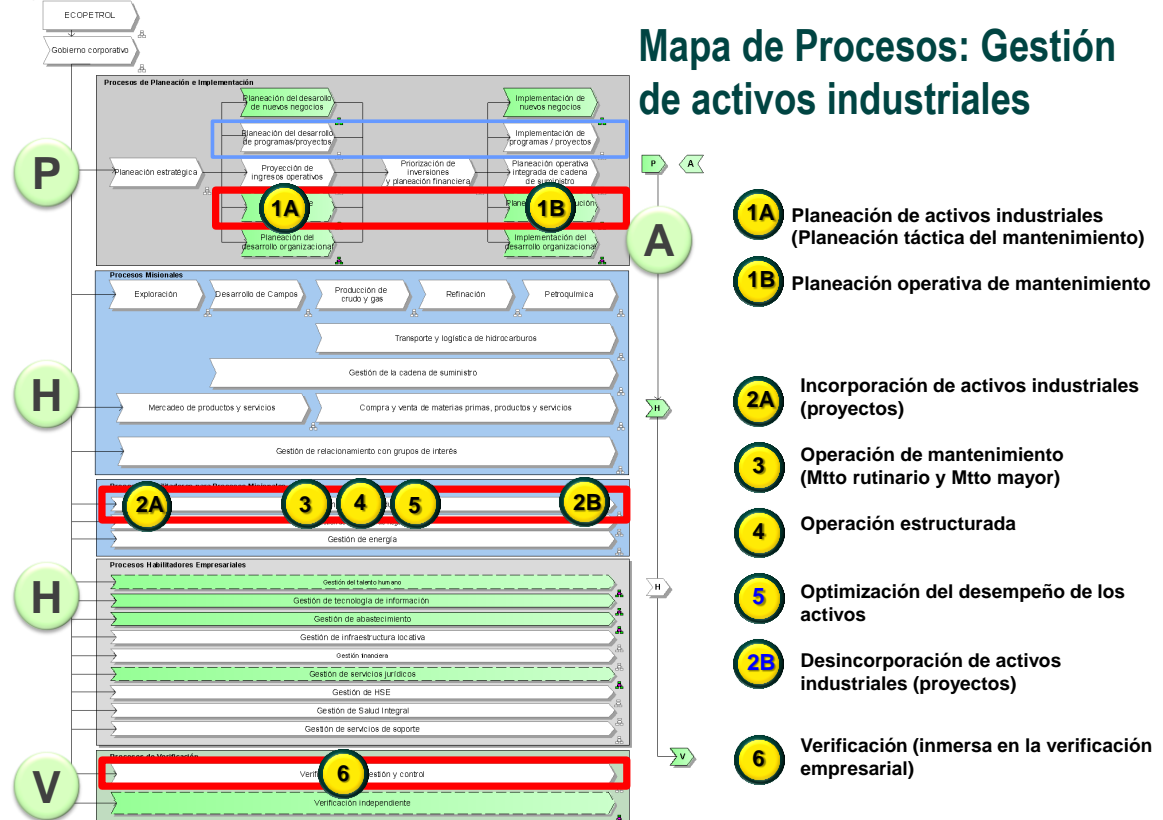


Fuente: ISO 14224:2006 (Identical), Petroleum, Petrochemical and Natural Gas Industries—Collection and Exchange of Reliability and Maintenance Data for Equipment.

Es por tal motivo, que el desarrollo de nuestra estrategia de mantenimiento para el bloque CSE debe estar contextualizada y alineada con esa tendencia buscando precisamente facilitar el mantenimiento mediante procesos más simples, integrados y estandarizados, que permitan a su vez la interrelación eficaz con los diferentes actores, llámese producción, exploración, refinación, etc. y la correcta y clara asignación de funciones a los mantenedores alejándolos de distracciones y tareas que no son propias de la gestión de activos, GENOMA también busca la

delimitación de las responsabilidades tanto de los departamentos como de los trabajadores, con el fin de hacer un mejor aprovechamiento de los recursos.

Figura 18. Mapa de procesos – Gestión de activos industriales



Fuente: ECOPETROL S.A.

### 3. PROPUESTA.

#### 3.1 ALCANCE DE LA PROPUESTA

Tras el contexto dado en el marco conceptual, en el cual se introdujo a la problemática actual del campo y la transición que se está viviendo con el paso de un campo de una etapa exploratoria a una etapa de desarrollo, y una conformación de un equipo, como es la Superintendencia de operaciones Caño Sur y sus departamentos de producción, mantenimiento y gestión integral de riesgo, equipo este encargado de la gestión y administración del campo y sus activos tanto industriales como no industriales, abrimos campo al planteamiento de nuestra propuesta, encaminada a definir una estrategia clara y un mapa de ruta para la gestión del mantenimiento de los activos físicos industriales del campo Caño Sur.

De las primeras precisiones que debemos hacer previo al desarrollo de la presente propuesta, es definir claramente que entendemos por estrategia y su propósito, y por otro lado, distinguir entre estrategia de mantenimiento de activos físicos y estrategia de gestión de activos físicos, ya que a partir de esta diferenciación definiremos el alcance de la presente propuesta.

En primera instancia, una estrategia según la Real Academia de la Lengua es “*En un proceso regulable, conjunto de las reglas que aseguran una decisión óptima en cada momento*”<sup>11</sup>. Entendiendo lo que es una estrategia, debemos asegurarnos de contar con los elementos dentro de nuestro contexto operacional, para tener claridad del camino a seguir en la definición de dicha estrategia. Lo primero que debemos tomar es el concepto de “proceso”, ya que tal como se describió en el marco teórico, con el sistema de gestión integral GENOMA, el mantenimiento en Ecopetrol S.A. está enmarcado dentro del macroproceso de “gestión de activos

---

<sup>11</sup> RAE

industriales”, es decir que partimos del hecho de que ya es visto como un proceso, el cual es habilitador de la misión de la compañía.

Por otro lado, las “decisiones óptimas” y las “reglas para su aseguramiento” es lo que podemos llamar el “que” y el “como” de la estrategia. Para esto, tengamos en cuenta que lo que podemos llamar “decisiones óptimas” en este contexto, es el conjunto de metas u objetivos que perseguimos con la estrategia de mantenimiento, que están establecidas desde el sistema de gestión integral GENOMA, pero que deben ser “aterrizadas” de acuerdo a las particularidades y contexto operacional del Campo Mago del Bloque Caño Sur Este. A su vez, la estrategia debe garantizar que todas las herramientas estén y se encuentren alienadas y organizadas para asegurar los mejores resultados siempre, de manera sistemática y estandarizada, que en este contexto serían las “reglas para el aseguramiento”.

Entendiendo lo que es la “estrategia”, ahora debemos definir y dar claridad entre gestión de activos y gestión de mantenimiento. La gestión de activos físicos como lo define la norma PASS 55 se refiere a “...las actividades coordinadas de una organización para sacar el mayor valor de sus activos...”<sup>12</sup>, y un activo físico lo define como “...algo que tiene un valor potencial o real para una organización...”<sup>13</sup>. Bajo el contexto de la PASS 55 o ISO 55000, por “actividades coordinadas de una organización” se entiende al conjunto de interrelaciones entre diversos actores de una compañía, desde el área de mantenimiento, pasando por el área financiera, área de contabilidad, área de operaciones, área de gestión riesgos y salud ocupacional, área de talento humano, área de gestión documental, área de gestión ambiental, entre otras, todas ellas enfocadas bajo un mismo sistema integral de

---

<sup>12</sup> Asset Management – an anatomy - IAM

<sup>13</sup> Asset Management – an anatomy - IAM

gestión, encaminadas a sacar el mayor provecho a un activo físico industrial<sup>14</sup>. Por su parte, la gestión de mantenimiento es un elemento dentro de esa cadena conjunta de interrelaciones de la gestión de activos, cuyo enfoque clásicamente ha estado direccionado a garantizar los parámetros definidos de confiabilidad, disponibilidad, mantenibilidad y seguridad de los activos (RAMS)<sup>15</sup>.

Bajo esta visión, la presente propuesta no pretende definir las interrelaciones con las distintas áreas de la compañía, que son requeridas por la PASS 55 o la ISO 55000, ni definir los requisitos o los pasos a seguir para garantizar el alineamiento con los 39 ítems definidos en la PASS 55<sup>16</sup>, sino que su alcance se limita a definir y hacer énfasis en el “que” y el “como” de la “gestión de mantenimiento” en el campo Mago, dentro del ciclo de vida de los activos (“incorporar activo – operar activo – **mantener activo** – desincorporar activo”), y bajo el marco definido en el proceso nivel 1 de “gestión de activos industriales” de Ecopetrol, representado en la Figura 19 (Operación de mantenimiento y Optimización del desempeño)

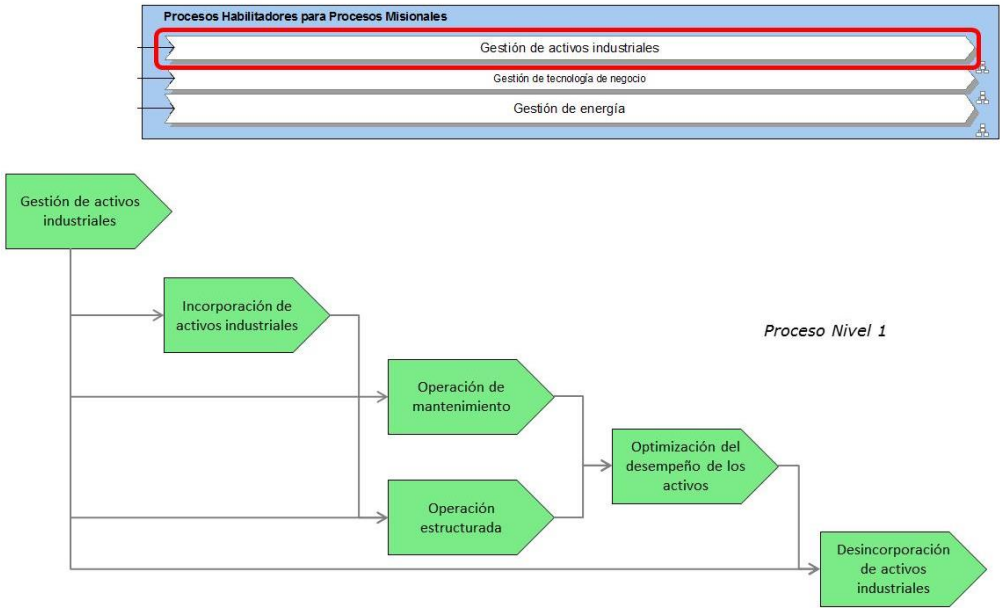
---

<sup>14</sup> Se hace la distinción de “activo físico industrial”, ya que para Ecopetrol también existe el “activo físico de producción”, que hace referencia a los yacimientos, reservorios y en generales activos de subsuelo que hacen parte de la compañía.

<sup>15</sup> Reliability, Availability, Maintainability and Safety, Asset Management – an anatomy - IAM

<sup>16</sup> Asset Management – an anatomy - IAM

Figura 19. Gestión de activos industriales – Proceso habilitador de procesos misionales de Ecopetrol S.A.



Fuente: ECOPETROL S.A.

## **3.2 OBJETIVOS DE LA PROPUESTA**

### **3.2.1 Objetivo general**

Proponer un modelo gerencial para el mantenimiento de los activos del bloque Caño Sur Este de Ecopetrol S.A. de acuerdo con la necesidad actual y las propuestas de operación a mediano plazo.

### **3.2.2 Objetivos específicos:**

3.2.2.1 Determinar el modelo apropiado para la gestión del mantenimiento del bloque Caño Sur Este, a partir del análisis comparativo de distintas filosofías actualmente validadas, y alineado con la reciente política de Gestión Integral por Procesos (GENOMA) de Ecopetrol S.A. y el proceso de gestión de activos.

3.2.2.2 Proponer un cronograma para la implementación del modelo en el bloque Caño Sur Este y los recursos asociados a su implementación.

3.2.2.3 Identificar y cuantificar los beneficios esperados de la posible implementación del modelo de gerenciamiento para el bloque Caño Sur Este.

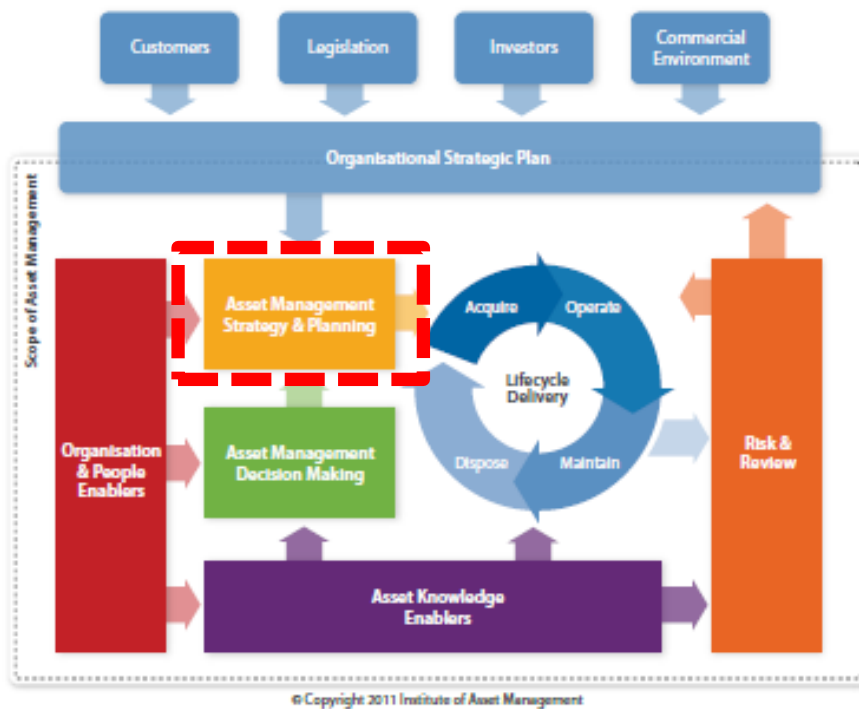
## **3.3 ESTRUCTURA DE LA PROPUESTA**

La estructura de Ecopetrol S.A. y su modelo de gerenciamiento, con la entrada en operación de GENOMA en el año 2013, tiende a tener un enfoque de gestión de activos y un alineamiento con la norma PASS-55 y el ciclo PHVA de la norma ISO 9000 (Ver Figura 16). Por tanto, sin ser expresamente su intención, muchos de los

ítems del modelo de sistema de gestión integral cubrirán el “como” de la estrategia actual que se pretende proponer para el campo Mago del bloque Caño Sur.

La presente estrategia, al ser aplicada a un campo de producción nuevo, con una gestión de mantenimiento que a la actualidad podríamos definir como “muy básica e incipiente”, no pretende ser una hoja de ruta para establecer un modelo de gestión de activos industriales como el definido en la norma PASS-55, sin embargo, su aplicación en algunos aspectos muy puntuales si es un punto de partida al ser una buena práctica que busca el aseguramiento de unos requisitos mínimos para una adecuada gestión del mantenimiento (como parte de la gestión de activos). Es por esto, que tanto el sistema integral de gestión GENOMA (Figura 19), como el modelo de gestión de activos en su grupo “Estrategia y planeación de la gestión de activos” de la PASS-55 serán una referencia a través de la presente estrategia.

Figura 20. Alcance de la gestión de activos – Grupo de ítems de estrategia y planeación



Fuente: Institute of Asset Management

Ahora bien, tras definir lo que se espera de estrategia como el “que” queremos lograr y el “como” lo vamos a lograr, en el marco de la teoría y conceptualización de los numerales 2 y 3 de la presente propuesta, definiremos a continuación el hilo conductor (o estructura) y los principales aspectos que se pretende asegurar:

1. Definir las políticas y metas de la gestión de activos en el campo Mago
2. Definir los indicadores de la estrategia de mantenimiento
3. Definir la lista de activos propios presentes en el campo Mago
4. Definir el procedimiento de codificación o etiquetado de los activos e ingreso al CMMS
5. Determinar la criticidad de los activos
6. Establecer y ajustar los planes de mantenimiento
7. Establecer el modelo de mantenimiento rutinario
8. Establecer los listados de repuestos críticos
9. Definir planes de capacitación para el recurso humano
10. Definir los recursos requeridos para la ejecución del plan

### 3.3.1 Definir las políticas y metas de la gestión de activos en el campo Mago

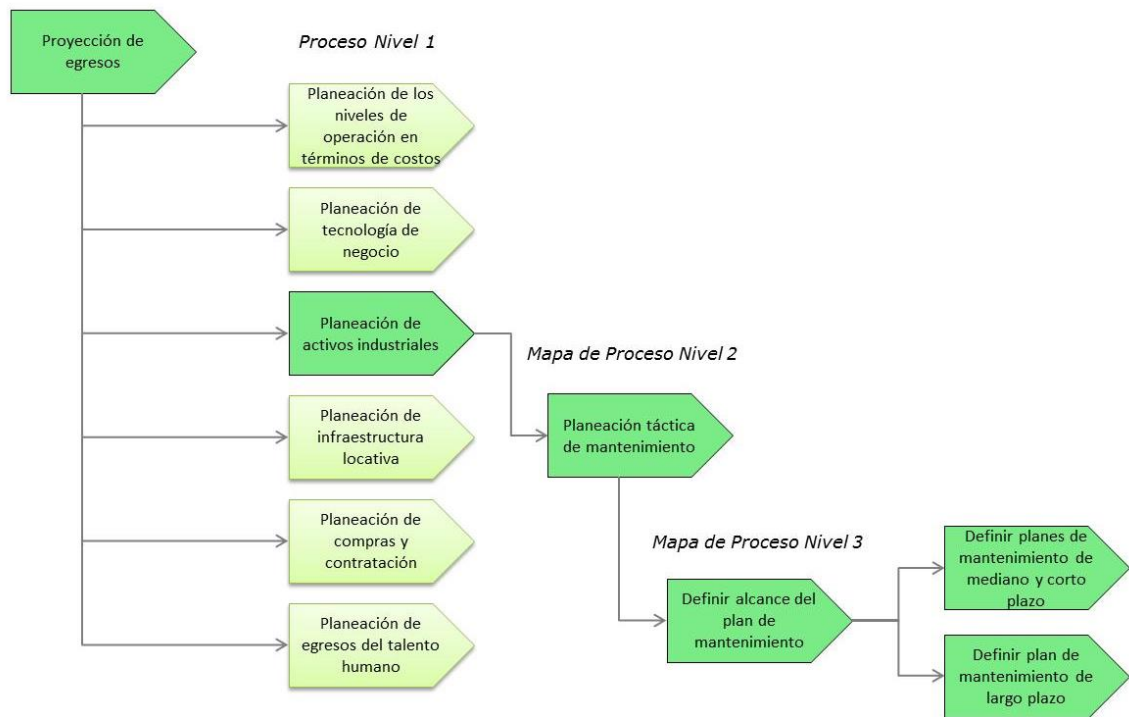
La PASS-55 en su aparte de “Estrategia y planeación de la gestión de activos” define que cualquier estrategia debe partir de fijar políticas claras (Asset Management Policy) ya que son la “piedra angular” para el enfoque que se espera de la gestión de activos. Por su parte, el SIG<sup>17</sup> GENOMA en su macroproceso de “proyección de egresos” (ver Figuras 16 y 21), solicita establecer un plan de mantenimiento de corto plazo (que es el aplicable para el campo Mago) a partir de la información básica relacionada en la figura 22, como los pronósticos volumétricos y el plan de negocio empresarial. Esta información es la clave y permitirá determinar que se espera de los equipos en términos de disponibilidad y confiabilidad mínima requerida del campo Mago, con el fin de cumplir con la

---

<sup>17</sup> SIG: Sistema Integral de Gestión

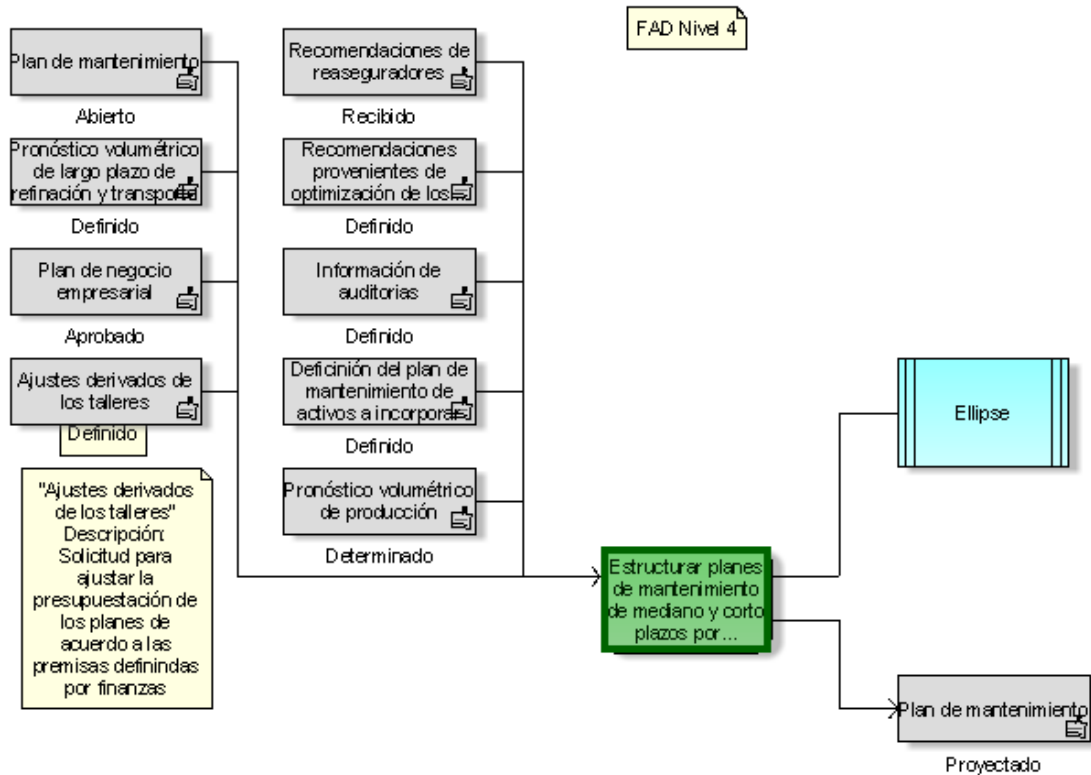
MEGA empresarial, constituyendo la meta que se desea alcanzar con el plan de mantenimiento del campo Mago.

Figura 21. Procesos de planeación e implementación – definición de plan de mto. corto plazo



Fuente: ECOPETROL S.A.

Figura 22. Entradas y salidas al proceso Nivel 4 de “estructurar planes de mantenimiento de corto y mediano plazo”



Fuente: ECOPETROL S.A.

Es importante destacar que esta política, que debe ser establecida por la jefatura del departamento de mantenimiento de Caño Sur, debe cumplir con 5 requisitos básicos definidos por la PASS-55, como son la consistencia, oportunidad, conformidad, alcance y mejoramiento continuo.

### 3.3.2 Definir los indicadores de la estrategia de mantenimiento

Se pretende definir indicadores que permitan verificar el buen aprovechamiento tanto de los recursos como del talento humano, por ende estos índices se tendrán que definir de la mano con producción y con los objetivos a mediano plazo, esta propuesta se sustenta con los siguientes índices:

- **Mantenibilidad:** Este indicador está directamente relacionado con los tiempos medios que se requieren para corregir un defecto, por ende esta estrategia recomienda que este indicador se defina con respecto a la mantenibilidad intrínseca, que en pocas palabras indica que tan fácil es ejecutar un mantenimiento y que tan accesible lo es, por lo que es necesario definir los valores máximos y mínimos de acuerdo con los estimados de producción del campo.
- **Disponibilidad:** Como el indicador anterior este también debe definirse con los estimado de producción pero también con respecto a la capacidad instalada del campo, dado que la disponibilidad habla sobre el tiempo en que un equipo puede operar sin presentar falla, por lo que se recomienda que se defina este indicador con respecto a las metas propuestas por ECOPETROL S.A.
- **Ordenes de trabajo:** Este indicador tiene como principal objetivo poder medir el número de órdenes de trabajo ejecutadas por el departamento con respecto al número de órdenes de trabajo programadas.

Ahora bien, acá no acaban los indicadores, dado que se pueden plantear más indicadores, de acuerdo con las necesidades del campo, estos son los mínimos que se consideran necesarios para la estrategia, dado que en estos relacionan tanto la operación como las labores de mantenimiento, también es necesario la evaluación periódica y la retroalimentación de los resultados y de las metas que se quieran alcanzar.

### 3.3.3 Definir la lista de activos propios presentes en el campo Mago

Si bien no es alcance de la presente estrategia incluir todos los elementos del modelo de gestión de activos, como lo es la incorporación de activos indicada por el SIG GENOMA y el modelo PASS-55 (Figuras 19 y 20), este si es un elemento

muy importante a la hora de fijar cualquier plan de mantenimiento, pues define los equipos que serán ingresados al modelo de gestión de mantenimiento.

Dado que la entrega del campo Mago a producción no incluyó un ítem de entrega de listado de equipos, es necesario consolidar un listado de equipos completo que a la fecha no se encuentra disponible y es el “input” para cualquier proceso de mantenimiento de activos industriales.

Para esto, el presente modelo de estrategia sugiere recopilar la totalidad de la información de los equipos propios del campo, incluyendo las características de los equipos de superficie ubicados en cada uno de los pozos, puesto que a la fecha solo se tiene disponible la información de los equipos propios de la facilidad Mito-1. Este levantamiento de información deberá darse teniendo en cuenta la separación entre equipos rotativos, estáticos, de instrumentación y control, y eléctricos, y deberá fijarse una plantilla que contenga las características mínimas y en lo posible las ventanas operativas y guías de control<sup>18</sup>, ya que estas permiten una adecuada gestión del riesgo que mantenimiento debe garantizar.

#### 3.3.4 Definir el procedimiento de codificación o etiquetado de los activos e ingreso al CMMS

Un aspecto importante que debe asegurarse es la correcta codificación o etiquetado de los activos para su ingreso al CMMS y para que los distintos departamentos de la Superintendencia hablen el mismo idioma sin posibilidades de error en la intervención de un activo.

Normalmente, la codificación de un activo proviene de la fase de incorporación de activos y la etapa de ingeniería detallada de un campo de producción. Sin embargo, dada la transición de proyecto exploratorio a campo en desarrollo, esta

---

<sup>18</sup> Definir en el contexto de ECP

actividad en el campo Mago no ha sido llevada a cabo. Además, después de indagar en el sistema de gestión documental de la compañía, no fue hallado un procedimiento que contenga lineamientos corporativos acerca de la codificación de activos o etiquetado (o “tagueo”) de estos. Es por eso que la presente estrategia propone un sistema de etiquetado de activos que parte de la jerarquización recomendada en la ISO 14224, numeral 5.2 (Figura 23).

Figura 23. Ejemplo de jerarquía de Equipos

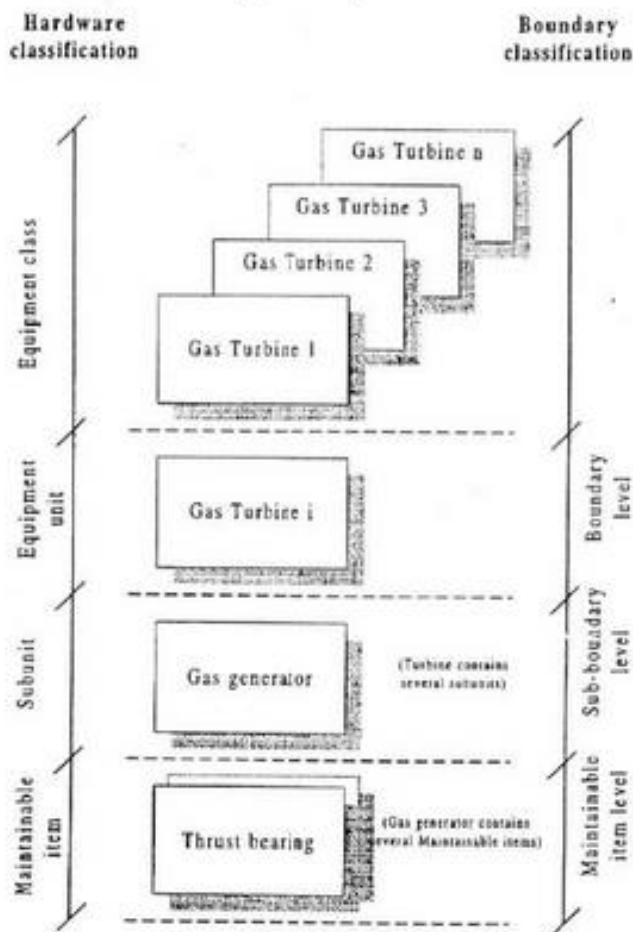


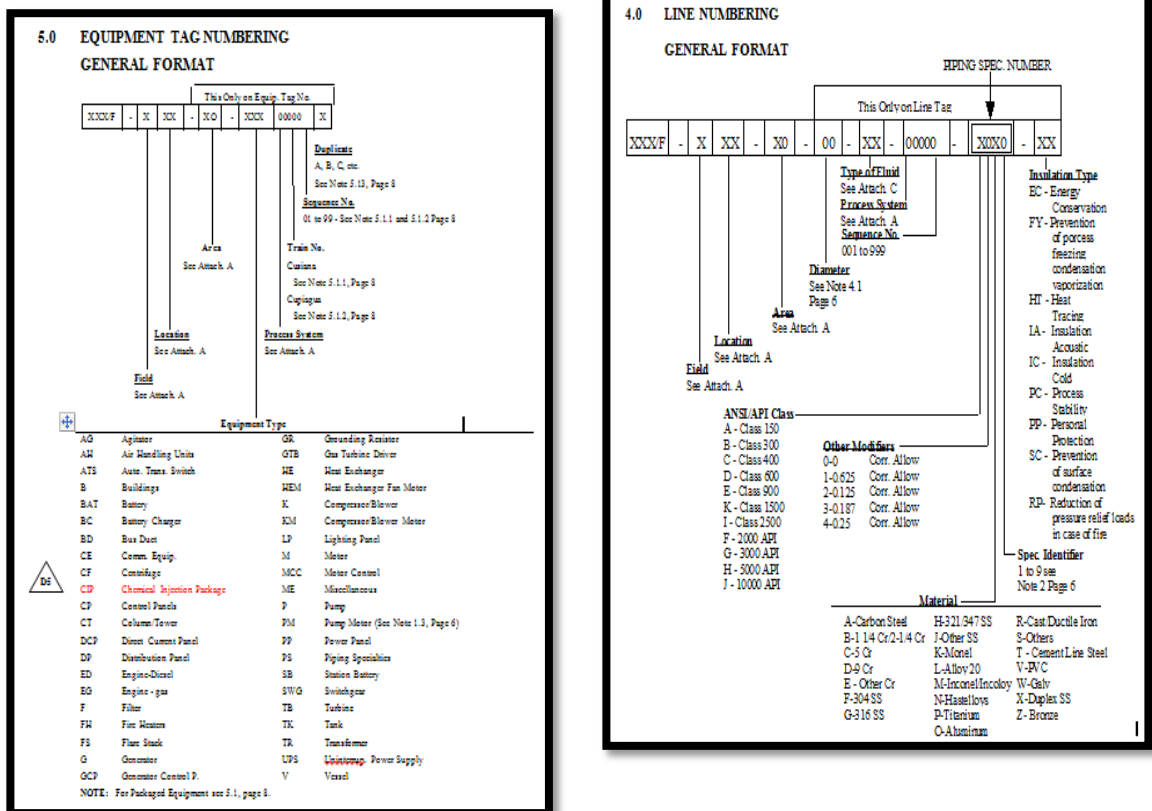
Figure 2 — Example of equipment hierarchy

Fuente: ISO-14224

Por otro lado, una de las codificaciones recomendadas es la usada por otra compañía del sector que es socio estratégico de Ecopetrol S.A. Esta codificación

debe ser validada por el área de gestión documental de la compañía y debe ser “aterrizada” a los requerimientos de Ecopetrol S.A. y el campo Mago, sin embargo su estructura es favorable y es reconocida como una buena práctica en el sector.

Figura 24. Sistema de numeración recomendado



Fuente: BP

### 3.3.5 Determinar la criticidad de los activos.

El primer paso que se recomienda para la determinación de criticidad, para esto se requiere partir del listado de equipos, y comparar cada equipo con respecto al flujograma de la Figura 15, en donde se expone de manera clara, cuales son los criterios con los que ECOPEPETROL S.A. define que tan crítico es un equipo, el resultado de este análisis da como resultado:

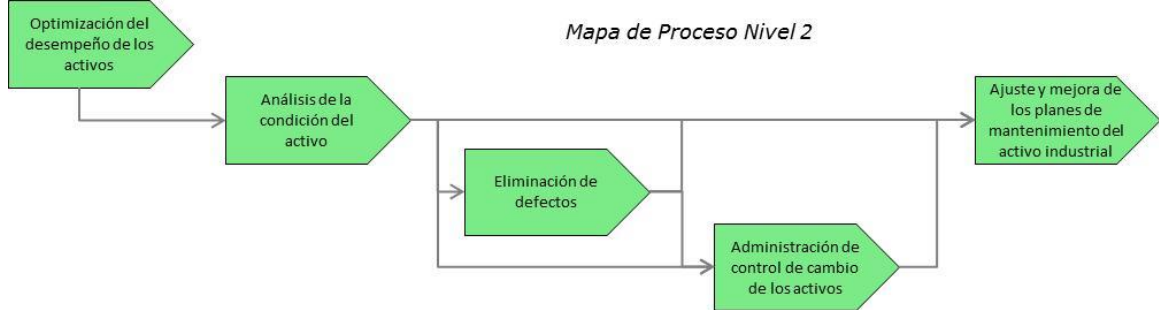
- ✓ Identificación de criticidad de acuerdo a la matriz RAM
- ✓ Cuales equipos se le va a practicar los análisis de RCM y RBI.
- ✓ A cuales equipos requieren actividades de mantenimiento preventivo.
- ✓ Definir las rutinas necesarias, con el fin de atacar las fallas de los equipos con alta criticidad y que puedan afectar la producción.
- ✓ Identificar los recursos necesarios para los equipos con alta criticidad.
- ✓ Identificar cuales sistemas requieren un equipo de respaldo.
- ✓ Determinación de la frecuencia de las fallas.

### 3.3.6 Establecer y ajustar los planes de mantenimiento

Como ha sido descrito anteriormente, el campo Mago cuenta en la actualidad con unos planes de mantenimiento básicos para algunos equipos, que parten en su mayoría de las recomendaciones de fabricante y de rutinas básicas de inspección recomendadas por estos. Sin embargo, uno de los grandes objetivos de un buen plan de mantenimiento y de la presente estrategia, es identificar las acciones que se requieren ajustar y mejorar para dar a los activos la confiabilidad y la disponibilidad requeridas. Esta acción no es más que evaluar la criticidad de los activos por seguridad de procesos, tal como ha sido descrito en 3.3.5, y la aplicación de metodologías de confiabilidad (RBI, RCM, etc) para la definición de las acciones de mantenimiento.

El modelo de gestión de activos del SIG GENOMA, en su proceso nivel 2 de “optimización del desempeño de los activos”, específicamente en su subproceso “ajuste y mejora de los planes de mantenimiento del activo industrial”, indica que se debe hacer uso de metodologías de confiabilidad de acuerdo con la criticidad a fin de mejorar el plan de mantenimiento (Figura 25).

Figura 25. Proceso nivel 2 de Optimización del desempeño de los activos



Fuente: ECOPETROL S.A.

Sin embargo, definir que técnica o metodología usar para optimizar un plan de mantenimiento requiere un análisis que tenga en cuenta aspectos de costos, tiempos, facilidad en la implementación y alineación con la estrategia corporativa. Es por esto que a continuación hacemos un análisis comparativo cualitativo de diferentes metodologías bajo esas cuatro perspectivas, a fin de determinar cuál es la más apropiada dentro de la estrategia del campo Mago.

### 3.3.6.1 Análisis Comparativo.

Teniendo en cuenta, todas las metodologías previamente consultadas, y mediante varios criterios de análisis, el primer paso es poder determinar con razones justificadas cual va a hacer el horizonte por la cual se pretende seguir, con el fin de cumplir con los objetivos previamente expuesto, para esto se necesita hacer un análisis con respecto a los siguientes criterios de evaluación.

1. Costo, en toda organización es el punto más importante de evaluación, puesto que toda acción de mantenimiento tiene un consecuencia en la operación de cualquier organización, por ende es necesario que las actividades de mantenimiento, sean lo más eficientes y que consuman el menor tiempo posible, además que sean lo más rentables posibles, teniendo en consideración que en el campo de acción en donde se está

evaluando todo tiempo de no producción, trae como consecuencia una pérdida de dinero, adicionalmente que una parada, puede generar paradas en otras áreas, lo cual afectara rotundamente la producción, y la disponibilidad de los equipos, es necesario que la estrategia de mantenimiento este direccionada hacia reducir al máximo las paradas, y que las intervenciones de mantenimiento se programen de la mano con producción para así de esta manera, optimizar cada uno de los recursos con los que se cuentan, y tener programaciones de las rutinas.

2. Facilidad de implementación, uno de los puntos más difíciles a la hora de seleccionar un rumbo a seguir, puesto que en muchos casos los modos de implementación, no son fáciles, dado que es necesario que todo personal tenga las competencias necesarias, para poder asumir los retos que la estrategia le exija, por eso es necesario que tanto la estrategia como el personal sean lo más aptos posible y que estén en la capacidad, receptiva de acogerse a dicha metodología y que sea el inicio de una simbiosis entre el personal operativo, administrativo y gerencial, con la metodología propuesta.
3. Tiempos de implementación, en el sector en el cual se está haciendo el análisis, es importante que todos los tiempos tanto de ejecución como de implementación sean los más cortos posibles y que se saquen el mejor provecho, con el fin de optimizar cada uno de los procesos que se ejecuten, por ende es necesario que, mantenimiento sea eficiente tanto a la hora de entrar a resolver un problema existente, ejecutar una rutina de mantenimiento, llevar los registros de actividades, como sus tiempos de implementación, para ser más eficaces y eficientes, por otro lado es claro que la implementación de cualquier metodología de mantenimiento, trae con ella procesos adicionales que llevan tiempo, como lo es estandarización de procesos, capacitaciones al personal, reorganización de áreas, inspección, etc. Por ende es requiere que la metodología, seleccionada sea dinámica con, el fin de que se aproveche cada instante

con el que se cuente para ser más productivos, y que el personal este tanto en la capacidad de adquirir los nuevos conocimiento, como la habilidad de ejecutar el nuevo conocimiento de forma ágil y rápida, adicionalmente, la estrategia necesita que sea de rápida implementación dado que la proyección del campo mago en su modelo de operación actual tiene previsto que a junio de 2015, la facilidad va a desaparecer por ende este modelo es a corto plazo y finalmente hay que tener la documentación necesaria, para llevar los registros tanto de avances, recomendaciones y conclusiones.

4. Alineación con la estrategia corporativa, este indicador de evaluación, tiene como principal objetivo, poder evaluar si la metodología tiene la capacidad acoplarse de la manera más rápida y efectiva, al modelo que hoy en día se está llevando a cabo en ECOPETROL S.A., es necesario resaltar que es uno de los punto de evaluación más importante, puesto que en los procesos que se están llevando actualmente, requieren una dirección enfocada al mejoramiento y que el departamento de mantenimiento haga un uso óptimo de los recursos asignados y que se lleve un control organizado de actividades, por ende es necesario que la estrategia tenga la facilidad de cargar información en el CMMS corporativo.

Tabla 4. Comparación de metodologías

	Mantenimiento correctivo	Mantenimiento Preventivo	Mantenimiento Predictivo	RCM	RBI	TPM
Costos						
Facilidad de implementación						
Tiempos de implementación						
Alineación con la estrategia corporativa						

Calificación Alta

Calificación Media

Calificación Baja

Fuente: Autores.

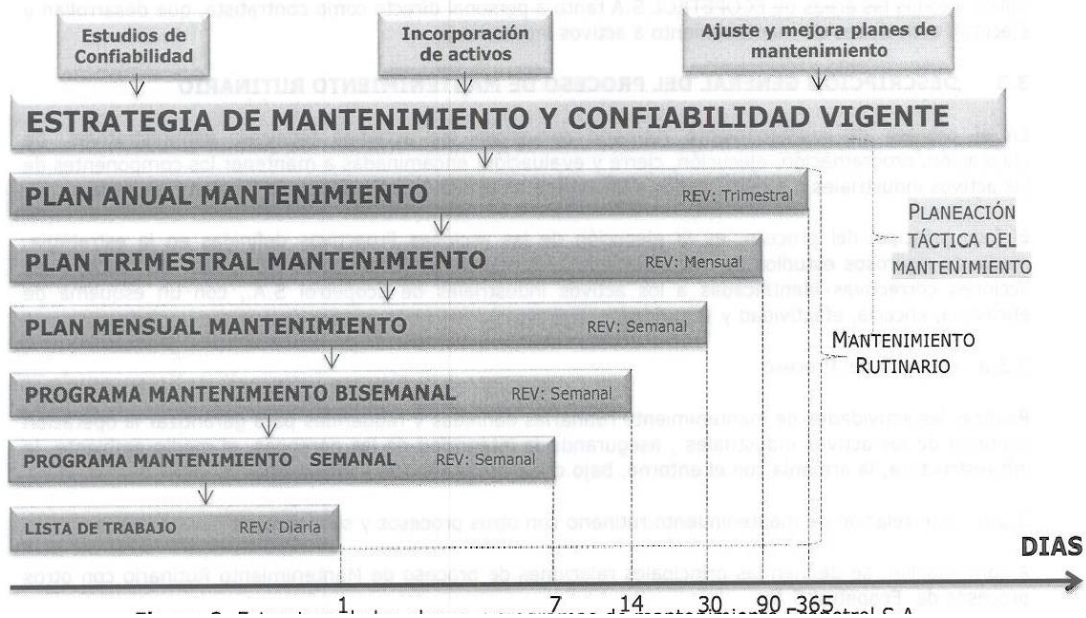


Al analizar las metodologías previamente expuestas, y teniendo en consideración todos los criterios de evaluación y los resultados obtenidos, se evidencia que el norte de nuestra propuesta va a estar enfocada principalmente a los modelos de RBI, RCM y mantenimiento preventivo, dado que estos brindan herramientas de análisis, rutinas de mantenimiento, modelos de inspección y modos de llevar registros de actividades, adicionalmente se ha evidenciado que estos modelos han tenido un gran éxito en otros campos de ECOPETROL S.A.

Una vez definido que para el campo Mago las técnicas a usar son RCM, RBI y preventivo por rutinas de recomendación de fabricante y de expertos, el siguiente paso dentro de la estrategia es definir a que equipo se le aplica una u otra metodología. Para esto, proponemos que el criterio base sea la criticidad de equipos por seguridad de procesos descrita en el punto 3.3.5, definiendo que los planes de mantenimiento de los equipos de criticidad muy alta (VH) y Alta (H), sean ajustados a partir de la aplicación de metodología RCM y RBI, los equipos de criticidad media (M) y baja (L) sean revisados para manejar un preventivo a partir de recomendaciones del fabricante y juicio de expertos, y los equipos de criticidad nula (N), sean corridos a falla.

A partir de lo anterior, y el modelo estratégico de estructura de planes y programas de mantenimiento de Ecopetrol indicado en la figura 26 se deberá proceder a ajustar los programas, planes y estrategia de mantenimiento para el campo Caño Sur, apoyado en el modelo de mantenimiento rutinario indicado en el numeral 3.3.8.

Figura 26. Estructura de los planes y programas de mantenimiento en Ecopetrol S.A.



Fuente: ECOPETROL S.A.

### 3.3.7 Establecer el modelo de mantenimiento rutinario

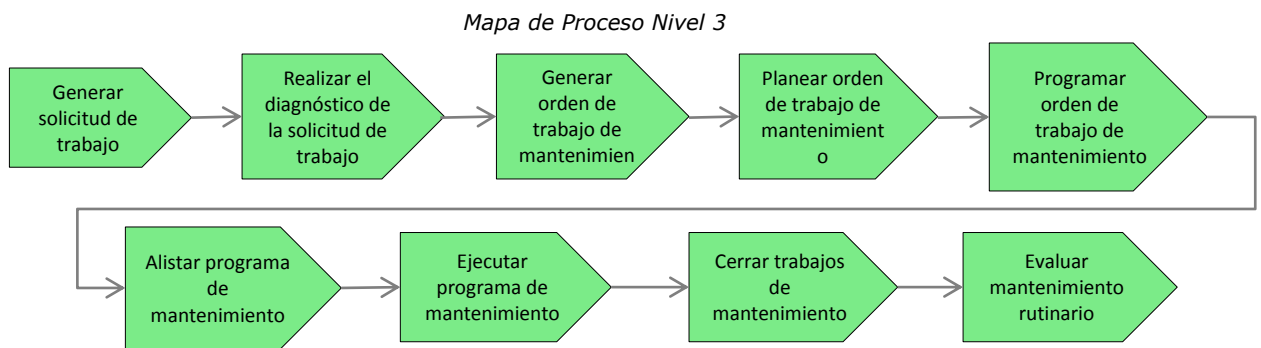
El mantenimiento rutinario se refiere a todas aquellas acciones técnicas y administrativas de planeación, programación, ejecución, cierre y evaluación del mantenimiento cotidiano, encaminadas a mantener los componentes de los activos industriales o a restaurarlos a un estado en el cuál pueda realizar la función requerida<sup>19</sup>. El mantenimiento rutinario es uno de los pilares de cualquier estrategia o modelo de mantenimiento ya que es aquel que permite la ejecución de los planes y programas, a partir de la disciplina, organización, documentación, análisis de riesgos previos a la ejecución de tareas de mantenimiento, sistemas de permisos de trabajo, procedimientos, etc,. Esta contribución del mantenimiento rutinario permite apalancar la ejecución adecuada de los planes de mantenimiento, reduciendo la ejecución de correctivos, alimentando los históricos de fallas y en

<sup>19</sup> Tomado de Aris

general, optimizando los planes a partir de una correcta gestión de la ejecución y la información.

Es por eso que el modelo del SIG GENOMA ha definido el proceso de mantenimiento rutinario a partir del proceso nivel 1 de operación de mantenimiento (Figuras 19 y 25).

Figura 27. Proceso nivel 3 Mantenimiento Rutinario



Fuente: ECOPETROL S.A.

El proceso de mantenimiento rutinario empieza con la generación de solicitudes de trabajo. Para esto, los mecanismos para realizar actividades de mantenimiento a un activo son:

- ✓ Solicitud de Trabajo (ST).
- ✓ Control de Cambio.
- ✓ Plan de mantenimiento anual.

Las solicitudes de trabajo ingresan por “Generar Solicitud de Trabajo” en el proceso nivel 3 indicado en la Figura 27. Los controles de cambio ingresan por Generar Orden de Trabajo en el proceso nivel 3 indicado en la Figura 27. Los requerimientos del plan de mantenimiento anual (estrategia de mantenimiento y confiabilidad) ingresan por “Programar Orden de trabajo de Mantenimiento” en el proceso nivel 3 indicado en la Figura 27.

Una vez generada una solicitud de trabajo, esta pasa a la etapa de recomendación técnica. El objetivo de esta etapa es identificar las solicitudes de trabajo que no cuentan con una recomendación técnica. Las actividades que se ejecutan en esta etapa son:

- ✓ Identificar las solicitudes de trabajo sin recomendación técnica
- ✓ Solicitar el diagnóstico de las solicitudes de trabajo sin recomendación técnica
- ✓ Adjuntar la recomendación técnica a la solicitud de trabajo.

El producto final de esta etapa es una solicitud de trabajo con una recomendación técnica.

Una vez se cuenta con la recomendación técnica, se procede a emitir una Orden de Trabajo (OT). El objetivo de esta etapa es la validación de los criterios de aprobación o rechazo de las solicitudes de trabajo antes de autorizarlas como OT.

A esta etapa del proceso llegan las solicitudes de trabajo generadas en el CMMS con valoración de riesgo y recomendación técnica, y las solicitudes de trabajo provenientes del proceso de control de cambios.

Finalmente la solicitud de trabajo es autorizada en el CMMS y se transforma en una OT.

El producto final de esta etapa es una OT creada en el CMMS. Esta OT cuenta con una prioridad definida y una recomendación técnica.

Posterior a la creación de las OT's, se procede con la planeación de estas. El objetivo de esta etapa es establecer y definir todos los elementos necesarios para

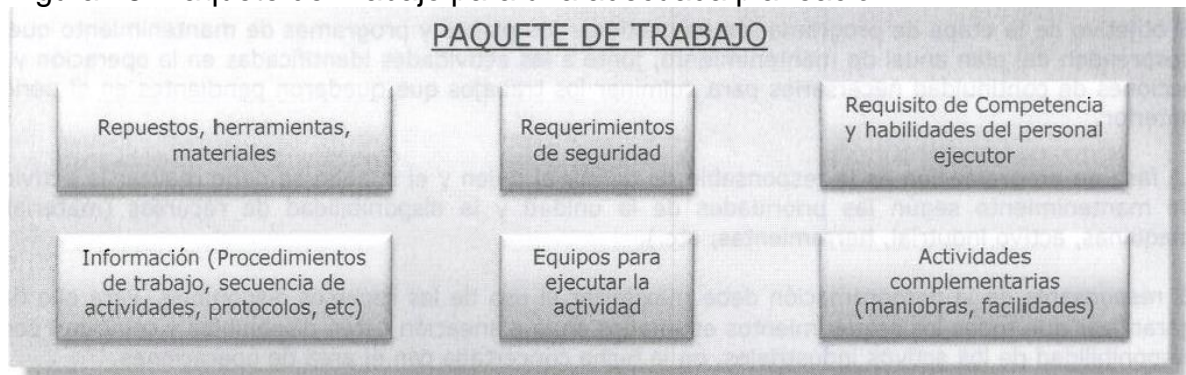
realizar una actividad de mantenimiento. Es lo que podemos considerar el “COMO?” de la actividad de mantenimiento.

A continuación se relacionan las actividades que deben ser aseguradas en una planeación de una OT de acuerdo con la presente estrategia:

- ✓ Definir la secuencia de pasos para la ejecución de la actividad de mantenimiento.
- ✓ Identificar el estándar de mantenimiento.
- ✓ Identificar la competencia de los ejecutores de la actividad de mantenimiento.
- ✓ Identificar los repuestos
- ✓ Identificar los materiales necesarios para la ejecución de la actividad de mantenimiento.
- ✓ Identificar las herramientas y los equipos necesarios para la actividad de mantenimiento.
- ✓ Identificar los riesgos asociados con la ejecución de la actividad de mantenimiento.
- ✓ Definir la duración de la actividad de mantenimiento.
- ✓ Identificar los procedimientos necesarios para ejecutar la actividad de mantenimiento.
- ✓ Identificar los documentos de apoyo para ejecutar la actividad de mantenimiento.

De acuerdo con estos pasos de la planeación, es importante asegurar dentro de la planeación lo que se conoce como el Paquete de Trabajo.

Figura 28. Paquete de Trabajo para una adecuada planeación



Fuente: ECOPETROL S.A.

El paso siguiente a la planeación de la actividad de mantenimiento, es la programación de esta. El objetivo de esta etapa es gestionar los planes y programas de mantenimiento que se desprenden del plan anual de mantenimiento.

La fase de programación es la responsable de definir el “QUIEN?” y “CUANDO?” se deben realizar las actividades de mantenimiento según la prioridad de la unidad y la disponibilidad de recursos.

El programa de mantenimiento de acuerdo con las consideraciones del SIG GENOMA, deberá tener las siguientes condiciones:

- ✓ Estar diseñado para 7 días.
- ✓ Ser único y no poder ser alterado. Cualquier alteración deberá pasar por una etapa de cuestionamiento y aplicar el procedimiento corporativo para ejecutar trabajos fuera de la operación.

El producto final en esta etapa del proceso es la generación de un programa de mantenimiento para un periodo de tiempo.

Posteriormente deberá procederse con la etapa de alistamiento de las actividades del programa de mantenimiento. El alistamiento comprende todas las actividades del programa del periodo, enfocadas en preparar y garantizar las condiciones óptimas para realizar las actividades de mantenimiento definidas en las órdenes de trabajo.

De manera general, estas etapas son:

- ✓ Identificar riesgos asociados a la actividad de mtto.
- ✓ Definir e implementar los mecanismos de mitigación de los riesgos identificados
- ✓ Gestionar las herramientas y materiales.
- ✓ Reclamar los repuestos
- ✓ Documentar los formatos necesarios para solicitar autorización para ejecutar la actividad de mantenimiento
- ✓ Solicitar permisos de trabajo.

Acto seguido se procede a la etapa de ejecución de las órdenes de trabajo. En esta etapa del proceso, se materializa toda la estrategia definida por la compañía en materia de mantenimiento y se genera la información asociada a la condición de los activos. Esta etapa representa las intervenciones físicas para inspeccionar, ajustar, sustituir o reparar los activos industriales.

Los elementos fundamentales para el cumplimiento de los requisitos de esta etapa son:

- ✓ Solicitudes de permisos de trabajo para la intervención del activo
- ✓ Seguimiento de procedimientos de mantenimiento relacionados con las órdenes de trabajo.

- ✓ Aplicación de protocolos de aceptación.

Una vez ejecutados los trabajos, se procede a cerrar las órdenes de trabajo. En esta etapa del proceso, se ingresa la información que alimenta las bases de datos del CMMS con los datos asociados a los costos de mano de obra, consumo de repuestos, naturaleza de las horas hombre (sobretiempo, turnos, normal).

En esta etapa del proceso se generan los siguientes paquetes de información:

- ✓ Información asociada con el estado de los activos después de la intervención
- ✓ Información económica relacionada con los costos de la actividad de mantenimiento.
- ✓ Información con la efectividad del diagnóstico y la planeación.

Finalmente, el proceso de mantenimiento rutinario concluye con la evaluación del mantenimiento y su ejecución. En esta etapa del proceso es donde se generan las solicitudes para actualizar los estándares de trabajo asociados a los activos industriales después de la intervención del mantenimiento.

### 3.3.8 Establecer listado de repuestos críticos.

En la actualidad todo plan de mantenimiento, debe hacer un análisis de la gestión de los repuestos con los que se cuentan en los almacenes, dado que las tendencias de hoy en día es poder alcanzar un equilibrio entre las áreas de mantenimiento como de las área de administración, por ende es necesario determinar el grado de importancia que tiene un repuesto en la organización, y su nivel de rotación en la misma, esta estrategia pretende definir pasos que permitan llegar a ese equilibrio entre los almacenes y la administración centrándose en las necesidades del campo mago y a las necesidades de producción que se proyecta ECOPETROL S.A.

Para alcanzar este equilibrio es necesario hacer una diferenciación entre que es un repuesto de baja rotación, y que es un repuesto de alta rotación o en ocasiones también llamado consumible, porque de acá se parte para poder hacer una gestión integral de los repuestos y de la misma manera determinar la criticidad que tiene un repuesto en el departamento.

#### 3.3.8.1 ¿Qué son repuestos de baja rotación?

Se puede definir que un repuesto de baja rotación, tiene las siguientes características:

- Son repuestos que tiene un alto costo.
- Son de difícil fabricación y tiempos largos de entrega.
- Su recurrencia de falla en muchas ocasiones es al azar, por ende se requiere hacer análisis de condición, para poder verificar su estado.
- Su uso es esporádico, pero tiene alta incidencia en la operación de una organización por generar paradas prolongadas.

Para este grupo de repuestos es necesario evaluar aspectos que permitan mitigar las consecuencias, por lo que se recomienda, estructurar planes de investigación que permita, por un lado determinar cuales se requieren tener en el stock, por su alto grado de complejidad, y evaluando los riesgos que estos traen a producción, pero también tener un listado muy específico de cada uno de los proveedores, teniendo en cuenta los posibles tiempos de entrega y de esta manera reducir su impacto para mantenimiento y producción.

Es importante que a la hora de hacer una evaluación tener parámetros que nos permitan dar una calificación para la toma de decisiones, bien direccionadas y con fundamento para tener o no un repuesto en los almacenes.

1. Importante consultar tanto los manuales como a los fabricantes, dado que esto permite determinar su grado de importancia y los riesgos que están asociados a la producción.
2. Verificar las cantidades de dicho repuesto están presente en los equipos en el campo mago, con el fin de determinar las cantidades óptimas que se requieren cuando este falle.
3. Calcular la disponibilidad del repuesto, evaluando tiempos tanto de entrega como de montajes.
4. Hacer una relación entre el riesgo que se incurre a la hora de la falla de un equipo y los costos tanto de transporte como de mantención en un almacén.

Evaluando estos cuatro aspectos se puede partir para generar los listados de los repuestos críticos dado que estos tienen una alta incidencia en producción, también cabe decir que una manera de reducir su impacto en producción es plantear estudios que permitan detectar el estado de cada uno de estos repuestos y poder proyectar en una línea de tiempo su posible falla.

#### 3.3.8.2 Repuesto de alta rotación

Este tipo de repuesto se caracteriza por lo siguiente:

- Son repuestos de bajos costos de adquisición.
- Tiene una alta frecuencia de uso.
- Por lo general los departamentos de mantenimiento los requieren con alta demanda.
- Su nivel de criticidad es bajo porque son de fácil recambio y de fácil acceso.
- Por lo general su pedido se hace por grandes lotes y se tiene estimados de uso y de costos.

Por lo anterior se recomienda hacer análisis estadísticos, con respecto a la vida útil de estos repuestos, proyectar mejoras que permitan ampliar la vida útil y generar planes y programaciones que permitan de modos directos no tener tantos lotes en stock sino más bien programaciones con los proveedores para solo tener lo estrictamente necesario en el almacén, de otra manera es necesario tener toda esta información compilada en el CMMS, el cual nos permita tener un control bien estructurado, y que valla de la mano con los informes de mantenimiento, los cuales permiten tener una idea más generalizada del consumo que estos repuestos tiene en un tiempo previamente definido.

#### 3.3.8.3 ¿Cómo definir las cantidades en los repuestos?

La estrategia recomienda, que para llegar a determinar las cantidades necesarias se parta de hacer un análisis comparando el costo de almacenamiento con respecto al uso que le de mantenimiento, es decir que le cuesta a ECOPETROL S.A. tener el repuesto guardado en el almacén con respecto a una planeación de mantenimiento que permita determinar el momento exacto en que se requiere el repuesto y el momento exacto para pedir dicho repuesto, pero esto no acaba acá, también es necesario hacer un análisis de la posible indisponibilidad del repuesto y comparándolo con las consecuencias que esto trae en caso de una parada prolongada, en pocas palabras se recomienda hacer un análisis de la mano de mantenimiento, producción y almacén, el cual permita determinar el grado de importancia de los repuesto tanto de alta como de baja rotación, los espacios disponibles, los recursos asignados tanto económicos como de talento humano, con el fin de determinar las cantidades necesarias, y poder planear tanto las actividades de uso como de petición de repuesto y hacer los planes de contingencia que estarán encaminados principalmente a mitigar paradas prolongadas por la no disponibilidad de un repuesto en el campo mago, por ende para llegar a este punto es necesario, primero tener muy bien identificados los

equipos con que se cuentan, tener una codificación de cada uno de los equipos, y verificar cuales repuestos están en varias máquinas, para así de esta manera tener planes estructurados y espacios lo más organizados en pro de la producción, y para los de baja rotación hacer análisis de criticidad, análisis de condición y monitoreos, los cuales le permitan a mantenimiento conocer el estado de un equipo y en qué momento actuar para mantener los niveles de disponibilidad al máximo.

### 3.3.9 Definir planes de capacitación para el recurso humano

El tema de la formación técnica y administrativa del recurso humano que interviene en el mantenimiento suele ser uno de los factores más críticos para una adecuada gestión del mantenimiento. Todos los modelos de mantenimiento revisados a través de la investigación que conllevó al desarrollo de la presente estrategia, muestran que las competencias y habilidades del personal son un pilar apalancador de cualquier gestión de mantenimiento. La presente estrategia se enfoca en definir cuáles son las principales temáticas en las que se debe enfocar el departamento de mantenimiento Caño Sur para la correcta ejecución de esta.

De acuerdo a la PAS-55, existen 4 pilares que deben ser trabajados en la gestión del talento humano como habilitadores de la organización y las personas:

Figura 29. Habilitadores de la organización y las personas



Fuente: PASS-55

La primera es la administración de los contratistas y proveedores. Esta temática no está cubierta por la presente estrategia, sin embargo a modo informativo, Ecopetrol S.A. cuenta con un modelo de excelencia en HSE, compuesta de 9 elementos, uno de cuales es la gestión de contratistas. Esta temática actualmente se está desarrollando en la Superintendencia con buenos resultados ya que se enfoca en las buenas relaciones y cumplimiento de la normatividad vigente por parte de contratistas, subcontratistas y proveedores.

El segundo pilar es el liderazgo en la gestión de activos (o gestión de mantenimiento para nuestra estrategia). Para esto se propone la elaboración de una matriz de cargos, en donde se liste cuáles de tales cargos deben cumplir con acciones de formación en la temática, incluyendo personal estratégico, táctico y operativo no solo del departamento de mantenimiento, sino del departamento de producción, ya que como se vio en el numeral 3.3.7, el personal operativo desempeña un rol en la detección temprana de fallas y en la concertación de los programas de mantenimiento semanales.

El tercer pilar es la cultura y estructura organizacional, uno de los aspectos más difíciles de consolidar y que más les cuesta a las organizaciones, ya que implica cambios de mentalidad, perfecto liderazgo, acompañamiento permanente durante los procesos, entre otras. Sin embargo, esta temática es la que produce los efectos más profundos, creando en las personas la percepción de que las cosas se pueden hacer bien y son posibles, llevándolas al compromiso y a las acciones proactivas que ayudan a mejorar la estrategia de mantenimiento. Dentro de las formaciones de cultura y estructura organizacional más importantes que se incluyen como requeridas dentro de la presente estrategia se encuentran, la formación en el SIG GENOMA y el macroproceso de gestión de activos, la formación específica en el modelo de mantenimiento rutinario de Ecopetrol S.A. y la formación en el modelo de excelencia HSE (ya que es transversal a la organización y permite la creación de cultura y conciencia en el autocuidado). Al

igual que en el pilar anterior, estas formaciones deben estar dirigidas a personal de los departamentos de producción y mantenimiento.

Por último se tiene el pilar de competencias y comportamientos. Con esta temática se busca fortalecer los aspectos técnicos en cada una de las especialidades, eléctrica, instrumentación y control, equipo estático y equipo rotativo. Para esto es importante que los profesionales del departamento de mantenimiento, en cada una de estas especialidades, detecten las brechas que tiene su equipo y generen un plan de formaciones técnicas. Adicional a esto, se deben crear junto con el personal técnico los procedimientos de mantenimiento y asegurar su comunicación y entendimiento.

### 3.3.10 Definir los recursos requeridos para la ejecución del plan

Esta estrategia pretende definir de una manera clara y objetiva, cuales son los recursos necesarios para la puesta en marcha del modelo que se está planteando, es evidente que todos los departamentos de mantenimiento son evaluados principalmente por los recursos asignados y el aprovechamiento de los mismos, y siempre el objetivo de la alta gerencia con mantenimiento es que se reduzcan los costos sin que se vea afectada la productividad, por lo anterior se ha evidencia que los jefes de mantenimiento estén en la obligación de buscar formas mejorar las condiciones operacionales y optimizar la mantenibilidad y disponibilidad de los equipos.

Es claro resaltar que el recurso más importante es muchos aspectos es el económico, puesto que en este se pueden desprender varios recursos que son muy importantes para las áreas de mantenimiento, y es el que requiere un análisis a fondo con el fin de hacerlo cada vez más óptimo y poder dar un valor agregado a cada una de la actividades que los departamentos de mantenimiento ejecutan diariamente, dicho esto podemos definir como recursos los siguientes:

### 3.3.10.1 Recurso humano.

En todo departamento de mantenimiento, el recurso más importante por su conocimiento y experiencia, sin lugar a dudas es el talento humano, puesto que en este recurso tan valioso se encuentra compilada toda la información y los tips necesarios en las intervenciones por parte de mantenimiento, por lo consiguiente todos los departamentos de mantenimiento y en general a los jefes están en la obligación de hacer procesos de transferencia de información para las nuevas generaciones, este recurso tiene también asocia todas las actividades que los departamentos de mantenimiento ejecutan, por ende la estrategia que se planea da una explicación muy general de cuáles son los principales elementos que componen este recursos y sus labores para los departamentos.

- Planear y coordinar las actividades de mantenimiento, ya sea preventivas, correctivas y predictivas
- Ejecutar todas las tareas que relacionan a mantenimiento y hacer los correspondientes informes que permitan llenar las hojas de vida de los equipos, y de esta manera conocer los estados en los que se encuentran.
- Son pieza fundamental en los procesos de arranques, como de estandarización de procedimientos, por su alto conocimiento de los equipos.
- Son parte fundamental en los procesos de capacitaciones, puesto que muchas de la información valiosa en estos procesos viene por parte del personal de mantenimiento con las actividades que diaria mente se ejecutan.
- Son parte de los procesos de gestión de calidad en las organizaciones, dado que no solo ayudan con la estandarización si no con la implementación de los procesos.

### 3.3.10.2 Recurso Tecnológico.

Este recurso abarca todo lo relacionado con las herramientas, que están a la disposición del personal, y que tiene como principal objetivo ser pieza fundamental en las intervenciones dado que sin herramientas prácticamente nada se podría ejecutar en los departamentos de mantenimiento, es evidente que día tras días hay más avances tecnológicos que permiten que las tareas de mantenimiento por un lado sea más eficaces y seguras, pero toda tecnología cuesta, por ende es necesario evaluar las necesidades de los departamentos, y los posibles usos de la tecnología, dicho esto la estrategia de mantenimiento se centra en algunos recursos que son prioritario a la hora de tener un departamento bien enfocado y bien direccionado, a continuación se nombran y se explican algunos de estos recursos que son pieza vital de mantenimiento.

**Herramientas de mano:** Técnicamente de conocen estas herramientas de uso frecuente y tiene como objetivo ya sea aflojar, acercar, ajustar, cortar, etc. estas herramientas son accionadas por los técnicos de mantenimiento y constan principalmente de mangos ergonómicos y de materiales resistentes para el uso diario, es este tipo de herramientas se destacan:

- Juegos de llaves mixtas.
- Juegos de Copas.
- Juegos de destornilladores.
- Alicates.
- Torcometros.
- Pinzas y extractores.
- Graseras.

- Martillos.
- Prensas
- Diferenciales

En fin son muchas las herramientas que se pueden mencionar, pero lo que se quiere exponer es que sin herramientas un departamento de mantenimiento sería inútil y carecía de funcionalidad en una organización, es necesario que cada técnico tenga a su disposición la herramienta necesaria y que sea previamente evaluada por los jefes de mantenimiento, según las necesidades, esta estrategia habla de las básicas pero estas puede ampliarse según las necesidades de los departamentos.

**Herramientas Automáticas:** Este tipo de herramienta se caracteriza por que para su funcionamiento requiere de algún tipo de energía o fluido para su funcionamiento como lo son; energía eléctrica, aire comprimido o un sistema hidráulico, este tipo de herramientas se caracterizan principalmente para aquellas labores que requiere de alta complejidad, altas cargas, o simplemente facilitar las labores del operador, cabe resaltar que este tipo de herramientas requiere un conocimiento amplio sobre estas, dado que como pueden ayudar a realizar las tareas también pueden generar accidentes lamentables, por lo que requiere una capacitación en donde los técnico cumplan con los requisitos para que de esta manera no se vea afectada su integridad, en este tipo de herramientas podemos destacar:

- Taladros
- Pulidoras
- Motortools
- Pistolas neumáticas
- Equipos de Soldadura
- Destornilladores eléctricos y neumáticos.

**Software y Hardware:** Todo departamento de mantenimiento requiere adicional al talento humano y las herramientas de uso diaria, también requiere tanto de sitios que permitan la compilación de la información recolectada, para su posterior análisis y de esta manera programar toda aquellas actividades que hacen que mantenimiento den su valor agregado a las organizaciones, sabiendo de esta necesidad esta estrategia, busca no solo mejorar las condiciones de operación, si no de alguna manera acoplar tanto los sistemas de información, como de terminales que le permitan a mantenimiento llevar sus registros y de esta manera tener en tiempo real información que es muy valiosa y que es parte fundamental en un departamento, dado que este tipo de recursos permiten de una forma rápida y eficaz poder anticiparse a las fallas y de esta manera atacarlas, para esto se requiere de algunos recursos como lo son:

- Terminales o computadores, en donde los técnicos de mantenimiento pueda alimentar las bases de datos.
- Software como Excel, Proyect o CMMS, en donde pueda compilar la información y que sea de fácil acceso para el personal de mantenimiento.
- Discos duros virtuales o en la nube, lo que permite acceder a la información en cualquier lugar y a cualquier hora.

### 3.3.10.3 Recurso económico.

Sin lugar a dudas este recurso es la suma de los otros, puesto que a mantenimiento siempre se le va a evaluar por el buen uso de los recursos a su disposición, es evidente que en muchos casos los departamentos de mantenimientos son vistos más como gastos que como un área productiva dentro de una organización, pero el objetivo de esta estrategia es que acoplando y aprovechando cada elemento y cada recurso en pro de las metas de producción del campo mago, mantenimiento se vea como una inversión, que va a dar como beneficio una alta disponibilidad de los equipos y altos niveles de calidad en las

actividades de mantenimiento, por ende es necesarios destinar recursos no solo para capacitación del personal, sino también para herramientas, sistemas de información, es evidente que para dar un buen uso a cada uno de los recursos que se le asignan a mantenimiento se requieren hacer análisis, que permitan evidenciar los estados de los equipos y verificar que tan mantenibles son, para lograr esto es necesario hacer análisis tanto con la parte técnica de mantenimiento como de la parte de ingeniera, en donde se evalúe, los aspectos tanto económicos como operacionales, con el fin último de hacer un mejor uso de los recursos y hacerlos cada día más eficaces y eficientes. Dentro de los recursos económicos se puede identificar algunos que son necesarios en un departamento de mantenimientos:

- Repuestos
- Insumos
- Herramientas
- Capacitaciones

Todos estos ítems son valores que se van sumando gastos y costos, pero también son características que suman no solo experiencia si no también un valor agregado en el sentido de que con ayuda de los recursos destinados no solo se aumenta la productividad si no también dan valor al departamento de mantenimiento, y permite seguir innovando en nuevas tecnologías y nuevas formas de mejorar las actividades y rutinas de mantenimiento.

### **3.4 BENEFICIOS DE LA ESTRATEGIA.**

Uno de los objetivos de este documento es identificar y cuantificar los beneficios esperados de la implementación de la presente estrategia, a la luz de los pilares establecidos y con la premisa de lo complejo de cuantificar beneficios cuando no se cuenta con una implementación y tampoco se cuenta con una línea base de

costos de mantenimiento, dado que el manejo de los planes actuales de mantenimiento son a cargo y por cuenta del aliado que opera las pruebas extensas. Sin embargo, existen beneficios que pueden ser identificados y con base en estadísticas, referencias y estudios a nivel mundial, así como experiencias de expertos, estos beneficios son posibles de estimar.

De acuerdo con [18] García Palencia, la implementación de un esquema de confiabilidad operacional, basado en los pilares sobre los cuales fundamentamos nuestra estrategia, tales como la confiabilidad humana, y la confiabilidad y mantenibilidad de equipos, puede contribuir a beneficios estimados del siguiente orden:

- ✓ Producción: aumento entre el 10-12%
- ✓ Disponibilidad: aumento entre el 10-15%
- ✓ Horas hombre: disminución entre el 35-40%
- ✓ Costos de mantenimiento: reducción entre el 23-30%
- ✓ Costos de producción: reducción entre el 12-16%
- ✓ Seguridad de procesos: aumento del 80%
- ✓ Retrabajo: reducción entre el 20-40%
- ✓ Inventarios: reducción entre el 10-30%
- ✓ Paradas imprevistas: reducción entre el 50-55%

Por otro lado, se tienen algunos ahorros que son de fácil cuantificación, cuando se cuenta con la implementación y el aseguramiento del ciclo de verificación de la norma ISO 9000, entre esos destacamos los siguientes.

#### 3.4.1 Ahorro energético

Al implementarse, un sistema en donde se planeen y se ejecuten todas las actividades de mantenimiento de acuerdo a un cronograma y a un manual de

funciones, y de manera sistemática se reduzcan sustancialmente las actividades correctivas, trae en esto un ahorro energético bastante amplio, basando principalmente en el hecho de que, no siempre se están en uso herramientas que requiere de energía eléctrica, potencia neumática o hidráulica, lo que permite un aprovechamiento óptimo de este recurso y por consiguiente trae un beneficio en sentido que los equipos que proveen la energía al departamento de mantenimiento de su mayor potencial según las programaciones del departamento.

#### 3.4.2 Beneficio Operativo.

Sustancialmente este es el mayor beneficio que la estrategia brinda, puesto que el principal objetivo de un mantenimiento bien estructurado y programado, es brindar herramientas que optimicen y alarguen la vida útil de los equipos a disposición, con prácticas que permitan anticiparse a las fallas, hacer un monitoreos extenso de cada una de las variables en una máquina, todo esto sumado al buen aprovechamiento de los recursos trae como principal valor que todos los equipos tengan, una mayor disponibilidad y estén en la capacidad de ejecutar las labores a lo que estas están diseñadas, evitando paradas no programadas que generar retrasos y perdidas económicas a los departamento de producción, adicionalmente se puede dar los estimados de vida útil que son fundamentales para optimizar los procesos en una organización.

#### 3.4.3 Beneficios al personal.

El tener un plan de mantenimiento en donde se acoplen metodologías que permitan la capacitación del personal como base fundamental del desarrollo, hacen que el personal de los departamentos cada día sean más calificados, y les permiten ampliar sus conocimientos y que cada día tengan más competencias lo cual les permite ser personal altamente calificado, y dar un mayor valor agregado a todas aquellas actividades que se desarrollan día tras día en pro del

mejoramiento no solo de las condiciones operativas sino también de las condiciones de conocimiento y psicológicas.

#### 3.4.4 Beneficios económicos.

Sumados todos los beneficios previamente expuestos, este es un resumen generalizado de cada uno, dado que de la manera que se reduzca el uso de la energía, trae beneficios altos en el sector económico puesto que permite el ahorro y el uso adecuado de los gastos relacionados con los generadores, y de las líneas de alta y media tensión, adicionalmente se amplía la vida útil de este recurso que en el área en donde se hace encuentran, puesto que se van a utilizar realmente cuando son realmente requeridos, adicionalmente hablando en el sentido operativo, es el que permite que los beneficios se den, es decir, la producción es la que permite que el departamento de mantenimiento tenga un objetivo dentro del sistema por ende si se optimiza la gestión del mantenimiento, estas áreas no se verá como un gasto sino más bien como una inversión que da como fruto, más disponibilidad de los equipos para el departamento de producción.

#### 4. CONCLUSIONES.

- La presente estrategia pretende ser una hoja de ruta para la ejecución adecuada de la gestión del mantenimiento. La puesta en práctica de cada uno de los 10 pilares expuestos en esta estrategia requieren la conformación de grupos de trabajo al interior de la Superintendencia de Operaciones Caño Sur, encargados de liderar y ejecutar cada temática.
- De acuerdo al juicio de los autores, la presente estrategia, sus pilares, tiempos de ejecución y beneficios, son viables para la etapa temprana del campo Mago, bloque Caño Sur Este, en que la facilidad principal de tratamiento Mito-1 se espera que opere hasta Julio de 2015.
- Partiendo del análisis de cada una de los modelos previamente consultados, y haciendo los análisis correspondientes se puede determinar que las metodologías de RCM y RBI son la base para la estrategia de planes de mantenimiento, con foco en los equipos críticos, puesto que van direccionadas con las políticas empresariales y el modelo de gestión GENOMA, además de brindar herramientas tanto de análisis como de acciones para optimizar las actividades de mantenimiento.
- Las tendencias de mantenimiento actual van encaminadas a la estandarización de actividades y capacitación, dicho esto podemos deducir, que para tener éxito tanto en la implementación como en la ejecución de la estrategia, es necesario que el personal tenga las respectivas formaciones en los 4 pilares de la correcta gestión de mantenimiento (y en general la gestión de activos), como son el liderazgo en gestión de mantenimiento, la cultura y estructura organizacional, y las competencias y comportamientos. capacitaciones necesarias para poder ejecutar las actividades partiendo de procedimientos estandarizados.
- Es pertinente mencionar que una de las bases necesarias para la implementación de la estrategia, es hacer uso de los manuales de los fabricantes, puesto que en estos hay información muy valiosa que sirve

como trampolín para la planeación y ejecución de las rutinas de mantenimiento, y verificar que los equipos estén trabajando en las óptimas condiciones de diseño, además del juicio de expertos para las tareas que por seguridad de procesos y criticidad, no sean de alta exposición para el personal y el proceso.

- Es de alta prioridad desarrollar los manuales y procedimientos, dado que en la medida que cada actividad sea estandarizada, y se identifiquen de manera correcta los responsables, tiempos, recursos y costos de cada actividad, se tendrá un mejor control de procesos y un aprovechamiento más oportuno de los recursos con lo que cuenta el departamento de mantenimiento.
- Uno de los pilares para el efectivo funcionamiento de la presente estrategia es la puesta en marcha del proceso de mantenimiento rutinario, ya que este permite asegurar la correcta ejecución, documentación, planeación, programación y evaluación del mantenimiento, siendo esta temática una de las que más requieren recursos y tiempos de implementación pero cuyos beneficios son fácilmente cuantificables y evidenciables.
- Es importante que las bases de datos sean creadas y alimentadas de forma sistemática, puesto que es el punto de partida para los análisis que son asociados tanto a RCM como a RBI, y es pertinente que, toda la información que repose en estas, sea no solo codificada si no también clasificada para que sea de fácil acceso y fácil evaluación.
- Aunque nuestro análisis solo se basó en plantear una estrategia que fuese acorde con las políticas empresariales, cabe resaltar que tanto los departamentos de mantenimiento como sus planes deben ser dinámicos, dado que deben permitir acomodarse no solo a las necesidades empresariales, si no también, romper paradigmas, en el sentido de que mantenimiento no es un gasto, es un inversión, y como tal requiere de estudios, de trabajo duro y constante y ante todo que se cuide la integridad tanto empresarial como de las personas que ejecutan las rutinas.

- Es pertinente resaltar que todas las labores de inspección que son la columna vertebral de la metodología RBI, deben ser ejecutadas de forma efectiva, dado que el éxito de esta metodología no es solo la inspección, sino también los análisis y los planes de acción, por ende es necesario que estas actividades se hagan según unas rutinas definidas y preferiblemente en los mismo puntos y con elementos calibrados, para que los resultados que se obtengan sea fiables y puedan ser analizados de la manera correcta.
- Es importante también resaltar, que el aporte y las observaciones que hagan el personal técnico de mantenimiento sea evaluadas y tenidas en consideración, dado que el personal de mantenimiento tiene mucho conocimiento que permiten, no solo obtener mejor información del estado de un equipo, sino también información que pueda ser documentada y posteriormente publicada para el mejoramiento de los procesos.

## BIBLIOGRAFIA.

AIM (The Institute of Asset Management). An Anatomy of Asset Management, Version 1.1 February 2012.

BARDON, Louis. Mantenimiento y Soporte Logístico de los Sistemas Informáticos. Alfaomega 1998.

BORRÁS PINILLA, Carlos. Principios de Mantenimiento, P. 58,62, 70-72, 73-75, 76-80. Marzo 2013.

DIXON CAMPBELL, John. Sistemas De Mantenimiento Planeación y Control, Limusa Wiley, México 2000.

ESPINOSA FUENTES, Fernando, Mantenimiento basado en el riesgo MBR, <http://campuscurico.otalca.cl/~fespinos/CONCEPCION%20MBR%20MANTENIMIENTO%20BASADO%20EN%20EL%20RIESGO.pdf> . Consultado el 28 de Febrero de 2014.

ESPINOSA FUENTES, Fernando, Presentación Desarrollando el modelo RCM, <http://campuscurico.otalca.cl/~fespinos/CONCEPCION%20RCM%20MANTENIMIENTO%20CENTRADO%20EN%20CONFIABILIDAD.pdf>. Consultado el 01 de Marzo de 2014.

ESPINOSA FUENTES, Fernando, TPM – Mantenimiento Productivo Total, <http://campuscurico.otalca.cl/~fespinos/CONCEPCION%20TPM%20MANTENIMIENTO%20PRODUCTIVO%20TOTAL.pdf>. Consultado el 01 de Marzo de 2014.

FORERO, J.L. Estudio de “Inspección Basada en Riesgo” De una unidad de alquiler para HF.

<http://www.materiales-sam.org.ar/sitio/revista/22007/FerreroCompleto.pdf>

Consultado el 26 de Febrero de 2014.

GARCÍA PALENCIA, Oliverio. El Analisis Causa Raíz, estrategia de Confiabilidad Operacional,

[http://virtual.uptc.edu.co/drupal/files/123\\_ana\\_estr\\_confia.pdf](http://virtual.uptc.edu.co/drupal/files/123_ana_estr_confia.pdf),

Consultado el 15 de Marzo de 2014.

GONZÁLEZ BOHÓRQUEZ, Carlos Ramón. Mantenimiento Preventivo, P. 2-4, 19-21, 23-26, 32-35, 39-42.

JIMENEZ N. Alirio J, Confiabilidad, Disponibilidad y Mantenibilidad, entendiendo sus diferencias,

<http://maintenancela.blogspot.com/2011/10/confiabilidad-disponibilidad-y.html> Consultado el 28 de Febrero de 2014.

MONBRAY, John. Mantenimiento centrado en confiabilidad. Edición en Español. Gran Bretaña: Aladon. 2004.

MORA GUTIERRE, Alberto. Mantenimiento estratégico para empresas industriales o de servicios. 1ª Ed. Envigado: Amg, 2005.

MORA, Luis Alberto. Mantenimiento. Planeación, ejecución y control. CAPITULOS (5, 18, 19, 20 y 21). Alfaomega 2009.

ORTIZ ÁLVARES, Víctor, Artículo “La inspección basada en riesgo”, <http://www.industriaaldia.com/articulos/65-2.pdf>. Consultado el 01 de Marzo de 2014.

PRADO, Raúl R. Manual Gestión de Mantenimiento a la medida, Guatemala Piedra Santa 1996.

RODRÍGUEZ MUÑOZ, Orlando; TORRES BELTRÁN, Alexander; TURCA RODRÍGUEZ, Wilson. Estrategia de Mantenimiento Para la Nueva Planta de Gas de Ecopetrol S.A., CPF De Cupiagua, [http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/pags/cat/popup/pa\\_detalle\\_matbib\\_N.jsp?parametros=163272|2|17](http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/pags/cat/popup/pa_detalle_matbib_N.jsp?parametros=163272|2|17). Consultado el 04 de Marzo de 2014.

TAMAYO DOMINGUEZ, Carlos Mario. Gerencia Estratégica y operacional del Mantenimiento. P. 36, 61.

## ANEXOS.

### Anexo A. Cronograma de implementación

No.	ACTIVIDADES	SEMANAS																													
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1	Evaluación del personal operativo	■	■	■																											
2	Evaluación de recursos y herramientas		■	■	■																										
3	Definición de la documentación requerida y de las personas responsables		■	■	■																										
4	Identificación general de equipos y levantamiento de las fichas técnicas de cada uno			■	■	■	■																								
5	Codificación de equipos, sistemas y subsistemas				■	■	■	■																							
6	Análisis de criticidad					■	■	■	■																						
7	Evaluación de según la criticidad de los equipos						■	■	■	■																					
8	Desarrollo RCM																														
8.1	Especificar cada una de las funciones de los equipos								■	■	■	■																			
8.2	Identificación de las fallas de los equipos									■	■	■	■																		
8.2.1	Creación de Historicos de falla										■	■	■																		
8.2.2	Elaboración de los disgramas tanto lógicos como de funciones y funcionamiento											■	■	■																	
8.3	Análisis y determinación de los modos de falla												■	■	■	■															
8.4	Determinación de las consecuencias de los modos de falla														■	■	■	■													
8.5	Planes de acción																														
8.5.1	Acciones de mantenimiento preventivo																														
8.5.2	Determinación de la frecuencia																														
8.5.3	Análisis para las mejoras de sistemas																														
8.5.4	Elaboración de manuales de procedimientos																														
8.6	Consolidación de los planes y rutinas de mantenimiento																														
8.6.1	Arranque del plan de mantenimiento																														
8.6.2	Puesta en marcha de acciones de mejoras técnicas																														
8.6.3	Arranque de cambio de procedimientos tanto de operación como de mantenimiento																														
9	Desarrollo RBI																														
9.1	Definir equipos y sistemas sometidos a este análisis																														
9.2	Elaboración de los rankings o listas de equipos críticos según su grado de importancia																														
9.3	Análisis cuantitativo																														
9.4	Determinación de puntos de análisis																														
9.5	Planes de inspección																														
9.6	Evaluación de los planes de inspección																														
9.7	Consolidación y análisis de resultados																														
9.8	Análisis de beneficio costo																														
10	Consolidación Planes Inspección & Mantenimiento																														
11	Cargue en Ellipse																														
12	Evaluación de avances, retroalimentación y desempeños																														

- Tiempo para cumplimiento de tareas
- Fechas de Capacitaciones y talleres
- Fecha de entregas de resultados