

**PROPUESTA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UNA ESTRATEGIA DE  
MANTENIMIENTO INTEGRAL A LOS EQUIPOS DE FACILIDADES DE  
PRODUCCIÓN DEL CAMPO OPÓN**

**CARLOS AUGUSTO BARÓN SILVA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOQUÍMICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS  
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE HIDROCARBUROS  
BUCARAMANGA  
2016**

**PROPUESTA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UNA ESTRATEGIA DE  
MANTENIMIENTO INTEGRAL A LOS EQUIPOS DE FACILIDADES DE  
PRODUCCIÓN DEL CAMPO OPÓN**

**CARLOS AUGUSTO BARÓN SILVA**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar por el título de  
ESPECIALISTA EN GERENCIA DE HIDROCARBUROS**

**DIRECTOR  
JORGE ENRIQUE MENESES FLÓREZ  
INGENIERO MECÁNICO**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS  
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE HIDROCARBUROS  
BUCARAMANGA  
2016**

## **AGRADECIMIENTOS**

El Autor de este proyecto de grado expresa sus sinceros agradecimientos a:

A Dios por regalarnos el milagro de la vida y ser nuestra guía para dar los mejores pasos en busca de la excelencia.

A todo el equipo de trabajo con los que compartí en Wood Group Colombia en Casanare, por brindarme la posibilidad de desarrollarme y crecer personal y profesionalmente.

A todo el Equipo de trabajo de Petrocolombia (Directivas y Campo) por esta nueva oportunidad en la que continúo aprendiendo de todos ustedes, pero que también me permiten la posibilidad de aplicar los conocimientos adquiridos.

A la escuela de Ingeniería de la Universidad Industrial de Santander (UIS), porque gracias a estos programas y espacios puedo continuar desarrollándome profesionalmente y adquiriendo nuevos y renovados conocimientos.

A mis compañeros estudiantes y profesores de la X promoción de “Gerencia de Hidrocarburos” porque cada encuentro resultó ser una motivación y una experiencia renovadora; por el entusiasmo, empeño y tenacidad que cada uno le imprimió a las diferentes clases y porque al final del ejercicio se cumplieron los objetivos planteados.

## **DEDICATORIA**

A mi esposa Ruth y mi hija Sarita por su Amor y comprensión y por el gran sentido y motivación que le imprimen a mi Vida. Las llevo siempre en corazón.

A mis hijos Carlitos y Andrés, que por su amor, admiración y confianza en mí, siempre me alentaron a continuar, pese a las dificultades del camino.

A mi señora Madre y Hermanos, por estar siempre conmigo; por sus oraciones y por sus buenos deseos, y porque me han impulsaron siempre a seguir adelante.

A mis compañeros de trabajo, por compartir conmigo sus experiencias y por hacer de este segundo hogar, un lugar un digno y agradable en donde se comparten experiencias y vivencias que hacen más agradable la convivencia en el turno de trabajo.

## TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN .....	11
1. GENERALIDADES.....	16
1.1 EL CAMPO OPÓN.....	16
1.2 TIPOS DE MANTENIMIENTO .....	17
1.2.1 MANTENIMIENTO CORRECTIVO.....	18
1.2.2 MANTENIMIENTO PREVENTIVO.....	19
1.2.3 MANTENIMIENTO PREDICTIVO.....	21
1.3 GESTIÓN DE PROYECTOS COMO ESTRATEGIA.....	22
1.3.1 LOS PROCESOS DE DIRECCIÓN DE PROYECTOS.....	23
1.3.2 ÁREAS DE LA DIRECCIÓN DE PROYECTOS.....	24
1.3.2.1. Gestión del alcance.....	25
1.3.2.2. Gestión del tiempo.....	25
1.3.2.3. Gestión del costo del proyecto.....	26
1.3.2.4. Gestión de los involucrados.....	26
1.3.2.5. Gestión de la integración.....	26
1.3.2.6. Gestión de la calidad.....	26
1.3.2.7. Gestión de las adquisiciones.....	26
1.3.2.8. Gestión del riesgo.....	27
1.3.2.9. Gestión de las comunicaciones.....	27
1.3.2.10. Gestión del recurso humano.....	27
2. DIAGNÓSTICO DEL MODELO ACTUAL DE MANTENIMIENTO REALIZADO EN CAMPO OPON.....	28
2.1 IDENTIFICACIÓN DE LOS EQUIPOS DE CAMPO .....	28
2.2 SITUACIÓN ACTUAL DE MANTENIMIENTO EN CAMPO OPON.....	32
3. PROPUESTA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL MANTENIMIENTO INTEGRAL A LOS EQUIPOS DE FACILIDADES DE PRODUCCIÓN DEL CAMPO OPÓN UTILIZANDO LA METODOLOGÍA DE PROYECTOS.....	36
3.1 PLAN DE GESTIÓN DEL ALCANCE .....	36
3.1.1 Planificación de la gestión del alcance.....	36

3.1.2	Recopilación de los requisitos. ....	36
3.1.3	Definición del alcance.....	37
3.1.4	Elaboración del EDT.....	37
3.2	PLAN DE GESTIÓN DEL TIEMPO.....	41
3.2.1	Definición de las actividades y su secuencia.....	41
3.2.2	Estimación de los recursos de las actividades y su duración. ....	43
3.2.3	Desarrollo del cronograma.....	45
3.3	PLAN DE GESTIÓN DE COSTOS .....	48
3.3.1	Planeación de los costos. ....	48
3.3.2	Estimación de los costos. ....	48
3.3.3	Determinar el presupuesto.....	49
3.4	PLAN DE RECURSOS HUMANOS.....	50
3.4.1	Planeación de la gestión de los recursos humanos.....	50
3.4.2	Definición del equipo del proyecto. ....	51
4.	CONCLUSIONES .....	56
	BIBLIOGRAFIA.....	59
	ANEXOS.....	61

## LISTADO DE FIGURAS

Pág.

Figura 1. Procesos de Mantenimiento Correctivo. Falla de tornillos por efectos de alta vibración. ....	18
Figura 2. Procesos de Mantenimiento Preventivo. Inspección de Ruta de Gases Calientes en Turbomaquinaria. ....	19
Figura 3. Procesos de Mantenimiento Predictivo. Inspección termográfica en el sistema eléctrico. ....	21
Figura 4. Áreas de la dirección de proyectos .....	24
Figura 5. Procesos de la gestión del alcance.....	25
Figura 6. Distribución de los equipos en el Campo .....	31
Figura 7. Pasos para llevar a cabo un programa de monitorización de condiciones según la ISO 17359 .....	38
Figura 8. Ejemplo de matriz de riesgo utilizada para priorización de equipos .....	39
Figura 9. Programación del proyecto en Microsoft Project 2010 .....	46
Figura 10. Asignación de los recursos a las actividades en Microsoft Project 2010 ....	47
Figura 11. Nueva programación con la redistribución de los recursos sobreasignados .....	47
Figura 12. Costo total del proyecto .....	49
Figura 13. Organigrama del proyecto.....	51

## LISTADO DE TABLAS

Pág.

<b>Tabla 1.</b> Equipos de Campo Opón. ....	30
<b>Tabla 2.</b> Mantenimiento y costos del mantenimiento de las facilidades de producción del campo Opón. ....	34
<b>Tabla 3.</b> Definición de las actividades y su secuencia. ....	42
<b>Tabla 4.</b> Estimación de los recursos de las actividades y su duración. ....	43
<b>Tabla 5.</b> Costo de los recursos por tipo de recurso. ....	48

## LISTADO DE ANEXOS

Pág.

<b>Anexo A.</b> Acta de constitución del proyecto.....	61
--	----

## RESUMEN

Título: PROPUESTA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UNA ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO INTEGRAL A LOS EQUIPOS DE FACILIDADES DE PRODUCCIÓN DEL CAMPO OPÓN\*

Autor: BARON-SILVA, Carlos Augusto\*\*

Palabras Clave: Mantenimiento Integral, PMBOK, Facilidades de producción, Estrategia

Descripción:

En la actualidad la producción del Campo Opón, está a cargo de la “Compañía Operadora Petrocolombia S.A.S.”, la cual no cuenta con una estrategia de mantenimiento para sus instalaciones, de continuar de esta forma, la actividad de operación y mantenimiento siempre estará sujeta a cambios de acuerdo a lo que suceda en el día a día, sin una planificación adecuada, sin históricos de mantenimiento para proyección de gastos y recursos y sin la posibilidad de crecimiento y mejoramiento en todos los aspectos.

Teniendo en cuenta que existe una gran proyección para incrementar la producción, se hace necesario efectuar algunas inversiones en la planta para llevar a cabo una adecuada revisión de todos los equipos e instrumentos de superficie y así mismo garantizar la confiabilidad y disponibilidad de la operación, ya que con el esquema de trabajo que se lleva a cabo actualmente, en el cual se tiene un comportamiento reactivo, se corre el riesgo de habituales paradas en planta, gasto en mantenimiento correctivo, inconformidad con la entregas del producto, presentando indicadores de baja eficiencia.

Mediante este trabajo, se pretende dar un contexto teórico del esquema de mantenimiento y la gestión de proyectos, ya que la estrategia que se presenta es una alternativa para organizar el mantenimiento preventivo y predictivo del Campo desde la metodología de proyectos presentada en el PMBOK. Como resultado de este trabajo, se evidenciaron claramente los problemas que actualmente tiene el campo en lo que respecta a mantenimiento y cuanto le cuesta a la compañía el no contar con una estrategia. Adicionalmente, se desarrolló la metodología para la primera fase de planeación, cuantificando los costos de esta primera etapa, la programación de las actividades y el cronograma de trabajo, todo esto con el fin de obtener la aprobación de la Gerencia General para desarrollar la segunda fase.

---

\* Monografía

\*\* Facultad de Ingenierías Físico-Químicas. Escuela de Ingeniería de Petróleos. Director: Jorge Enrique Meneses Flórez, Magister en Ingeniería Mecánica.

## ABSTRACT

Title: PROPOSAL FOR THE IMPLEMENTATION OF A STRATEGY FOR MAINTENANCE OF EQUIPMENT PRODUCTION FACILITIES IN FIELD OPON\*

Author: BARON-SILVA, Carlos Augusto\*\*

Key words: Integral maintenance, PMBOK, Production facilities, Strategy

### Description:

At present the production of Field Opon, is responsibility of "Petrocolombia SAS Company" they have not a maintenance strategy for production facilities, therefore operation and maintenance always be subject to changes according to what happens on a day to day, without proper planning, maintenance without historical projection of expenses and resources without the possibility of growth and improvement in all aspects.

Taking in account that production forecast is large, it is necessary to make some investments in the facilities to carry out a proper maintenance of all surface's equipment and instruments and ensure the reliability and availability for the operation. In the work form to carried out at present, which the company has a reactive behavior, it run the risk of regular stopovers, spending money in corrective maintenance, dissatisfaction with the product delivery and low efficiency in indicators.

First at all, this work gives a theoretical context in maintenance classification and project management. The strategy presented is an alternative to begin preventive and predictive maintenance in Opon field from perspective of project methodology presented in the PMBOK. As a result of this work, is shown the problems that currently has the field with respect to maintenance and how much it costs the company without a strategy. In addition, the methodology for the planning phase was developed, quantifying the costs of this first stage, the programming of the activities and schedule of work, all this in order to obtain approval from the General Manager to develop the second phase.

---

\* Monography

\*\* Facultad de Ingenierías Físico-Químicas. Escuela de Ingeniería de Petróleos. Director: Jorge Enrique Meneses Flórez, Magister en Ingeniería Mecánica.

## INTRODUCCIÓN

El Campo Opón, se encuentra ubicado en la zona rural del municipio de Cimitarra, Departamento de Santander e inicio su construcción y operación por medio de la empresa AMOCO COLOMBIA PETROLEUM COMPANY. Es un campo principalmente gasífero y su producción de gas y condensados es enviada por gasoducto a las instalaciones del Centro en Barrancabermeja.

En la actualidad la producción del Campo Opón, está a cargo de la “Compañía Operadora Petrocolombia S.A.S.”, no posee una estrategia de mantenimiento a sus instalaciones debido a que la producción ha bajado considerablemente y no se tenía la necesidad de hacer mayores inversiones para continuar con la producción existente.

Teniendo en cuenta que existe una gran proyección para producción incremental consistente en perforar una franja nueva del bloque, se hace necesario efectuar algunas inversiones en planta para garantizar una adecuada revisión de todos los equipos e instrumentos de superficie para garantizar la confiabilidad y disponibilidad de la operación.

Al no tener una estrategia definida de mantenimiento, se puede presentar entre otras, dos situaciones que afectan los aspectos económicos y de mantenibilidad; empezando por la falta de mantenimiento oportuno, que genera paradas inesperadas y posibles problemas de integridad de los equipos y por el contrario con una exagerada frecuencia de mantenimiento se generan costos elevados en repuestos y horas hombre que se pueden emplear en otras actividades indispensables.

Con el paso del tiempo se ha perdido la esencia de tener procedimientos actualizados y Análisis de Trabajo Seguro (AST) que cumplan con su función de brindar al ejecutante un panorama de los riesgos al que está expuesto en las diferentes labores y la forma de controlarlos o mitigarlos.

Otro punto importante es la falta de documentación de las actividades ejecutadas en un sistema que permita tener un histórico por equipo, de tal forma que a mediano y largo plazo se pierde la memoria del mantenimiento realizado. Así como también no existe una planeación y programación de las actividades, que permita integrar todas las áreas de soporte, lo que puede generar reprocesos. En síntesis, una inexistencia de cada uno de los tipos de mantenimiento, como: predictivo, preventivo y correctivo.

De continuar de esta forma, la actividad de operación y mantenimiento siempre estará sujeta a cambios de acuerdo a lo que suceda en el día a día, sin una planificación adecuada, sin históricos de mantenimiento para proyección de gastos y recursos y sin la posibilidad de crecimiento y mejoramiento en todos los aspectos.

Con este esquema de trabajo en el cual se tiene un comportamiento reactivo, se corre el riesgo de incidentes, y desde el punto de visto operativo se puede presentar baja eficiencia y disponibilidad de la planta.

Este documento presenta una alternativa para organizar el mantenimiento predictivo del Campo: En el primer capítulo se desarrolla el marco conceptual que soporta el documento. En el segundo capítulo se realiza el diagnóstico del campo, evidenciando las pérdidas que se generan por atender el mantenimiento del campo como actualmente se está llevando.

## **1. GENERALIDADES.**

A continuación se presenta una descripción general de las instalaciones del campo Opón con algunas características como la capacidad de la planta y su tiempo de operación; posteriormente se realiza un recuento de los tipos de mantenimiento y cómo podemos integrar la gestión de proyectos en la conceptualización de la estrategia y se da una breve explicación de los procesos y áreas de la gestión de proyectos de acuerdo con el PMBOK.

### **1.1 EL CAMPO OPÓN**

Las instalaciones industriales del campo Opón fueron construidas por la empresa Amoco Petroleum Colombia Company en 1994 bajo estándares internacionales. Las facilidades de producción en su parte industrial constan principalmente de un manifold de producción, dos separadores horizontales trifásicos, un sistema de drenaje de cerrado con KO Drum y tea, un sistema de tratamiento de gas combustible, un sistema de aire para el servicio de instrumentación, una trampa de lanzamiento de raspadores al gasoducto y un sistema de generación eléctrica en el que se cuenta con dos moto generadores principales a gas y un moto generador diésel de emergencia.

La capacidad de diseño de la planta es de 120 MMSCFD de gas y 20000 BLS de líquidos, los cuales serían despachados en su totalidad junto con la corriente de gas a través del gasoducto a la planta de ECP en el complejo El Centro en Barrancabermeja. Los líquidos eran separados del gas para ser medidos individualmente y luego unidos nuevamente a la corriente de salida de gas de los separadores antes de ingresar a la trampa de raspadores<sup>1</sup>.

Durante la vida útil del campo a lo largo de sus 18 años de existencia, la producción ha venido declinando vertiginosamente y se han tenido que adoptar medidas para continuar siendo sostenibles económicamente. Esto ha impactado significativamente en la mantenibilidad de los equipos por la disminución en el recurso humano y la adquisición de repuestos y actualización de tecnologías para no caer en la obsolescencia.

Uno de los aspectos más importantes que afecta negativamente esta circunstancia de baja producción de hidrocarburos y por consiguiente bajo flujo de caja, se relaciona con la disminución de la rigurosidad de la ejecución de los mantenimientos; la gran mayoría se dejaron de hacer en tiempo, modo y

---

<sup>1</sup> Manual de Operaciones del Campo Opón y bases de diseño.

calidad y prácticamente se optó circunstancialmente por los mantenimientos correctivos sin obedecer a una planeación ajustada a una estrategia. Esto conlleva a que progresivamente los equipos del campo pierdan su integridad, lo que puede representar un riesgo para las personas, los activos y el medio ambiente. Recientemente, con un equipo directivo renovado y una nueva visión del negocio, se proyecta un incremento en la producción, lo que implica reestablecer las condiciones de integridad de las facilidades en todos los aspectos y el diseño de un nuevo enfoque del mantenimiento y la operación para garantizar la disponibilidad y confiabilidad de todos los equipos. Este nuevo enfoque y estrategia debe ser perdurable en el tiempo aplicando los conceptos modernos y técnicas de la dirección de proyectos que permitan evaluar cada etapa y controlar tiempo, calidad, recursos económicos, entre otros aspectos de gran importancia para que la estrategia sea de gran utilidad para la compañía.

## **1.2 TIPOS DE MANTENIMIENTO**

En la industria moderna, en donde la calidad, la competitividad y la innovación marcan la diferencia entre el crecimiento empresarial e industrial o desaparecer del mercado, se hace vital que los procesos cada vez más complejos, sean mucho más continuos y eficientes; de allí nacen conceptos como disponibilidad y confiabilidad.

El mantenimiento se basa principalmente en solucionar y prever las posibles averías que puedan ocasionarse en nuestros equipos, máquinas o instalaciones, con el fin de reducir los costos debidos a las intervenciones y paradas no programadas de máquina y evitar de esta forma la interrupción de los procesos y/o el restablecimiento de los mismos, de tal forma que aumente la calidad en nuestro proceso productivo y la seguridad de los mismos.

Para el logro de estos objetivos es imprescindible la implementación de un programa de mantenimiento en donde se involucren los diferentes tipos como: Mantenimiento Correctivo, Mantenimiento Preventivo y Mantenimiento Predictivo.

**1.2.1 MANTENIMIENTO CORRECTIVO<sup>2</sup>.** Consiste en reparar la avería una vez se ha producido. Por lo general, cuando se realiza este mantenimiento el proceso de fabricación está parado, por tanto la producción disminuye y los costos aumentan. Es impredecible conocer el tiempo de reparación así como el gasto que deriva de la avería ya que se presenta de forma imprevista originando retrasos o paradas en la línea.

Figura 1. Procesos de Mantenimiento Correctivo. Falla de tornillos por efectos de alta vibración.



Con la necesidad de empezar a producir masivamente, la revolución industrial trajo consigo las primeras fábricas modernas a finales del siglo XVIII, las cuales estaban llenas de máquinas, lo que implicaba fallas, es decir, dejan de producir. Antes eso no era un gran problema, porque los procesos eran lentos y manuales, y una interrupción de la producción no ocasionaba grandes pérdidas. Por eso, y por la propia simplicidad de esas máquinas primitivas, estas podían ser reparadas por los propios operadores.

Sin embargo, cuando los procesos de producción se aceleraron y las máquinas se hicieron cada vez más complejas y costosas, empezó a asociarse el tiempo de parada con pérdidas económicas, y se hizo imperiosa la necesidad de

---

<sup>2</sup> RENOVATEC. Colección MANTENIMIENTO INDUSTRIAL, Volumen 4 [En línea]. [Consultado 26 de Febrero de 2016]. Disponible en internet: <http://www.renovatec.com/mantenimientoindustrial-vol4-correctivo.pdf>

acortar esos tiempos de inactividad forzosa. Esto dio origen a los primeros departamentos de mantenimiento, compuestos por mecánicos especializados, con conocimientos y habilidades que los operadores no tenían.

Estos primeros operarios de mantenimiento intervenían solo en caso de fallo, y su intervención se limitaba a volver a poner la máquina en marcha. Esta forma de mantenimiento fue predominante durante muchos años, hasta que más o menos en la década de 1920 la industria empezó a demandar tiempos de parada cada vez menores. La competencia era cada vez mayor, y se hizo evidente que los procesos productivos eran más rentables cuanto más fiables.

**1.2.2 MANTENIMIENTO PREVENTIVO<sup>3</sup>.** Este mantenimiento está planificado en el tiempo y su objetivo es evitar que se produzca una falla o avería que pueda generar paradas no programadas. A diferencia del anterior, no se realiza durante el tiempo de producción y por tanto es planificado en los tiempos de receso o ausencia laboral de la fábrica. Cuando el mantenimiento se realiza a equipos menores o instrumentos, estos generalmente tienen sistemas de by pass y/o override durante la ejecución del trabajo, luego se normaliza la operación.

Figura 2. Procesos de Mantenimiento Preventivo. Inspección de Ruta de Gases Calientes en Turbomaquinaria.

---

<sup>3</sup> TAVARES, Lourival. Administración Moderna del Mantenimiento, Capítulo 6, 7 y 8. Brasil: Edit. Novo Polo Publicações, 1999.



Existen dos formas de disminuir los tiempos de parada: acelerar la reparación o disminuir las paradas no programadas. El mantenimiento preventivo trabaja por el segundo punto, y su objetivo principal es que una planta nunca tenga que parar de forma no programada. Para conseguir esto, se hace un estudio de la durabilidad de las diferentes partes de una máquina, y se fuerza su reparación o reemplazo antes de que se produzca la avería.

Por ejemplo, si la vida útil de un rodamiento son 5.000 horas, el mantenimiento preventivo aconseja cambiar ese rodamiento antes de llegar al final de su vida útil. Este cambio se hará antes o después dependiendo de varios factores, como la criticidad del equipo y el tiempo y costo de la operación. Es decir, el reemplazo del rodamiento se hará antes si la máquina es importante y puede ocasionar una parada de toda la planta, o si su cambio es una operación larga y dificultosa. Caso opuesto, se buscará alargar su vida útil del componente si se trata de una máquina poco importante y lo que quiere cambiar es una pieza costosa o si su intercambio es rápido y sencillo.

En definitiva, se busca que las máquinas estén siempre en buen estado, consiguiendo que la probabilidad de avería se reduzca lo máximo posible. De esta forma, las máquinas son más confiables y la producción más eficiente y sin interrupciones.

Lo que se pretende con este tipo de mantenimiento es reducir el número de intervenciones correctivas. La metodología para hacerlo es identificar la vida útil de componentes de un equipo y agruparlos por periodos de tiempo para

reemplazarlos durante una parada programada y así evitar las interrupciones de la industria con pérdidas de tiempo.

Este es un tipo de mantenimiento exigente, pues requiere de una disciplina estricta de supervisión y elaboración de un plan preventivo por un estricto cumplimiento por parte de personal especializado. Además, al estar formado por tareas rutinarias, puede provocar falta de motivación en el personal encargado y, si no se realiza correctamente, puede llegar a suponer un sobre costo sin mejoras notables en productividad.

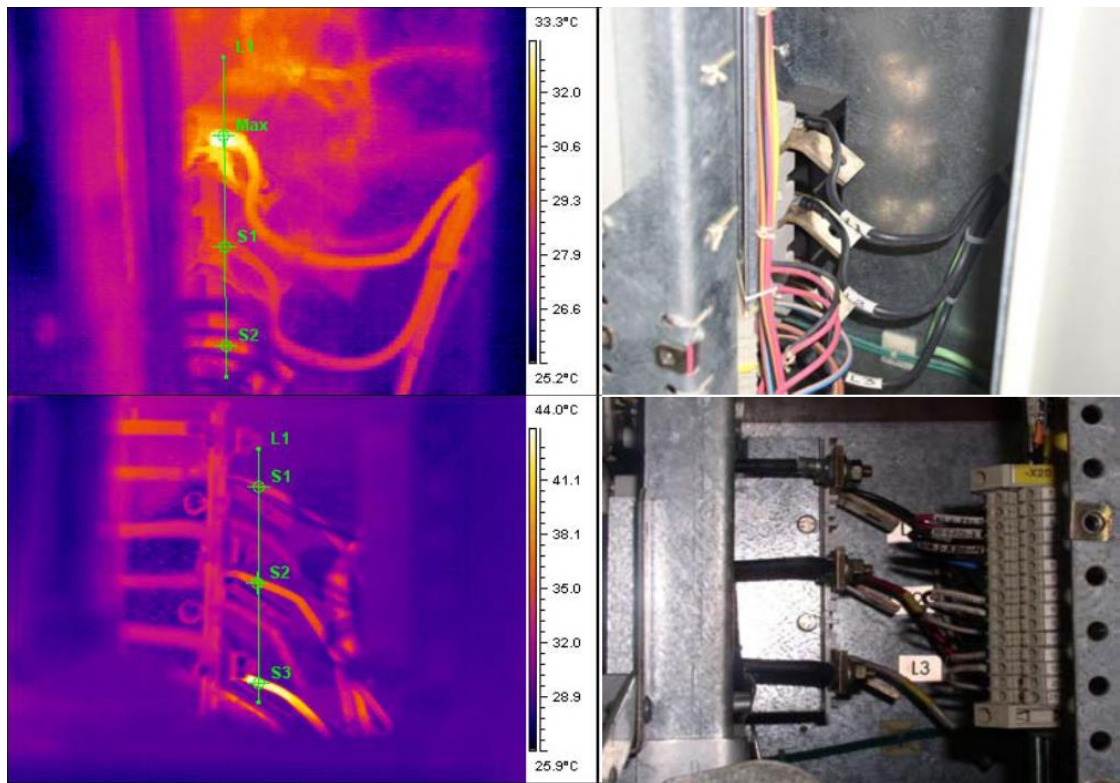
**1.2.3 MANTENIMIENTO PREDICTIVO<sup>4</sup>.** Al igual que el mantenimiento preventivo, este mantenimiento consiste en anteponerse a la falla o avería. La diferencia es que se basa en la aplicación de herramientas o técnicas de detección de los diferentes elementos medibles de anticipación a la falla, como por ejemplo el desgaste, medición de vibración, ultrasonido, termografías, etc. Su objetivo es realizar el mantenimiento justo en el momento preciso. Una vez determinada la posible falla, se programa con anticipación su correctivo.

Para poder realizarlo es necesario disponer de tecnología basada en indicadores que sean capaces de medir las variables que determinan la intervención a la máquina, así como el personal preparado en la interpretación de los datos obtenidos.

**Figura 3.** Procesos de Mantenimiento Predictivo. Inspección termográfica en el sistema eléctrico.

---

<sup>4</sup> Op cit.



A partir de los mantenimientos anteriores citados, surgió el concepto de TPM (Mantenimiento Productivo Total), originario en los años setenta en Japón con el único fin de conseguir una producción Just in Time (JIT) y conseguir la mayor confiabilidad y disponibilidad de los procesos productivos.

Esta técnica se sustenta en hacer partícipes a todos los operarios de la empresa en labores de mantenimiento. Las responsabilidades no recaen exclusivamente en los técnicos de mantenimiento, sino que es responsabilidad de todos, por tanto se consigue un resultado final más participativo y enriquecido. Está ligado al proceso de mejora continua y calidad total, y recoge conceptos del Mantenimiento Basado en confiabilidad<sup>5</sup>.

### 1.3 GESTIÓN DE PROYECTOS COMO ESTRATEGIA.

Se define como proyecto, de acuerdo con El PMBOK, como “un esfuerzo temporal que se lleva a cabo para crear un producto, servicio o resultado único.”<sup>6</sup> Todo proyecto tiene un ciclo de vida e implica el manejo de recurso

<sup>5</sup> CENTRO DE INNOVACIÓN SOCIAL. Gestión de la Calidad del Proyecto [En línea]. [Citado el 28 de Enero de 2016]. Disponible en internet: <http://www.gestionsocial.org/archivos/00000833/PM4DEV.3.pdf>

<sup>6</sup> DIAZ-CUADRADO, Angélica María. implementación de la metodología de gestión de proyectos en el desarrollo de proyectos de infraestructuras de transmisión de energía en

humano, tiempo y recursos económicos, por tal motivo es importante prestar atención en cada etapa a estos aspectos para llevarlo a cabo con éxito. Es por ello que surgen los conceptos de “gestión de proyectos”, “gerencia de proyectos” y “dirección de proyectos”.

El propósito de la Gerencia de Proyectos (GP), en una organización, que no sólo consiste en liberar los entregables a tiempo, dentro de un presupuesto y de conformidad con los requisitos técnicos y de calidad, sino también en generar valor para el negocio<sup>7</sup>.

La dirección o gestión de proyectos es la aplicación de conocimientos, habilidades, herramientas, y técnicas. Ejecutadas a las actividades del proyecto para satisfacer los requisitos del mismo. El término de dirección de proyectos es muchas veces utilizado por organizaciones orientadas a proyectos que gestionan sus actividades u operaciones continuas o que intentan alcanzar sus objetivos utilizando técnicas de gestión de proyectos<sup>8</sup>.

Estudios han demostrado que en el entorno empresarial debido a los constantes cambios, los proyectos que se gestionan mediante una estructura de buenas prácticas basadas en procesos obtienen mejores resultados, y los beneficios son notorios, tales como:

- Entregar lo pactado, pues establece expectativas realistas mediante la definición, planeación y estimación del proyecto.
- Reducir los tiempos de entrega.
- Aumento de la satisfacción del cliente y disminución de modificaciones.
- Ahorro en dinero.

Por lo tanto, la dirección de proyectos es una labor que requiere de disciplina para que sus resultados superen las expectativas.

**1.3.1 LOS PROCESOS DE DIRECCIÓN DE PROYECTOS.** La dirección de proyectos puede entenderse como un conjunto de procesos interdependientes

---

empresas públicas de Medellín E.S.P. Trabajo de grado Ingeniero Electricista. Medellín: Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Minas, 2008.

<sup>7</sup> GUERRERO-MORENO, German Alonso. Metodología para la gestión de proyectos bajo los lineamientos del Project Management Institute en una empresa del sector eléctrico [en línea]. Monografía. [Consultado el 27 de enero de 2016]. Disponible en internet: <http://www.bdigital.unal.edu.co/11161/1/940429.2013.pdf>

<sup>8</sup> EOIAMÉRICA. Nota técnica: GERENCIA DE PROYECTOS [en línea]. [Consultado el 27 de enero de 2016]. Disponible en internet: [http://api.eoi.es/api\\_v1\\_dev.php/fedora/asset/eoi:48238/componente48236.pdf](http://api.eoi.es/api_v1_dev.php/fedora/asset/eoi:48238/componente48236.pdf) [Fecha de consulta: 27 de enero de 2016]

que, si son desarrollados y ejecutados de manera integrada y coordinada, permiten alcanzar los objetivos planteados<sup>9</sup>.

Según el PMI (Project Management Institute), los procesos de dirección de proyectos se pueden clasificar u organizar en cinco grupos, que a su vez constan de uno o varios procesos:

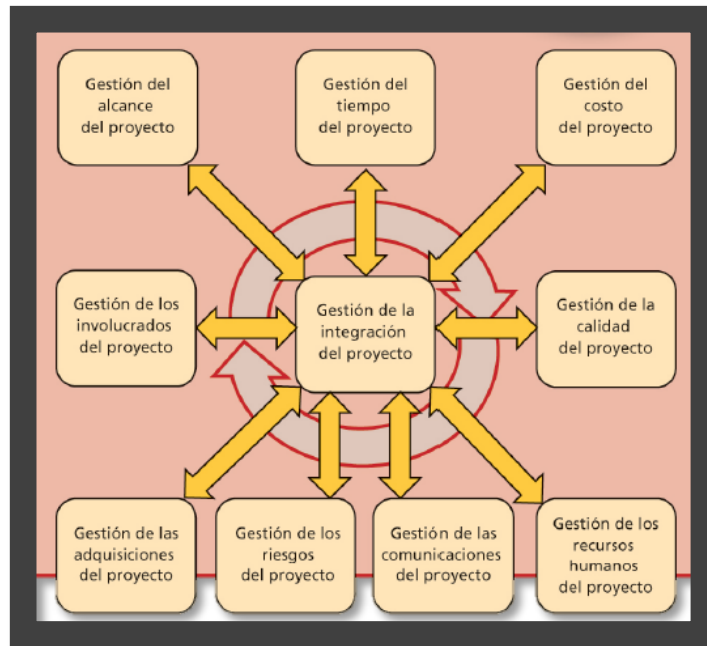
- Procesos de iniciación, para autorizar el comienzo del proyecto o de cualquiera de sus fases.
- Procesos de planificación, para definir y refinar objetivos, selección de la mejor alternativa o enfoque de proyecto para alcanzar los objetivos propuestos para el proyecto.
- Procesos de ejecución, para coordinar todo tipo de recursos necesarios para llevar a cabo el plan desarrollado en los procesos de planificación.
- Procesos de control, para asegurar que se alcanzan los objetivos planteados mediante la supervisión y medición del rendimiento que permita tomar las acciones correctivas necesarias.
- Procesos de cierre, para aceptar el proyecto o una de sus fases y proceder además al cierre ordenado del mismo.

**1.3.2 ÁREAS DE LA DIRECCIÓN DE PROYECTOS.** De acuerdo con la quinta edición del PMBOK, hay 10 áreas de conocimiento en Dirección de Proyectos. Estas son: gestión de alcance, gestión del tiempo, gestión de los costos, gestión de los involucrados, gestión de integración, gestión de calidad, gestión de las adquisiciones, gestión de los riesgos, gestión de las comunicaciones, y gestión de los recursos humanos.

Figura 4. Áreas de la dirección de proyectos

---

<sup>9</sup> Ibid 7



Fuente: Tomado de Guía PMBOK

**1.3.2.1. Gestión del alcance.** La gestión del alcance tiene como propósito definir y controlar qué se incluye y qué no se incluye en el proyecto. Para lo cual se establecen cinco procesos básicos, los cuales se presentan en la siguiente figura.

Figura 5. Procesos de la gestión del alcance



Fuente: <https://formulaproyectosurbanospmipe.wordpress.com/2012/05/08/tema-n-5-gestion-de-alcance-del-proyecto-segun-la-guia-del-pmbok-30-04-2012-sesion-10/>

**1.3.2.2. Gestión del tiempo.** La gestión del tiempo incluye todas las actividades necesarias para conseguir cumplir con el objetivo de fecha de entrega del producto del proyecto. Incluye las siguientes actividades: identificación de actividades, secuenciación lógica de

actividades, estimación de duración de las actividades, y elaboración del cronograma de proyecto<sup>10</sup>.

- 1.3.2.3. Gestión del costo del proyecto.** La Gestión de Costos asegura que las tareas se lleven a cabo dentro de los rangos económicos impuestos (presupuesto del proyecto o recursos asignados para la actividad correspondiente)<sup>11</sup>.
- 1.3.2.4. Gestión de los involucrados.** El área describe el trabajo que debe hacer el Gerente de Proyecto para involucrar y comprometer a los interesados en las decisiones clave y actividades del proyecto<sup>12</sup>.
- 1.3.2.5. Gestión de la integración.** En el contexto de la dirección de proyectos, la integración incluye acciones y decisiones de activación, unificación, consolidación y coordinación, con el fin de que el proyecto pueda cumplir con los requisitos y expectativas del cliente. Consiste en tomar decisiones sobre dónde concentrar los recursos y esfuerzos cada día, anticipando posibles incidencias<sup>13</sup>.
- 1.3.2.6. Gestión de la calidad.** asegura que todas las actividades necesarias para diseñar, planificar e implementar un proyecto sean efectivas y eficientes con respecto al propósito del objetivo y su misión. Se enfoca en mejorar la satisfacción de los interesados en el proyecto mediante la mejora continua a los procesos, incluyendo el remover actividades innecesarias o que no tiene un valor agregado; se logra por medio de la mejora continua de la calidad de los bienes y servicios entregados a los beneficiarios<sup>14</sup>.
- 1.3.2.7. Gestión de las adquisiciones.** Incluye los procesos para comprar o adquirir los productos, servicios o resultados necesarios fuera del equipo del proyecto para realizar el trabajo. Incluye la gestión de los contratos u órdenes de compra, así como de las obligaciones contractuales adquiridas por el equipo del proyecto en virtud de los contratos.

---

<sup>10</sup> Ibid. 7

<sup>11</sup> Tomado de <http://www.iue.edu.co/documents/emp/gestionCostos.pdf> [28 de Enero de 2016]

<sup>12</sup> Tomado de: <http://www.pmoinformatica.com/2013/01/quinta-edicion-de-la-guia-del-pmbok.html>

<sup>13</sup> UNIVERSIDAD DE ALCALÁ. Módulo 4: Gestión de la integración del proyecto [En línea]. [Citado el 28 de Enero de 2016]. Disponible en internet: <http://www.uv-mdap.com/programa-desarrollado/bloque-ii-certificacion-pmp-pmi/modulo-4-gestion-de-la-integracion/>

<sup>14</sup> CENTRO DE INNOVACIÓN SOCIAL. Gestión de la Calidad del Proyecto [En línea]. [Citado el 28 de Enero de 2016]. Disponible en internet: <http://www.gestionsocial.org/archivos/00000833/PM4DEV.3.pdf>

- 1.3.2.8. Gestión del riesgo.** Consiste en decidir hoy en forma eficaz y eficiente lo que podría suceder mañana que pueda afectar el buen desarrollo del proyecto. Su objetivo es realizar un proceso sistémico de identificación, análisis y respuesta a los riesgos del proyecto, con el propósito de aumentar la probabilidad de la ocurrencia de eventos positivos y disminuir la ocurrencia de eventos negativos<sup>15</sup>.
- 1.3.2.9. Gestión de las comunicaciones.** Incluye los procesos requeridos para garantizar que la generación, la recopilación, la distribución, el almacenamiento, la recuperación y la disposición final de la información del proyecto sean adecuados y oportunos<sup>16</sup>.
- 1.3.2.10. Gestión del recurso humano.** Es la que se encarga de organizar al equipo de proyecto, garantizando que sean las personas idóneas y que se les asignen los roles y responsabilidades de forma tal que se llegue a feliz término del proyecto.

---

<sup>15</sup> UNIVERSIDAD EAFIT. Notas de clase: Análisis de riesgos en la gestión de proyectos [En línea]. [Citado 28 de Enero de 2016]. Disponible en internet en: [http://www.eafit.edu.co/ecards/adjuntos-mercurio/informacion-institucional/2013/nota\\_de\\_clase\\_98\\_\\_analisis\\_de\\_riegos\\_en\\_la\\_gestin\\_de\\_proyectos.pdf](http://www.eafit.edu.co/ecards/adjuntos-mercurio/informacion-institucional/2013/nota_de_clase_98__analisis_de_riegos_en_la_gestin_de_proyectos.pdf)

<sup>16</sup> LA GUÍA PMBOK. Gestión de las comunicaciones [En línea]. [Citado 28 de Enero de 2016]. Disponible en internet: <http://uacm123.weebly.com/6-gestioacuten-de-las-comunicaciones-del-proyecto.html>

## **2. DIAGNÓSTICO DEL MODELO ACTUAL DE MANTENIMIENTO REALIZADO EN CAMPO OPÓN**

La creación de un modelo para la implementación del nuevo enfoque del mantenimiento basado en confiabilidad del campo Opón, que permita crear conciencia en todo el personal para la generación de información y datos estadísticos de cada una de sus actividades e intervenciones de los equipos, así como la visualización de los equipos críticos para garantizar su mantenibilidad, funcionalidad y confiabilidad. Esto supone a su vez un lugar de trabajo más seguro y con un óptimo desempeño.

### **2.1 IDENTIFICACIÓN DE LOS EQUIPOS DE CAMPO**

De acuerdo con la inspección de campo se identificaron equipos que intervienen en las operaciones del Campo Opón, son equipos que manejan grandes volúmenes o caudales de materiales combustibles y/o inflamables o que operan con altas temperaturas y/o presiones. El funcionamiento de los equipos de producción se describe, a nivel general, a continuación:

**2.1.1 Cabezales de pozo, líneas de flujo y manifolds.** En la actualidad el desarrollo de Opón consiste de tres pozos independientes, cada uno con un árbol de Navidad y las correspondientes líneas de flujo que conectan con el manifold de producción en las facilidades. Los cabezales de pozo y líneas de flujo controlan el flujo de la corriente del pozo del reservorio y dirigen este flujo a los dos cabezales en el manifold en las facilidades de producción.

El fluido petróleo/agua/gas, del reservorio, fluye entonces hacia la sarta de tubo, a través de la válvula de seguridad de subsuelo, y las válvulas Wing y Máster en superficie. Posteriormente pasa por los dos choques, con los cuales se controla el flujo y la presión en cabeza. La presión cae en la primera válvula estranguladora (Choque) de aproximadamente 4600 PSIG a 2050 PSIG.

Para la prueba del pozo, el flujo de los pozos individuales puede ser desviado, vía el cabezal de pruebas al separador de prueba que tiene instalaciones para medir y registrar, gas, condensado y agua de producción. El separador de prueba opera normalmente a 1100 PSIG y tiene una capacidad de diseño de 60 MMSCFD. El gas es medido por un elemento de flujo del tipo platina de orificio, conectado a una computadora de flujo. La medición del líquido es por medio de contadores de turbina para condensado y agua.

Después de la prueba, los flujos se combinan con los flujos de la producción principal. Cada flujo, sale del separador de producción y/o prueba por tuberías

individuales. Los flujos combinados de gas son enviados mediante un gasoducto de aproximadamente 75 Km a la planta de procesos Ecopetrol Centro, cerca de Barrancabermeja Santander. La corriente de agua de los dos separadores, en una proporción cercana a los 400 BPD, pasa al sistema de tratamiento de agua residual no doméstica (ARND) y posteriormente a vertimiento. El condensado es estabilizado en el KO Drum y almacenado en el TK-100 y luego despachado en carro tanques.

**2.1.2 Separador de Producción.** Al entrar el fluido de proceso al separador, hace contacto con un divisor interno (Platina deflectora) y luego fluye al separador. El proceso de separación de los fluidos se hace de forma natural por asentamiento gravitacional. El agua producida se asienta y se evacúa por una salida de 3" en el fondo del separador. El condensado (Aceite), flota en la parte superior del agua y rebosa a la cámara de condensado, el cual es evacuado por una salida de 6" en el fondo de la vasija. El nivel de las dos fases (Agua y Aceite) se controlan independiente mediante un controlador-trasmisor de nivel que envía una señal neumática a una válvula de control, la cual permite el paso de agua y aceite de forma proporcional manteniendo los niveles en un 50% aproximadamente. El gas a alta presión viaja a lo largo del separador y descarga por una salida superior de 16".

**2.1.3 Separador de prueba.** Al entrar el fluido de proceso al separador, hace contacto con un divisor interno (Platina deflectora) y luego fluye al separador. El proceso de separación de los fluidos se hace de forma natural por asentamiento gravitacional. El agua producida se asienta y se evacúa por una salida de 2" en el fondo del separador. El condensado (Aceite), flota en la parte superior del agua y rebosa a la cámara de condensado, el cual es evacuado por una salida de 4" en el fondo de la vasija. El nivel de las dos fases (Agua y Aceite) se controlan independiente mediante un controlador-trasmisor de nivel que envía una señal neumática a una válvula de control, la cual permite el paso de agua y aceite de forma proporcional manteniendo los niveles en un 50% aproximadamente. El gas a alta presión viaja a lo largo del separador y descarga por una salida superior de 8".

**2.1.4 Sistema de generación y distribución de energía eléctrica.** La energía eléctrica es generada en el sitio para alimentar las cargas eléctricas en las facilidades de producción y en los cabezales de pozo, los cuales están apartados de las facilidades de producción. Las facilidades de producción están equipadas con tres generadores, uno impulsado por un motor diésel y los otros dos impulsados por motores a gas. La energía es generada a 480 Voltios, trifásica de 60 Hertz. Los generadores impulsados por motores a gas tienen

una potencia nominal de 350 KW y la unidad diésel tiene una potencia nominal de 325 KW, todas las unidades son marca Caterpillar.

Los generadores están localizados en un edificio (Cuarto de máquinas) que aloja los tres generadores y los compresores de aire para el servicio de instrumentación. El mecanismo de control eléctrico de los generadores, el centro de control de motores (MCC), el sistema de 24 VCC, el sistema de alamas de incendios, el sistema SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) y las pantallas de operación (Cuarto de control), están ubicados en un contenedor denominado EB-100.

El mecanismo de control eléctrico de los generadores está equipado con: Transformadores, interruptores automáticos de energía, reguladores de voltaje, equipo de sincronización, etc, esto para la operación y control de los generadores.

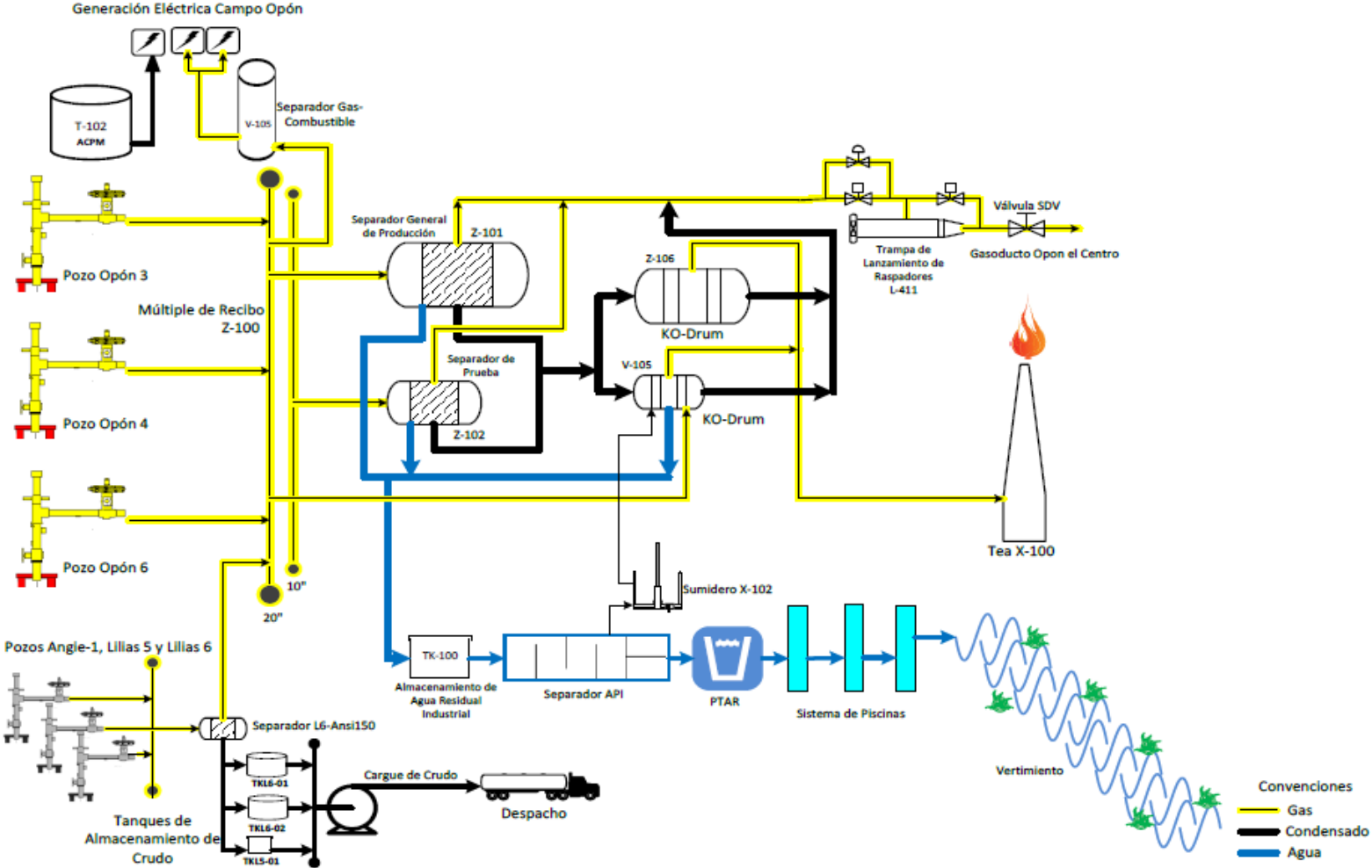
Además de los equipos principales, descritos anteriormente, las facilidades de producción cuentan con otros sistemas utilitarios que permiten y facilitan la operación, como: Sistemas de generación y distribución de energía eléctrica, sistemas de drenaje abierto y cerrado (KO Drum), sistema de gas combustible, sistema de aire para el servicio de instrumentación, sistema de tratamiento de agua residual no doméstica (ARND), sistema de almacenamiento y distribución de Diesel, sistema de almacenamiento de condensados, etc.

En la Tabla 1 se presenta un listado con los equipos más importantes.

**Tabla 1.** Equipos de Campo Opón.

Equipos	Código	Sustancia Contendida
<b>Campo Opón - Producción de gas</b>		
Cabeza de Pozos Opón 3, 4 y 6	X-030, 040 y 060	Gas-Condensado-Agua
Línea Opón 3 – Facilidades	LF-3	Gas-Condensado-Agua
Línea Opón 4 – Facilidades	LF-4	Gas-Condensado-Agua
Línea Opón 6 – Facilidades	LF-6	Gas-Condensado-Agua
Manifold de Entrada	Z-100	Gas-Condensado-Agua
Separador general de producción	Z-101	Gas-Condensado-Agua
Separador de prueba	Z-102	Gas-Condensado-Agua
Planta de gas y combustible	V-105	Gas
KO-Drum pequeño	Z-106	Gas – Condensado
KO-Drum grande	Z-501	Gas – Condensado
Sumidero	X-102	Condensado
TK-Diésel	T-102	ACPM
Caja API	API	Condensado
Tea	X-100	Gas

Figura 6. Distribución de los equipos en el Campo



## **2.2 SITUACIÓN ACTUAL DE MANTENIMIENTO EN CAMPO OPÓN.**

Teniendo en cuenta la importancia del mantenimiento en las operaciones de producción se han identificado diferentes situaciones que se han presentado, lo cual ha permitido evidenciar la necesidad de desarrollar una estrategia que permita mantener la operación sin tropiezos. Lo que se logró identificar se presenta a continuación:

- Se realiza mantenimiento correctivo a los equipos por que se evidencia la ausencia de mantenimiento predictivo y preventivo, trayendo como consecuencia la inversión de tiempo y por ende perdidas económicas para la compañía debido a la baja confiabilidad y disponibilidad de los equipos.
- No existe un plan de mantenimiento, por ello una vez se presenta la falla en el equipo o en la línea de producción se debe esperar a que transcurra el proceso Técnico y comercial (diagnóstico, cotización, elección de la mejor cotización por parte de proveedores, remplazo de equipos y mantenimiento) incluyendo tiempo de espera del proveedor más el tiempo invertido en la reparación.
- Se presentan paradas de proceso constantemente por fuga o ruptura de líneas en la parte de integridad mecánica.
- Existe un riesgo evidente para las personas que trabajan en el campo, ya que las líneas de flujo son de alta presión y con alto porcentaje de desgaste, estas pueden ocasionar una ruptura de la misma siendo esta una situación que pone en riesgo a las personas.(se hace necesario la realización de ensayos no destructivos para mejorar las condiciones)
- Se realiza inspección visual a las vasijas, sin embargo no se lleva el registro de dicho proceso, ni se diligencian formatos que permitan llevar la trazabilidad de los equipos y establecer acciones de mejora para evitar posibles eventos negativos sobre la operación en el mediano y largo plazo.
- No se cuenta con indicadores que permitan medir la gestión del mantenimiento y la confiabilidad de los equipos del campo.
- El personal no es suficiente para atender las necesidades de la gestión del mantenimiento que se requieren para el correcto funcionamiento del mismo.
- Como una medida inicial se encuentra en proceso de implementación el módulo de mantenimiento de SAP (PM), que es una herramienta ERP (Enterprise Resource Planning) para la gestión de recursos y planeación de las actividades de mantenimiento en campo.

Considerando lo anterior se realizó una evaluación de los tiempos e inversión realizada en mantenimientos correctivos durante el 2015, resultados que se presentan en la tabla No. 2.

**Tabla 2.** Mantenimiento y costos del mantenimiento de las facilidades de producción del campo Opón.

<b>CAMPO OPÓN - FACILIDADES DE PRODUCCIÓN</b>					
<b>Equipos</b>	<b>Código</b>	<b>Sistema</b>	<b>No. Fallas 2015</b>	<b>Costo Aproximado del Correctivo US\$</b>	<b>Tiempo Fuera de servicio</b>
Cabeza de Pozos Opón 3, 4 y 6	X-030, 040 y 060	Producción	No	N/A	N/A
Línea Opón 3 – Facilidades	LF-3	Producción	No	N/A	N/A
Línea Opón 4 – Facilidades	LF-4	Producción	1	158.000	10 Días
Línea Opón 6 – Facilidades	LF-6	Producción	No	N/A	N/A
Manifold de Entrada	Z-100	Producción	2	57.000	2 Días
Separador general de producción	Z-101	Producción	5	201.000	15 Días
Separador de prueba	Z-102	Producción	4	87.000	8 Días
Planta de gas y combustible	V-105	Utilitario	No	No	No
Sistema de KO-Drum	Z-106 / Z-501	Utilitario	1	112.000	4 Días
Tea	X-100	Utilitario	No	No	No
Generadores de energía	Z-107 y Z-108	Utilitario	3	15.000	60 Días
Compresores de Aire	Z-111 A/B	Utilitario	2	7.500	15 Días
TK-Diésel	T-102	Utilitario	No	No	No
Caja API	API	Utilitario	1	No	2 Días

Como se evidencia en la tabla anterior, cuatro de los equipos de producción presentaron fallas durante 2015, resaltando que el Separador general de producción es uno de los que más ha fallado y cuyo tiempo de parada es representativo. Por otra parte, de los equipos utilitarios, los generadores de energía son los que más tiempo han estado fuera de servicios, siendo estos equipos críticos para la producción ya que son los que suministran la energía para todo el sistema.

Siendo este el panorama se puede identificar la necesidad de diseñar la estrategia de mantenimiento que permita hacer seguimiento y control a las operaciones de mantenimiento.

### **3. PROPUESTA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL MANTENIMIENTO INTEGRAL A LOS EQUIPOS DE FACILIDADES DE PRODUCCIÓN DEL CAMPO OPÓN UTILIZANDO LA METODOLOGÍA DE PROYECTOS**

El propósito de este capítulo es plantear la propuesta metodológica que permita implementar el mantenimiento integral a los equipos de las facilidades de producción del campo Opón de manera estructurada y con el realizar un seguimiento a cada una de las etapas. Para cumplir con este objetivo la propuesta que se desarrolla a continuación toma las áreas de conocimiento de gestión del alcance, gestión del tiempo, gestión del costo y gestión del recurso humano, con el fin de que el mantenimiento de los equipos de facilidades se pueda realizar siguiendo una metodología y sea implementado como un proyecto, cuyos resultados serán evaluados una vez se haya implementado esta propuesta; la implementación no hace parte del alcance de esta monografía por lo tanto la parte de implementación quedará a cargo del equipo del proyecto una vez se haya culminado esta propuesta.

#### **3.1 PLAN DE GESTIÓN DEL ALCANCE**

Para definir el alcance se tendrá en cuenta la metodología descrita en el PMBOK, en donde el proceso de planeación del alcance contiene los siguientes elementos:

**3.1.1 Planificación de la gestión del alcance.** Consiste en crear un plan que especifique cómo se va a definir, validar y controlar el alcance del proyecto<sup>17</sup>. Como soporte a la planificación del alcance se encuentra el acta de constitución del proyecto, cuyo modelo se presenta en el anexo 1.

**3.1.2 Recopilación de los requisitos.** Para recopilar información de los requisitos del proyecto, se realizaron reuniones de trabajo con el equipo de ingenieros de mantenimiento y la dirección del campo, para identificar los problemas, necesidades y las posibles soluciones. Uno de los resultados de esta dinámica de trabajo fue identificar que la mejor estrategia para implementar el mantenimiento predictivo en el campo era mediante la estructuración de un proyecto de tal forma que se pudieran plantear claramente las actividades a realizar (incluyendo tiempos, repuestos, número de personal y costo del mantenimiento), para así llevar a cabo el seguimiento detallado a cada una de ellas, cumpliendo con entregables correspondientes en cada

---

<sup>17</sup> PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE. Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos (Guía PMBOK) Quinta Edición. Pensilvania: PMI, 2013.

etapa.(donde se tenga un historial de cada una de ellas y así mejorar el plan de mantenimiento de forma constante, el stock de repuestos y la capacitación del personal)

Otro de los resultados del trabajo en grupo, fue identificar los requisitos del proyecto los cuales se listan a continuación:

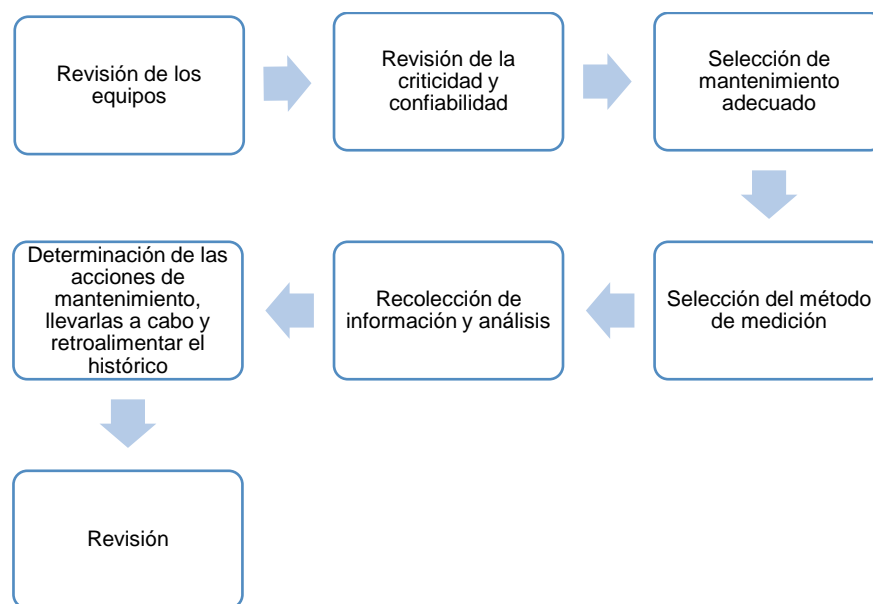
- Determinar el equipo responsable de la ejecución de las actividades del proyecto.
- Establecer o renovar los contratos, en caso que se requiera, con los proveedores de servicios de mantenimiento especializado.
- Elaborar el presupuesto para llevar a cabo las adquisiciones requeridas, tanto de personal como de equipos, durante la ejecución del proyecto.
- Definir los controles, métricas y registros que se deben llevar para que se realice el seguimiento a la ejecución de las actividades.
- Identificar las limitaciones y posibles contratiempos que se puedan presentar durante el desarrollo del proyecto.
- Verificar los componentes que fallan más frecuentemente para mantenerlas en stock para un cambio preventivo.
- Promover la capacitación al personal del campo por parte de los proveedores para disminuir costos por mantenimientos externos o paradas continuas de los equipos.

**3.1.3 Definición del alcance.** En esta primera etapa se determinarán los equipos críticos y no críticos del Campo Opón, donde se determinará la frecuencia de fallas, el tiempo de paradas, el costo de paradas frente al costo de reparación y la necesidad de personal externo que aumenta el tiempo de parada. Al definir estos parámetros se tendrá un punto de referencia para realizar mantenimientos preventivos y predictivos haciendo seguimiento y evaluación de los resultados del mismo y de este modo realizar cambios de manera progresiva, en el cual se minimice al máximo el mantenimiento correctivo y se realicen prácticas de mantenimiento predictivo como ensayos no destructivos, evitando contratiempos durante la operación del Campo.

**3.1.4 Elaboración de la Estructura de Desglose de Trabajo (EDT).** La estrategia a emplear en el Campo Opón es la de desarrollar un programa de mantenimiento que incluya el mantenimiento predictivo de los equipos de facilidades. Como guía se utilizará la norma ISO 17359:2011 que establece las

directrices para los procedimientos generales que se deben considerar al llevar a cabo un programa de monitorización de condición de máquinas. La figura 7 se presenta los pasos generales que incluye la norma para el desarrollo de las actividades de monitoreo, muchos de los cuales serán considerados en esta etapa inicial.

Figura 7. Pasos para llevar a cabo un programa de monitorización de condiciones según la ISO 17359:2011



Tomado de: RUIZ-ACEVEDO, Adriana María. Modelo para la implementación de mantenimiento predictivo en las facilidades de producción de petróleo. Monografía. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. 2012. adaptado por el autor

La primera etapa de ese proceso incluye la auditoría de los equipos para identificar los equipos y sus funciones; debido a que este ya fue un trabajo realizado previamente en el campo se omitirá del desarrollo del proyecto. Las siguientes etapas incluyen:

1. Auditoría de fiabilidad y criticidad. En esta etapa usualmente se desarrollan las actividades descritas a continuación:
  - a. Elaborar un diagrama de bloques sobre la fiabilidad. Mediante esta representación gráfica se representa los componentes del sistema y sus conexiones o dependencia con otros. Se usa para definir una relación lógica entre los componentes/equipos y como la falla de un equipo puede afectar a los demás durante la línea de producción o proceso de llegada al centro de Barrancabermeja.

- b. Establecer la criticidad de cada equipo. Con este análisis se realiza la priorización de los equipos basados sobre las consecuencias que pueden tener las fallas principalmente sobre la producción, HSE y los costos. Por lo tanto, se debe utilizar una matriz de riesgo la cual es usada para clasificar el equipo en diferentes puntos dependiendo del nivel de riesgo respecto a inspección, mantenimiento, órdenes de trabajo, entre otros. La matriz se puede desarrollar tal como se muestra en la figura 8.

Figura 8. Ejemplo de matriz de riesgo utilizada para priorización de equipos

Freq. cat.	Freq. per year (*), (**)	Mean time between failure (year)	RISK		
			M	H	H
F4	> 1	0 to 1	M	H	H
F3	0,3 to 1	1 to 3	M	M	H
F2	0,1 to 0,3	3 to 10	L	M	H
F1	< 0,1	Long	L	L	M
<b>Loss of function leading to:</b>					
<b>Consequence category</b>			<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>C3</b>
<b>Consequence safety</b>			No potential for injuries. No effect on safety systems.	Potential for injuries requiring medical treatment. Limited effect on safety systems.	Potential for serious personnel injuries. Render safety critical systems inoperable.
<b>Consequence containment</b>			Non-flammable media Non toxic media Natural/normal pressure /temperature media	Flammable media below flashpoint Moderately toxic media High pressure/ temperature media (>100 bar/80 °C)	Flammable media above flashpoint Highly toxic media Extremely high pressure /temperature media
<b>Consequence, Environment; restitution time (***)</b>			No potential for pollution (specify limit) < 1 month	Potential for moderate pollution. 1 month – 1 year	Potential for large pollution. > 1 year
<b>Consequence production</b>			No production loss	Delayed effect on production (no effect in x days) or reduced production	Immediate and significant loss of production
<b>Consequence other</b>			No operational or cost consequences	Moderate operational or cost consequences	Significant operational or cost consequences

Fuente: DAGNEW, Abiot. Optimization of periodic maintenance using condition monitoring techniques and operational data.

- c. Identificar los modos de fallo, sus efectos y criticidad (FMECA). Este análisis es usado para identificar todos los posibles modos de fallo y sus efectos sobre el sistema y evitar esas fallas o reducir sus efectos sobre el sistema.

El análisis tiene dos partes, FME y análisis crítico. El FMEA es la parte donde los diferentes tipos de modo de falla y sus consecuencias son identificados. El análisis crítico es usado para priorizar o clasificar diferentes modos de falla basado en su severidad (sobre la producción, HSE, costos, etc.)

2. Selección de las tareas apropiadas de mantenimiento. Algunos modos de falla son difíciles de identificar, por lo tanto, si los síntomas del modo de falla no puede ser medido, es necesario implementar otra estrategia de mantenimiento: correctivo, preventivo o modificación de diseño.
3. Seleccionar la técnica, método y alarmas apropiados para cada activo. En esta parte, algunas de las actividades son<sup>18</sup>:
  - Identificar los parámetros de medida. Con base en la información obtenida en el análisis de modos de falla, se identifican los parámetros que deben ser monitoreados teniendo en cuenta las consecuencias de sus variaciones.
  - Seleccionar las técnicas de medición. Dentro de las técnicas que se pueden emplear se encuentran: Locales con mecanismos instalados, semi-permanentes, remotas, entre otras. Adicionalmente, se debe definir el tipo de ejecución a implementar.
  - Definir los intervalos de monitoreo. Se debe determinar la frecuencia de revisión, periódica o continua, el cual dependerá fundamentalmente del tipo de falla, además de factores como ciclos de trabajo, las recomendaciones del equipo del proyecto, el costo y la criticidad.
  - Establecer el conjunto de alarmas o criterios de alerta. Se deben establecer con el ánimo de indicar de la manera más temprana posible la ocurrencia de una falla. Se recomienda establecer una línea base antes de iniciar para definir la condición inicial del equipo y hacer seguimiento a su evolución.
4. Recolección y análisis de datos. Hay diferentes tipos de tecnologías, modelos y algoritmos usados para la recolección de información y procesamiento de señales. Las mediciones son tomadas de diferentes recursos y procesos para identificar las tendencias de falla de los equipos y determinar los requerimientos de acciones de mantenimiento. Las actividades llevadas a cabo en esta etapa son: la adquisición de datos, manipulación de datos, estado de detección, evaluación actual del

---

<sup>18</sup> RUIZ-ACEVEDO, Adriana Maria. Modelo para la implementación de mantenimiento predictivo en las facilidades de producción de petróleo. Monografía. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. 2012

estado del equipo y evaluación de pronóstico (tendencia y frecuencia de falla para cada tipo de falla diagnosticado).

5. Determinar las acciones correctivas de mantenimiento y registrar el historial. El principal objetivo de monitorear las condiciones en los mantenimientos periódicos, es eliminar las averías en los equipos y prolongar los intervalos de mantenimiento. Si la condición del equipo estimada actual alcanza o excede un límite predefinido, se decide una acción de mantenimiento apropiada para llevarla a cabo. Si las condiciones presentes del equipo están bien, las acciones de mantenimiento serán programas para un futuro próximo de acuerdo a las tendencias de falla analizadas o pronosticadas.
6. Revisión de criterios de alertas y alarmas y de las técnicas predictivas disponibles. Finalmente, el proceso de monitoreo de las condiciones y las alarmas o estados de alerta serán revisados. Dado que el tiempo hasta que ocurre una falla se calcula con una probabilidad con alto grado de confianza basada en datos históricos y datos de monitorización de estado, por tal motivo se efectúa un mantenimiento periódico cuando es necesario, teniendo los repuestos, el personal adecuado y reduciendo el tiempo de parada.

### **3.2 PLAN DE GESTIÓN DEL TIEMPO**

Para gestionar el tiempo del proyecto se requiere: planificar la gestión del cronograma, definir las actividades, secuenciar las actividades, definir los recursos y el tiempo de duración de cada actividad. La duración del proyecto se estima determinando el tiempo de cada una de las actividades y su secuencia.

Partiendo de los componentes de la EDT, se estima en forma aproximada los recursos y duraciones de cada paquete de trabajo.

**3.2.1 Definición de las actividades y su secuencia.** Una vez se han definido a nivel general las actividades, se debe:

- Listar todas las actividades con sus atributos tales como: Actividad predecesora, actividad sucesora, relación de dependencia, adelanto o atraso de recursos, restricciones y responsable entre otros.
- Lista de hitos. Definir los eventos donde se aprueban los entregables importantes dentro del proyecto.

Realizada la definición de las actividades, se establece mediante un diagrama de Gantt o diagrama de red del cronograma, todas las actividades del proyecto y su secuencia desde el comienzo hasta el fin. Esto permite visualizar de manera más clara y sintetizada la precedencia de cada una de las actividades, su duración y cuáles se ejecutan en forma paralela, teniendo más claro el orden del proyecto.

Como ya ha sido definida la EDT del proyecto, se deben determinar cada una de las actividades que serán los entregables de la primera fase del proyecto.

**Tabla 3.** Definición de las actividades y su secuencia.

<b>ID</b>	<b>Actividades</b>	<b>Predecesora</b>
1	Establecer el presupuesto para el área de mantenimiento y la disponibilidad del equipo a las actividades de planeación	
2	Elaborar el diagrama de bloques sobre la fiabilidad.	1
3	Definir los criterios para la evaluación de criticidad de los equipos	1
4	Desarrollar la matriz de riesgos para clasificar los equipos	3
5	Calcular la afectación a la línea de producción y a los demás equipos del Campo.	4
6	Identificar los modos de fallo, observando sus efectos y criticidad.	"4;5"
7	Determinar la disponibilidad de personal capacitado para el mantenimiento.	1
8	Selección de las tareas apropiadas de mantenimiento.	6
9	Verificar la disponibilidad de los repuestos en stock y/o la obtención de los mismos de manera oportuna por parte de los proveedores.	8
10	Determinar el tiempo de parada y tiempo de reparación.	9
11	Selección de la técnica, método y alarmas de medición de fallas apropiadas para cada activo.	6
12	Identificar los parámetros de medida.	11
13	Seleccionar las técnicas de medición (como por ejemplo ensayos no destructivos)	12
14	Definir los intervalos de monitoreo para realizar mantenimientos preventivos en un inicio y la posible realización de mantenimiento predictivos a todo el Campo.	11
15	Establecer el conjunto de alarmas si es posible de manera puntual para cada uno de los diferentes modos de falla identificados.	13
16	Recolección y análisis de datos de manera más concreta y detallada tanto en la plataforma SAP como en la hoja de vida para cada uno de los equipos.	1
17	Evaluar los resultados y realizar los cambios necesarios al proyecto	15
18	Capacitar al personal encargado para la ejecución de las actividades de mantenimiento preventivo y predictivo.	15

### 3.2.2 Estimación de los recursos de las actividades y su duración.

Antes de poder estimar la duración de cada actividad es necesario calcular los recursos disponibles y necesarios para cada una de ellas. En esta etapa se lista los recursos de las actividades; es decir, la cantidad y tipo de recurso para cada una, con ello se determinará si se cuentan con los recursos necesarios o si se requiere adquirir recursos adicionales; lo cual implicará evaluar la inversión en dicho rubro y demostrar los beneficios puntuales y futuros que conlleven a ser más competente el Campo. Cabe mencionar que en esta etapa de planeación del proyecto se hará uso del personal del campo con una dedicación estimada el proyecto.

Para estimar la duración se puede utilizar:

- Estimación análoga (o por analogía): Se realiza la estimación de la duración en función de otras actividades similares realizadas con anterioridad.
- Análisis de reserva: Agregar a las actividades una reserva de tiempo para contingencias.
- Técnicas grupales de toma de decisiones: Evaluar alternativas en equipo para estimar la duración.
- Estimación paramétrica: Utilizar parámetros en base a información histórica para poder estimar la duración de una actividad futura.
- Estimación de repuesta externa: consultar con los proveedores el tiempo de respuesta por parte de técnicos, repuestos o asesorías.

Para el caso de este proyecto, se utilizó la evaluación grupal de las alternativas para estudiar la duración, ya que el equipo que conforma el proyecto tiene amplio conocimiento en estos temas. A continuación, se presentan las actividades con su duración estimada.

**Tabla 4.** Estimación de los recursos de las actividades y su duración.

ID	Actividades	Tipo de recurso	Cantidad	Duración (Días)
1	Establecer el presupuesto para el área de mantenimiento y la disponibilidad del equipo a las actividades de planeación	Gerente Administrativo y Financiero	1	7
		Gerente de Operaciones	1	
		Superintendente de campo	1	
2	Elaborar el diagrama de bloques sobre la fiabilidad.	Supervisor de Mantenimiento	1	30
3	Definir los criterios para la evaluación de criticidad de los equipos	Gerente de Operaciones	1	14
		Superintendente de Campo	1	

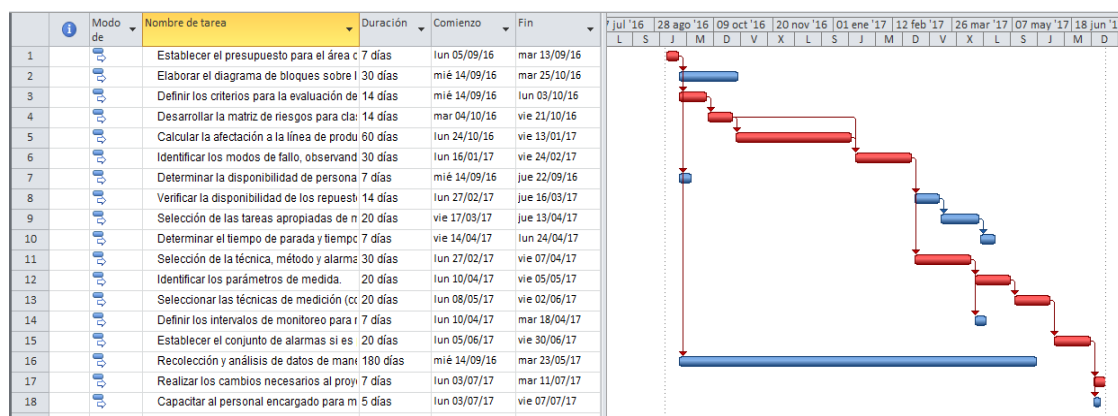
		Ingeniero de Producción	1	
		Supervisor de Mantenimiento	1	
		Supervisor de Operaciones	1	
4	Desarrollar la matriz de riesgos para clasificar los equipos	Supervisor de Mantenimiento	1	14
		Supervisor de Operaciones	1	
		Ingeniero de Producción	1	
		Coordinador HSEQ	1	
5	Calcular la afectación a la línea de producción y a los demás equipos del Campo.	Ingeniero de Producción	1	60
		Supervisor de Operaciones	1	
		Superintendente de campo	1	
6	Identificar los modos de fallo, observando sus efectos y criticidad.	Superintendente de campo	1	30
		Supervisor mantenimiento	1	
		Ingeniero de Producción	1	
7	Determinar la disponibilidad de personal capacitado para el mantenimiento.	Superintendente de campo	1	7
		Coordinador HSEQ	1	
8	Verificar la disponibilidad de los repuestos en stock y/o la obtención de los mismos de manera oportuna por parte de los proveedores.	Planeador	1	14
9	Selección de las tareas apropiadas de mantenimiento.	Superintendente de campo	1	20
		Supervisor de Mantenimiento	1	
		Supervisor de Operaciones	1	
10	Determinar el tiempo de parada y tiempo de reparación.	Gerente de operaciones	1	7
		Superintendente de Campo	1	
		Supervisor mantenimiento	1	
		Supervisor de operaciones	1	
		Ingeniero de producción	1	
		Planeador	1	
11	Selección de la técnica, método y alarmas de medición de fallas apropiadas para cada activo.	Supervisor de mantenimiento	1	30
		Supervisor de operaciones	1	
		Ingeniero de producción	1	

12	Identificar los parámetros de medida.	Supervisor de mantenimiento	1	20
		Supervisor de operaciones	1	
		Ingeniero de producción	1	
13	Seleccionar las técnicas de medición (como por ejemplo ensayos no destructivos)	Supervisor de mantenimiento	1	20
		Supervisor de operaciones	1	
		Ingeniero de producción	1	
14	Definir los intervalos de monitoreo para realizar mantenimientos preventivos en un inicio y a futuro llegar a realizar mantenimiento predictivos a todo el Campo.	Supervisor de mantenimiento	1	7
		Planeador	1	
15	Establecer el conjunto de alarmas si es posible de manera puntual para cada uno de los diferentes modos de falla identificados.	Superintendente de campo	1	20
		Supervisor de mantenimiento	1	
16	Recolección y análisis de datos de manera más concreta y detallada tanto en la plataforma SAP como en la hoja de vida para cada uno de los equipos.	Ingeniero de producción	1	180
		Técnico Mecánico	1	
		Técnico Electricista	1	
		Técnico Instrumentista	1	
		Ope. Cuarto de control	1	
		Ope. Campo	1	
		Ope. Gasoducto	1	
17	Evaluar Realizar los cambios necesarios al proyecto	Gerente de Operaciones	1	7
		Gerente Administrativo y Financiero	1	
		Superintendente de campo	1	
		Ingeniero de Producción	1	
18	Capacitar al personal encargado para la ejecución de las actividades de mantenimiento preventivo y predictivo.	Supervisor de mantenimiento	1	5
		Coordinador HSEQ	1	
		Capacitador Externo	1	

**3.2.3 Desarrollo del cronograma.** Desarrollar el cronograma consiste en integrar todas las partes: Actividades, secuencias, recursos y duraciones. Con este paso se espera tener el cronograma y la línea base del proyecto.

Para programar las tareas y asignar los recursos con su respectivo presupuesto, se utilizó Microsoft Project 2010; la programación inicial se observa en la imagen que se presenta en la figura 9.

Figura 9. Programación del proyecto en Microsoft Project 2010



Una vez se han establecido las actividades, su duración, y su secuencia se puede determinar la ruta crítica del proyecto, es decir, aquellas actividades en la que hay que prestar especial atención ya que representarán un atraso para el proyecto en caso de que no se cumpla con su ejecución en el tiempo planeado. Este será un reto para el equipo del proyecto y para el superintendente de campo en quien está encomendada la labor de dirigir esta etapa del proyecto.

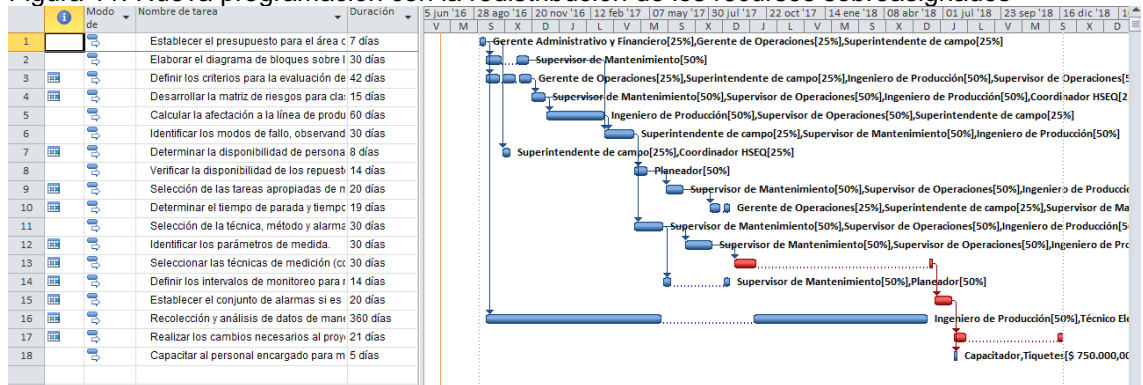
Adicionalmente, al realizar la asignación de los recursos se observa que existe una sobreasignación de recursos, ya que debido a que esta primera etapa es de planeación se requiere de la participación de varios de los miembros del equipo en diferentes actividades; sumado a lo anterior, los integrantes del equipo hace parte de la plantilla de personal de la empresa, motivo por el cual no pueden disponer de tiempo completo para el desarrollo de la primera etapa del proyecto, limitando de así la ejecución del proyecto en el tiempo planeado.

Figura 10. Asignación de los recursos a las actividades en Microsoft Project 2010

Nombre del recurso	Trabajo	04 sep '16	20 nov '16	05 feb '17	23 abr '17	09 jul '17
Gerente Administrativo y Financiero	28 horas	14h				14h
Gerente de Operaciones	70 horas	42h			2h	12h
Supervisor de Mantenimiento	868 horas	56h	34h	56h	38h	2h
Planeador	84 horas	144h	88h	44h	112h	208h
Supervisor de Operaciones	740 horas				36h	40h
Ingeniero de Producción	1.608 horas	72h	108h	112h	60h	36h
Coordinador HSEQ	52 horas	144h	216h	224h	208h	224h
Técnico Mecánico	1.440 horas	22h	20h			
Técnico Electricista	1.440 horas	144h	216h	224h	208h	224h
Técnico Instrumentista	1.440 horas	144h	216h	224h	208h	224h
Ope. Cuarto de control	1.440 horas	144h	216h	224h	208h	224h
Ope. Campo	1.440 horas	144h	216h	224h	208h	224h
Ope. Gasoducto	1.440 horas	144h	216h	224h	208h	224h
Capacitador	40 horas					
Tiquetes						
Gastos de viaje						
Refrigerios						

Teniendo en cuenta lo anterior, fue necesario realizar una redistribución de los recursos sobreasignados, lo cual modifica la duración del proyecto. En este caso particular, la alternativa es redistribuir, ya que para esta etapa no se contempla la contratación de personal y no es posible descargar completamente a un recurso de sus actividades habituales ya que esto implicaría el atraso de las actividades de rutina, que representan igualmente un costo para la organización. Una vez llevada a cabo la redistribución la nueva programación del proyecto queda planteada como se muestra en la figura 11.

Figura 11. Nueva programación con la redistribución de los recursos sobreasignados



Con la nueva programación se evidencia un cambio en la ruta crítica del proyecto; disminuye el número de actividades de la ruta pero se incrementa el tiempo para llevar a cabo el proyecto. En este caso, es necesario evaluar con la Gerencia General las implicaciones que puede tener para la compañía la extensión del tiempo que se planeaba inicialmente para desarrollar esta etapa.

### 3.3 PLAN DE GESTIÓN DE COSTOS

**3.3.1 Planeación de los costos.** Uno de los factores importantes a la hora de planear un proyecto es definir cómo se van a estimar los costos, desarrollar el presupuesto y controlar los desvíos del mismo; por ello se debe tener en cuenta si se utilizarán redondeos o se permiten decimales. Si se llevarán los costos equivalentes en otra moneda. En esta primera etapa que es la planeación para la implementación posterior del mantenimiento en campo, los costos se estimarán en COP, pesos colombianos. Sin embargo, es relevante resaltar que una vez se inicie la programación de la ejecución se deben contemplar costos en dólares ya que los repuestos para los equipos implican importaciones.

Igualmente, es importante definir si los costos pueden tener una variación, y definir el procedimiento de aprobación en caso que se pase de la meta propuesta. Esto implicará realizar análisis de valor con el ánimo de buscar las alternativas más económicas para realizar el trabajo; para esta primera etapa se debe contratar la capacitación del personal, por tanto se deben evaluar diferentes alternativas de tal manera que no se exceda el presupuesto establecido para dicha actividad.

**3.3.2 Estimación de los costos.** Para realizar la estimación de los costos, se evaluaron los recursos que se necesitan para la ejecución de las tareas del proyecto y el costo por horas dedicadas a completar las actividades del proyecto. Debido a que el tipo de recurso a emplear, en su mayoría, implica el trabajo de una persona dedicada al desarrollo de una tarea, se estimó el costo por hora considerando que cada recurso destinará un número total de horas a cada actividad del proyecto y que su valor por hora es un estándar en relación al salario mensual devengado. Considerando lo anterior se establecieron los costos como se presentan en la tabla 5.

**Tabla 5.** Costo de los recursos por tipo de recurso.

Nombre del recurso	Tipo	Tasa estándar	Costo/Uso	Acumular	Calendario base
Gerente Administrativo y Financiero	Trabajo	\$ 54.167,00/hora	\$ 0,00	Prorratio	Estándar
Gerente de Operaciones	Trabajo	\$ 48.333,00/hora	\$ 0,00	Prorratio	Estándar

Superintendente de campo	Trabajo	\$ 42.292,00/hora	\$ 0,00	Prorrateo	Estándar
Supervisor de Mantenimiento	Trabajo	\$ 21.750,00/hora	\$ 0,00	Prorrateo	Estándar
Planeador	Trabajo	\$ 12.083,00/hora	\$ 0,00	Prorrateo	Estándar
Supervisor de Operaciones	Trabajo	\$ 24.167,00/hora	\$ 0,00	Prorrateo	Estándar
Ingeniero de Producción	Trabajo	\$ 26.583,00/hora	\$ 0,00	Prorrateo	Estándar
Coordinador HSEQ	Trabajo	\$ 18.125,00/hora	\$ 0,00	Prorrateo	Estándar
Técnico Mecánico	Trabajo	\$ 18.125,00/hora	\$ 0,00	Prorrateo	Estándar
Técnico Electricista	Trabajo	\$ 18.125,00/hora	\$ 0,00	Prorrateo	Estándar
Técnico Instrumentista	Trabajo	\$ 18.125,00/hora	\$ 0,00	Prorrateo	Estándar
Ope. Cuarto de control	Trabajo	\$ 19.333,00/hora	\$ 0,00	Prorrateo	Estándar
Ope. Campo	Trabajo	\$ 19.333,00/hora	\$ 0,00	Prorrateo	Estándar
Ope. Gasoducto	Trabajo	\$ 19.333,00/hora	\$ 0,00	Prorrateo	Estándar
Capacitador	Trabajo	\$ 115.000,00/hora	\$ 0,00	Prorrateo	Estándar
Tiquetes	Costo		\$ 750.000	Prorrateo	
Gastos de viaje	Costo		\$1.525.000	Prorrateo	
Refrigerios	Costo		\$ 105.000	Prorrateo	

Como se observa en la tabla anterior, únicamente se tienen programados costos diferentes a los de personal para la actividad de capacitación, que implica contemplar los honorarios del capacitador, los tiquetes y los gastos de viaje.

**3.3.3 Determinar el presupuesto.** Considerando que en esta etapa del proyecto los costos de las actividades están relacionados directamente con las horas hombre que se requieren para la planeación, por tal motivo el costo del proyecto incluye la suma de uso de los recursos en cada una de las actividades durante toda esta etapa. Esta información es suministrada por las estadísticas del proyecto configurado en Project, como se presenta a continuación.

Figura 12. Costo total del proyecto.

	Comienzo	Fin
Actual	lun 05/09/16	jue 20/12/18
Previsto	lun 05/09/16	mar 11/07/17
Real	NOD	NOD
Variación	0d	377d

	Duración	Trabajo	Costo
Actual	599d	12.448h	\$ 268.612.935,68
Previsto	222d	0h	\$ 0,00
Real	0d	0h	\$ 0,00
Restante	599d	12.448h	\$ 268.612.935,68

Porcentaje completado:

Duración: 0%      Trabajo: 0%

Como puede observarse el costo para la compañía es significativo, pese a que no se incurre en un costo adicional debido a que el personal está directamente contratado por la compañía para las labores de rutina dentro del campo, aun así es importante cuantificarlo, ya que se genera de esta manera un mayor compromiso desde la gerencia general así como la de todos los actores en la etapa de planeación e implementación del mantenimiento.

### 3.4 PLAN DE RECURSOS HUMANOS

**3.4.1 Planeación de la gestión de los recursos humanos.** Para este proyecto se deben definir a nivel de detalle los roles, responsabilidades y habilidades de los miembros del equipo del proyecto y las relaciones de comunicación que se tendrán. El organigrama del equipo del proyecto se define en la figura 12. Si se requiere realizar modificaciones al mismo se debe dar respuesta a las siguientes preguntas:

- ¿Cómo y cuándo se incorporará cada miembro del equipo?
- ¿Cuáles son sus capacidades actuales y sus necesidades de formación?
- ¿Cuáles serán sus roles y responsabilidades?
- ¿Cuáles serán los paquetes de trabajo que asignaremos a cada miembro del equipo?
- ¿Cuándo deberá enviar los informes cada persona?
- ¿A qué reunión deberá asistir cada uno?
- ¿Cómo será el plan de recompensas individual y grupal?

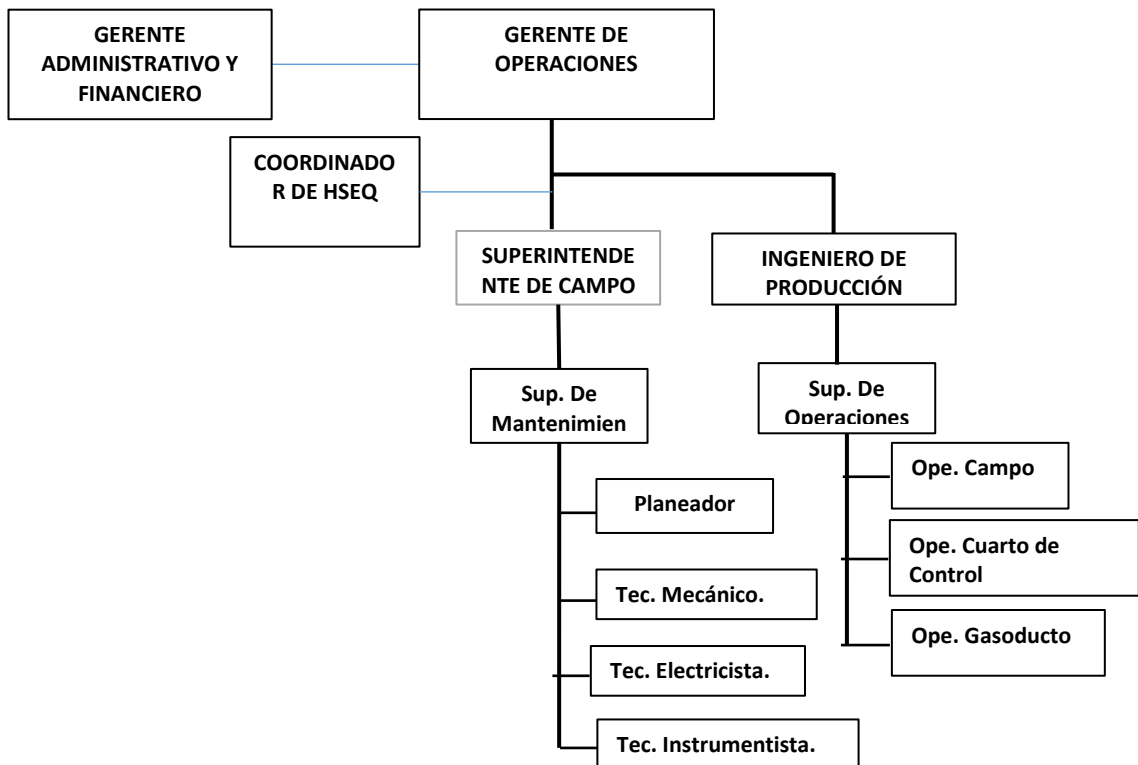
- ¿Cómo vamos a proteger al personal de las contingencias externas?
- ¿Cómo y cuándo desafectaremos a las personas?

Cualquier modificación que se presente será responsabilidad del equipo de proyecto hacer los ajustes pertinentes respondiendo a cada una de las preguntas establecidas anteriormente.

**3.4.2 Definición del equipo del proyecto.** Para el desarrollo de la planeación y la ejecución del proyecto, se ha determinado contar con el apoyo total bajo la gerencia de operaciones, el apoyo de la gerencia administrativa y financiera quienes contribuirán en la planeación de los costos, y una vez se implemente el proyecto de mantenimiento, de los recursos financieros y el control presupuestal de manera tal que se cumplan con los objetivos propuestos por la compañía respecto al presupuesto asignado para tal fin.

Adicionalmente, en el equipo se vincula al coordinador de HSEQ quien contribuirá con la identificación de los riesgos a nivel de seguridad industrial, ambiental y de calidad que se puedan presentar, y durante la ejecución del proyecto en velar por el cumplimiento de todos los procedimientos y normas referentes a este campo. El superintendente de campo, junto con los supervisores de mantenimiento y operaciones, el ingeniero de campo y el ingeniero de producción, de desarrollar a nivel de detalle la planeación de las actividades del mantenimiento, identificar los riesgos que se puedan presentar en la operaciones de mantenimiento y hacer el seguimiento a las actividades y a los indicadores de calidad establecidos para evaluar la efectividad de las actividades de mantenimiento. El organigrama del proyecto se presenta a continuación.

**Figura 13.** Organigrama del proyecto



Fuente: Documentos Campo Opón

Una vez se ha identificado el equipo del proyecto, será este en el encargado de hacer la planeación, ejecución y seguimiento del mismo. Los pasos que debe seguir el equipo para definir la planeación detallada del proyecto se establecen en el siguiente ítem.

**3.4.3 Definición de los roles y responsabilidades.** Es importante definir las funciones y la responsabilidad que tendrá cada miembro del equipo del proyecto, por esta razón a continuación se describen las funciones una vez se ha definido el organigrama que se encuentra en detalle en la parte de arriba.

- **Gerente administrativo y financiero.** Es el encargado de revisar el presupuesto del proyecto, establecer la codificación de los rubros para su contabilización, determinar los límites para la cotización de los servicios, equipos y demás que se requieran durante la planeación y la ejecución del proyecto. Es el encargado de designar a quien será el responsable de controlar el gasto y actualizar la ejecución presupuestal de proyecto. En caso de presentarse una eventualidad de gran magnitud que este fuera de su alcance, debe reportarla al Gerente General, que no fue incluido dentro del organigrama del proyecto debido a la disponibilidad de tiempo con la que cuenta para atender todo el proceso de planeación y ejecución del mismo.

- **Gerente de operaciones.** Lidera el proceso de planeación, revisa el presupuesto y mantiene los límites establecidos en el mismo. Asigna las responsabilidades de la planeación y la ejecución del proyecto. Contribuye en la definición de los criterios para la evaluación de criticidad de los equipos, en la determinación de los tiempos de paradas para las reparaciones, así como en la revisión de los avances del proyecto y en el replanteamiento de los ítems que deban modificarse. En caso de presentarse una eventualidad de gran magnitud que este fuera de su alcance, debe reportarla al Gerente General.
- **Coordinador HSEQ.** Contribuye en la identificación de los riesgos posibles que se pueden presentar durante la ejecución del proyecto. Lidera la capacitación del personal. Asegura el cumplimiento de las normas de seguridad para el desarrollo de las actividades. Reporta el avance de sus actividades al Gerente de Operaciones.
- **Superintendente de campo.** Será el encargado de coordinar las actividades necesarias para garantizar la operación adecuada de los procesos y el buen funcionamiento de todos los equipos. Verifica que los procedimientos de operación de los equipos se encuentren disponibles para realizar los mantenimientos y de asignar la elaboración de los mismos en caso de que no existan. Garantiza que el personal cumpla con las actividades y que se cumpla con los objetivos trazados para el proyecto. Reporta informe de avance de sus actividades al Gerente de Operaciones.
- **Supervisor de mantenimiento.** Lidera la identificación y definición de los equipos críticos y técnicas predictivas a aplicar, es el encargado una vez terminada la etapa de planeación e identificación de velar por la implementación de las tareas correctivas, preventivas y predictivas de los equipos del campo. Realiza los diagramas de bloque y lleva a cabo el levantamiento de los procedimientos que sean necesarios para realizar el mantenimiento. Reporta informe de avance de actividades al superintendente de campo.
- **Supervisor de operaciones.** Contribuye a la identificación y definición de los equipos críticos y de las técnicas de mantenimiento. Ejecuta las tareas de rutina que surgen de las recomendaciones generadas por el supervisor de mantenimiento.

- **Ingeniero de producción.** Contribuye a la identificación y definición de los equipos críticos y de las técnicas de mantenimiento. Evalúa las paradas en planta junto con el supervisor de mantenimiento y operaciones para que durante la ejecución del mantenimiento no se vea afectada la producción del campo.
- **Planeador.** Participa en la definición de los parámetros para la identificación de los equipos críticos. Se encarga de revisar la disponibilidad del recurso humano, equipos y herramientas para el desarrollo de las actividades de mantenimiento y participa en la definición de las paradas de planta.
- **Técnico mecánico.** Contribuye a la recolección de datos de la parte mecánica, apoyando al operador de campo en este proceso. Realiza el acompañamiento al personal para las rutinas de mantenimiento.
- **Técnico electricista.** Contribuye a la recolección de datos de la parte eléctrica, apoyando al operador de campo en este proceso. Realiza el acompañamiento al personal para las rutinas de mantenimiento.
- **Técnico Instrumentista.** Contribuye a la recolección de datos en instrumentos de control, medida y protección, apoyando al operador de campo en este proceso. Realiza el acompañamiento al personal para las rutinas de mantenimiento.
- **Operador de campo.** Esta encargado de realizar recolección de datos de los equipos que opera. Reporta estos al supervisor de operaciones para el respectivo análisis
- **Operador cuarto de control.** Esta encargado de realizar recolección de datos de los equipos que opera. Reporta estos al supervisor de operaciones para el respectivo análisis.
- **Operador Gasoducto.** Esta encargado de realizar recolección de datos de los equipos que opera. Reporta estos al supervisor de operaciones para el respectivo análisis.

Una vez se han establecido los miembros del equipo y sus responsabilidades durante esta etapa del proyecto, solo resta dar inicio a la dinámica de trabajo que permitirá establecer la planeación para la ejecución del mantenimiento preventivo y predictivo en Campo Opón. Este proyecto solo incluye la etapa de

planeación, por tanto será responsabilidad de la Gerencia General, establecer las pautas para dar continuidad a la etapa de ejecución, la cual requerirá de mayor inversión en recursos internos y externos, así como de equipos especializados y repuestos que deben quedar contemplados en la segunda etapa.

#### 4. CONCLUSIONES

- Es importante destacar como a partir de la metodología de dirección de proyectos desarrollada por el PMBOK se logra estructurar la estrategia de mantenimiento predictivo del Campo Opón, considerando las etapas desde el inicio hasta la evaluación de los resultados del proyecto. Lo anterior, es de gran interés para la compañía ya que con ello se pueden realizar los ajustes pertinentes para implementar el mantenimiento como una rutina de trabajo dentro del campo.
- La metodología que se propone en esta monografía, facilitará la labor del equipo de proyecto y disminuirá el tiempo en el proceso de implementación del mantenimiento preventivo y predictivo en Campo, ya que se utilizan técnicas y herramientas que han sido empleadas con éxito en procesos similares y que se adaptan específicamente para los equipos del Campo, haciendo uso del conocimiento de los profesionales que se encuentran constantemente en el desarrollo de las tareas habituales de su labor.
- Implementar el mantenimiento preventivo y predictivo en el Campo Opón será de gran ayuda para evitar fugas de dinero, pérdidas de tiempo, paradas inesperadas y soluciones momentáneas que no contribuyen a la productividad del campo.
- La etapa inicial de planeación es importante ya que intervienen los actores interesados en la elaboración de la misma, la cual determinará el éxito de la ejecución.
- Una vez se establecieron las actividades, la duración, la secuencia de ejecución y los recursos con su disponibilidad, se evidenció que debido a que no se podía contar con la disponibilidad del 100% de los recursos, la planeación para la ejecución del mantenimiento tomaría más tiempo del que se tenía proyectado inicialmente. Por lo tanto, fue necesario replantear la secuencia de las actividades para no sobre asignar a los recursos y no interrumpir sus labores de rutina, lo cual también afecta el costo en la compañía.
- Utilizar herramientas como Microsoft Project, no solo facilita la integración de cada una de las partes del proyecto dentro de una sola infraestructura, sino además permite visualizar eventos de alarma que deben reprogramarse para que el proyecto se lleve a cabo sin mayores contratiempos o evitar que se asigne un recurso más de su capacidad y que este no pueda cumplir con las labores encomendadas, que fue el caso presentado inicialmente al realizar la programación en el software.

- Utilizar la metodología de proyectos para programar el proyecto de mantenimiento desde la planeación del mismo permite contemplar todos los aspectos que afectan el desarrollo del mismo. Por medio de esta fue posible evidenciar que, aunque el proyecto se planteaba inicialmente para un tiempo determinado, con los recursos disponibles no es posible cumplir con dicha meta, ya que implicaría que algunos de los recursos tuvieran dedicación de tiempo completo para el desarrollo del mismo. Es importante por ello, presentarle a la Gerencia General la programación para que se tomen decisiones importantes en cuanto a la conveniencia de prolongar el desarrollo del proyecto.

## Verificación del Cumplimiento de Objetivos

TIPO DE OBJETIVO	CÓMO SE CUMPLIÓ
<b>OBJETIVO GENERAL</b>	
Elaborar una propuesta que le permita a la gerencia implementar una estrategia de mantenimiento integral a cada uno de los equipos de producción del campo Opón en el municipio de Cimitarra Santander.	Mediante el planteamiento de un modelo de mantenimiento predictivo utilizando la estrategia de proyectos
<b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b>	
➤ Argumentar los antecedentes, evolución e importancia del concepto de Mantenimiento.	Capítulo 1. Generalidades
➤ Describir los tipos de mantenimiento en la industria petrolera.	Capítulo 1. Generalidades
➤ Identificar los equipos e instrumentos utilizando los planos & diagramas existentes en el campo Opón para explicar su importancia de acuerdo a su funcionamiento en el proceso.	Capítulo 2. Diagnóstico
➤ Definir la criticidad de los equipos aplicando una matriz vigente para este tipo de estudios.	Capítulo 2. Diagnóstico
➤ Propuesta para la implementación del mantenimiento integral a los equipos de facilidades de producción del campo Opón utilizando la metodología de gestión de proyectos.	Capítulo 3. Desarrollo

## BIBLIOGRAFÍA

ANONIMO. Gestión de las comunicaciones del proyecto [En línea]. [Consultado el 28 de Enero de 2016]. Disponible en: <http://uacm123.weebly.com/6-gestioacuten-de-las-comunicaciones-del-proyecto.html>

COLABORADORES DE WIKIPEDIA. "Mantenimiento" [en línea]. En: *Wikipedia, La enciclopedia libre*, 2013 [Consultado el 19 de julio del 2014]. Disponible en internet: <http://es.wikipedia.org/wiki/Mantenimiento>.

CENTRO DE INNOVACIÓN SOCIAL. Gestión de la Calidad del Proyecto [En línea]. [Citado el 28 de Enero de 2016]. Disponible en internet: <http://www.gestionsocial.org/archivos/00000833/PM4DEV.3.pdf>

DAGNEW, Abiot. Optimization of periodic maintenance using condition monitoring techniques and operational data [En línea]. Master, thesis. [Consultado el 26 de Febrero de 2016]. Disponible en internet: [http://www.nb.no/idtjeneste/URN:NBN:no-bibsys\\_brage\\_33725](http://www.nb.no/idtjeneste/URN:NBN:no-bibsys_brage_33725)  
<http://hdl.handle.net/11250/182986>

DIAZ-CUADRADO, Angélica Maria. implementación de la metodología de gestión de proyectos en el desarrollo de proyectos de infraestructuras de transmisión de energía en empresas públicas de Medellín E.S.P. Trabajo de grado Ingeniero Electricista. Medellín: Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Minas, 2008.

EOIAMÉRICA. Nota técnica: GERENCIA DE PROYECTOS [en línea]. [Consultado el 27 de enero de 2016]. Disponible en internet: [http://api.eoi.es/api\\_v1\\_dev.php/fedora/asset/eoi:48238/componente48236.pdf](http://api.eoi.es/api_v1_dev.php/fedora/asset/eoi:48238/componente48236.pdf) [Fecha de consulta: 27 de enero de 2016]

GUERRERO-MORENO, German Alonso. Metodología para la gestión de proyectos bajo los lineamientos del Project Management Institute en una empresa del sector eléctrico [en línea]. Monografía. [Consultado el 27 de enero de 2016]. Disponible en internet: <http://www.bdigital.unal.edu.co/11161/1/940429.2013.pdf>

PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE. Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos (Guía PMBOK) Quinta Edición. Pensilvania: PMI, 2013.  
RENOVATEC. Colección MANTENIMIENTO INDUSTRIAL, Volumen 4 [En línea]. [Consultado 26 de Febrero de 2016]. Disponible en internet: <http://www.renovetec.com/mantenimientoindustrial-vol4-correctivo.pdf>

RUIZ-ACEVEDO, Adriana Maria. Modelo para la implementación de mantenimiento predictivo en las facilidades de producción de petróleo. Monografía. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. 2012

TAVARES, Laurival. Administración Moderna del Mantenimiento, Capítulo 6, 7 y 8. Brasil: Edit. Novo Polo Publicações, 1999.

UNIVERSIDAD EAFIT. Notas de clase: Análisis de riesgos en la gestión de proyectos [En línea]. [Citado 28 de Enero de 2016]. Disponible en internet en: [http://www.eafit.edu.co/ecards/adjuntos-mercurio/informacion-institucional/2013/nota\\_de\\_clase\\_98\\_\\_ analisis\\_de\\_riegos\\_en\\_la\\_gestin\\_de\\_pr oyectos.pdf](http://www.eafit.edu.co/ecards/adjuntos-mercurio/informacion-institucional/2013/nota_de_clase_98__ analisis_de_riegos_en_la_gestin_de_pr oyectos.pdf)

## ANEXOS

### Anexo A. Acta de constitución del proyecto

Fecha	5 de Junio de 2016
Nombre del proyecto	Planeación del Mantenimiento Preventivo y Predictivo en el Campo Opón. Etapa I
Objetivos del proyecto	Determinar los equipos críticos y no críticos del Campo Opón, donde se establezca la frecuencia de fallas, el tiempo de paradas, el costo de paradas frente al costo de reparación y la necesidad de personal externo que aumenta el tiempo de parada. Al definir estos parámetros se tendrá un punto de referencia para realizar mantenimientos preventivos y predictivos haciendo seguimiento y evaluación de los resultados del mismo y de este modo realizar cambios de manera progresiva, en el cual se minimice al máximo el mantenimiento correctivo y se realicen prácticas de mantenimiento predictivo como ensayos no destructivos, evitando contratiempos durante la operación del Campo.
Descripción del producto	Documento con el desarrollo de cada una de las etapas requeridas para implementar el mantenimiento preventivo y predictivo en el Campo Opón. El documento contendrá: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Desarrollo del cronograma</li> <li>• Entregables correspondientes en cada etapa: Diagrama de bloques, procedimientos de equipos, matriz de equipos críticos, tipo de mantenimiento a desarrollar por equipo, cronograma de paradas de planta para el desarrollo de los mantenimientos.</li> <li>• Conclusiones y recomendaciones para la implementación del mantenimiento, Etapa II.</li> </ul>
Necesidad del proyecto	La Gerencia General del Campo Opón ha detectado que en el último año se ha presentado un sobre costo por los mantenimientos correctivos realizados y las paradas en planta, motivo por el cual ha propuesto que se estudien las alternativas para llevar a cabo mantenimiento preventivo y predictivo en el campo, para lo cual requiere de la participación y el compromiso de los miembros del equipo de trabajo que participa en las actividades de rutina en campo en las diferentes áreas. La propuesta

	<p>planteada por la gerencia es llevar a cabo primero una metodología para identificar las actividades de mantenimiento preventivo y predictivo que se pueden realizar, utilizando herramientas de programación de proyectos para evaluar los diferentes aspectos e impactos que esto puede tener sobre el presupuesto y las actividades que se realizan allí.</p>
Justificación e impacto	<p>Desarrollar el proyecto generará un impacto en los costos y la realización de las actividades del Campo Opón. Actualmente, se presentan paradas en planta no programadas que paralizan la producción durante periodos largos de tiempo y afecta el presupuesto de manera considerable, invirtiendo en reparaciones cuyos repuestos no están disponibles en el momento. Considerando lo anterior se hace necesario plantear la estrategia de mantenimiento que evite que estos eventos se sigan presentando y que existan fugas de dinero, ya que se incurre en sobre costos cuando no se dispone con un tiempo programado de ciertos servicios o elementos para realizar los mantenimientos.</p>
Restricciones	<p>Durante la primera etapa, la de planeación se pueden presentar las siguientes restricciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Disponibilidad del personal del campo para desarrollar todas las actividades asignadas</li> <li>• Eventos fortuitos, no contemplados que requieran de atención urgente y desvíen la atención de la planeación del mantenimiento.</li> <li>• Recursos suficientes que limiten la contratación de los servicios externos requeridos para esta primera etapa.</li> <li>• Disponibilidad</li> </ul>
Identificación de grupos de interés	<p>Clientes Internos: Gerencia General, Junta de Socios. Quienes fijan su atención en el presupuesto y los sobrecostos.</p> <p>Clientes Externos: Los clientes a quienes se les comercializa el crudo del campo, ya que se evitará que por paradas inesperadas por mantenimiento se baje la producción.</p>
Gerente General	

Gerente de Operaciones	
Gerente Administrativo y Financiero	