

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE**  
**NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI**  
**EXTENSIÓN REGIÓN CENTRO – SUR ANACO**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS**  
**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**



**EVALUACIÓN INTEGRAL DE LOS GENERADORES DE VAPOR N° 07 Y  
12 ADSCRITOS A LA GERENCIA DE PLANTAS DE VAPOR DEL  
DISTRITO SAN TOME, DIVISIÓN AYACUCHO DE LA FPO**

**Realizado por:**

**Castañeda C., Luis A.**

**Trabajo de Grado Presentado ante la Universidad de Oriente como Requisito  
para Optar al Título de:**

**INGENIERO INDUSTRIAL**

**Anaco, Julio de 2018**

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE**  
**NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI**  
**EXTENSIÓN REGIÓN CENTRO – SUR ANACO**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS**  
**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**



**EVALUACIÓN INTEGRAL DE LOS GENERADORES DE VAPOR N° 07 Y**  
**12 ADSCRITOS A LA GERENCIA DE PLANTAS DE VAPOR DEL**  
**DISTRITO SAN TOME, DIVISIÓN AYACUCHO DE LA FPO**

**Revisado por:**

**Ing. Ledezma B., Melchor J.**  
**Asesor Académico**

**Ing. Ruiz L., Edgar J.**  
**Asesor Industrial**

**Anaco, Julio de 2018**

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE**  
**NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI**  
**EXTENSIÓN REGIÓN CENTRO – SUR ANACO**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS**  
**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**



**EVALUACIÓN INTEGRAL DE LOS GENERADORES DE VAPOR N° 07 Y  
12 ADSCRITOS A LA GERENCIA DE PLANTAS DE VAPOR DEL  
DISTRITO SAN TOME, DIVISIÓN AYACUCHO DE LA FPO**

**Jurado calificador**

**El jurado hace constar que ha asignado a esta tesis la calificación de:**

**APROBADO**

**Ing. Ledezma B., Melchor J.**

**Asesor Académico**

**MSc. Bousquet S., Juan C.**

**Jurado Principal**

**Ing. Figueroa R., Jerlin E.**

**Jurado Principal**

**Anaco, Julio de 2018**

## **RESOLUCIÓN**

De acuerdo al Artículo 41 del Reglamento de trabajos de grado (vigente a partir del II semestre 2009) según comunicación CU-034-209:

“Los trabajos de grado son de la exclusiva propiedad de la Universidad de Oriente, y sólo podrán ser utilizados para otros fines con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, quien deberá participarlo previamente al Concejo Universitario, para su autorización”.

## **DEDICATORIA**

Primeramente a Dios, por haber estado conmigo en cada momento de mi carrera y darme fuerzas en los momentos difíciles durante estos 5 años. Siempre coloque mi fe en ti mi Dios y nunca me fallaste. A ti siempre dedicare mis logros.

A mi madre hermosa Carmen que gracias a sus constantes consejos fueron de gran ayuda para lograr mis metas y llegar a mi objetivo de culminar mi carrera universitaria.

A mi hermano Jesús Rodolfo, mi ejemplo a seguir y el mejor profesional que conozco. Gracias a ti hermano y a tus consejos de que nunca debo rendirme y siempre quedarme luchando hasta el final. Eres el mejor hermano que Dios me pudo dar.

A mi padre Javier, quien me enseñó a que siempre debo afrontar y buscar una solución a cualquier situación o problema que se me presente en la vida. Gracias a ti papa eres un ejemplo a seguir y una persona con gran sabiduría.

A todas las personas que de alguna manera influyeron en mí y me ayudaron con una palabra, consejo y me dieron su apoyo. Quiero decirles que siempre persigan sus sueños porque no importa cuán duro te golpee la vida, importa cuánto eres capaz de soportar y seguir adelante. “Se fiel a lo que crees y lucha para lograrlo”.

## AGRADECIMIENTOS

Siempre gracias al todopoderoso Dios por todas las personas maravillosas que ha puesto en mi camino y por todas las hermosas experiencias que me ha permitido vivir.

A la Universidad de Oriente, la casa más alta, gracias por permitirme en tus aulas formarme como profesional con un excelente grupo de profesores que me enseñaron tanto de sus conocimientos académicos como experiencias de vida para iniciar mi desarrollo profesional.

A mi hermano Jesús y mi padre Javier los cuales me dieron su apoyo en todo el trayecto universitario. Gracias a ustedes, que fueron la base para iniciar esta hermosa carrera. Sin ustedes no lo hubiese logrado.

A mi tutor industrial Ingeniero Edgar Ruiz (Camarita) gracias por haber compartido sus valiosos conocimientos conmigo, compartir buenas experiencias a lo largo de mi pasantía y ser un gran amigo. Dios le bendiga siempre.

A mi tutor académico Ingeniero Melchor Ledezma gracias por todo su apoyo y brindarme sus conocimientos a lo largo de mi carrera. Es un excelente amigo y profesor Dios lo guie y lo proteja siempre.

A mi gran hermano que me regalo la vida Josué Betancourt (amigo desde el bachillerato) el cual entramos juntos a esta hermosa universidad con grandes sueños desde el primer día de clases. Eres una gran persona hermano sin duda de los mejores le pido a Dios que nos guie siempre y podamos llegar lejos y cumplir todos esos

objetivos de vida que tenemos y que nos recordábamos siempre al terminar de estudiar cada materia o cuando teníamos una situación difícil en la universidad.

A una gran persona, amigo, hermano, compañero de estudios y de rumbas que Dios me permitió conocer en este trayecto universitario José Viloría (pastelito), gracias por todo hermano aprendimos muchas cosas durante estos 5 años, siempre conté con tu apoyo en las buenas y en las malas. Dios te bendiga hermano.

Gracias a Dios por permitirme vivir tantos momentos buenos y colocar excelentes personas y amigos en mi camino. Gracias a todos los que estuvieron de alguna manera presente en mi vida. Y en especial a una persona muy importante en mi vida que siempre estuvo a mi lado en cada momento apoyándome y regalándome sonrisas. A ti mi hermosa niña Karleana Zambrano (mi godita).

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI  
EXTENSIÓN REGIÓN CENTRO – SUR ANACO  
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**



**EVALUACIÓN INTEGRAL DE LOS GENERADORES DE VAPOR N° 07 Y  
12 ADSCRITOS A LA GERENCIA DE PLANTAS DE VAPOR DEL  
DISTRITO SAN TOME, DIVISIÓN AYACUCHO DE LA FPO**

**Autor:** Castañeda C., Luis A.

**Tutor:** Ing. Melchor, Ledezma

**Fecha:** Julio de 2018

**RESUMEN**

Petróleos de Venezuela S.A es una empresa que ofrece servicios petroleros y como una de sus metas principales es mantener en óptimas condiciones a sus equipos destinados a contribuir con la explotación de hidrocarburos del subsuelo venezolano. Por ello se justifica la elaboración de este trabajo denominado “Evaluación integral a los generadores de vapor N° 07 y 12 adscritos a la gerencia de plantas de vapor del Distrito San Tome”. Para lograr el desarrollo de este trabajo se describió la situación actual de los generadores abarcando todos los aspectos importantes de su integridad física y de sus condiciones actuales para determinar si están aptos para realizar estimulaciones térmicas a pozos de crudo pesado, luego el establecimiento de su proceso de operación y sistemas para conocer cómo el funcionamiento de los generadores y sus equipos, consecuentemente se realizó el análisis de fallas con el cual se logró la explicar las fallas típicas de los generadores y la descripción de las causas que ocasionan las fallas en los generadores de vapor sometidos al estudio y finalmente se estableció un conjunto de acciones que permitirán restaurar y mantener en óptimas condiciones a los generadores de vapor y devolverles su operatividad

**Descriptor:** Vapor, Caldera, Crudo, Mantenimiento, Diagrama Causa Efecto.

# ÍNDICE GENERAL

	Pág.
RESOLUCIÓN .....	iv
DEDICATORIA .....	v
AGRADECIMIENTOS .....	vi
RESUMEN.....	viii
ÍNDICE GENERAL.....	ix
ÍNDICE DE TABLAS .....	xii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
INTRODUCCIÓN .....	xiv
CAPÍTULO I.....	16
EL PROBLEMA .....	16
1.1 Planteamiento del Problema .....	16
1.2 Objetivos de la Investigación .....	20
1.2.1 Objetivo General.....	20
1.2.2 Objetivos Específicos .....	21
1.3 Justificación.....	21
1.4 Generalidades de la Empresa .....	23
1.4.1 Visión de PDVSA en el Área de Mantenimiento .....	24
1.4.2 Misión de PDVSA en el Área de Mantenimiento .....	24
1.4.3 Ubicación geográfica del Distrito San Tomé PDVSA .....	24
1.4.4 Gerencia de Plantas de Vapor.....	25
1.4.4.1 Misión de la Gerencia de Plantas de Vapor .....	26
1.4.4.2 Visión de la Gerencia de Plantas de Vapor.....	26
1.4.4.5 Estructura Organizativa de la Empresa.....	26
CAPÍTULO II .....	28
MARCO TEÓRICO.....	28
2.1 Antecedentes de la Investigación .....	28
2.2 Bases Teóricas .....	32
2.2.1 Caldera.....	32
2.2.2 Tipos de Calderas .....	33
2.2.3. Generador de Vapor.....	34
2.3 Mantenimiento.....	35
2.3.1 Importancia del Mantenimiento.....	36
2.3.2 Tipos de Mantenimiento .....	36
2.3.2.1 Mantenimiento Preventivo .....	36
2.3.2.2 Mantenimiento Correctivo .....	37
2.3.2.3 Mantenimiento Predictivo.....	37
CAPÍTULO III .....	38
MARCO METODOLÓGICO.....	38
3.1 Tipo de Investigación .....	38

3.1.1 Según el Nivel de Investigación .....	38
3.1.2 Según la Estrategia de la Investigación .....	38
3.2 Población y Muestra .....	39
3.2.1 Población .....	39
3.2.2 Muestra .....	39
3.3 Técnicas de Recolección de Datos .....	41
3.3.1 Revisión Bibliográfica .....	41
3.3.2 Observación Directa .....	42
3.3.3. Entrevista No Estructurada .....	43
3.4 Técnicas de Análisis de Datos .....	43
3.4.1 Diagrama Ishikawa .....	43
3.4.2 Plano de Flujos y Procesos .....	44
3.4.3 Ficha de Especificación Técnica .....	44
3.4.4 Tablas.....	44
3.5 Etapas de la Investigación .....	45
3.5.1 Descripción de la Situación Actual de los Generadores de Vapor N° 07 y 12 .....	45
3.5.2 Establecimiento del Proceso de Operación y Sistemas Existentes de los Generadores de Vapor N° 07 y 12 .....	46
3.5.3 Análisis de las Fallas Funcionales y Efectos de Estas en los Generadores de Vapor N° 07 y 12 .....	47
3.5.4 Generación de un Conjunto de Acciones que Permitan la Operatividad Óptima de los Generadores de Vapor N° 07 y 12.....	47
CAPÍTULO IV .....	49
ANÁLISIS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS .....	49
4.1 Descripción de la Situación Actual de los Generadores de Vapor N° 07 y 12 .....	49
4.1.1 Equipo Natural de Trabajo.....	49
4.1.2 Inspecciones de Generadores de Vapor .....	50
4.1.3 Criterios de Inspección .....	51
4.1.4 Inspección del Generador de Vapor N° 07 .....	52
4.1.4.1 Inspección Externa del Generador de Vapor N° 07 .....	52
4.1.4.2 Inspección Interna del Generador de Vapor N° 07 .....	54
4.1.5 Inspección del Generador de Vapor N° 12 .....	55
4.1.5.1 Inspección Externa del Generador de Vapor N° 12 .....	55
4.1.5.2 Inspección Interna del Generador de Vapor N° 12 .....	56
4.1.6 Situación Actual de Generadores de Vapor N° 07 y 12.....	57
4.1.7 Especificaciones Técnicas .....	58
4.2 Establecimiento del Proceso de Operación y los Sistemas Existentes de los Generadores de Vapor N° 07 y 12 .....	61
4.2.1 Secciones de un Generador.....	61
4.2.2 Fuentes de Alimentación para Colocar en Servicio a un Generador de Vapor.....	64

4.2.3	Sistemas Existentes en un Generador de Vapor .....	67
4.2.3.1	Componentes que Pertenecen a los Sistemas de un Generador de Vapor .....	68
4.2.4	Plano de Flujos de Procesos .....	72
4.2.4.1	Descripción del Proceso .....	73
4.3	Análisis de Fallas Funcionales y Efectos de estas en los Generadores de Vapor N° 07 y 12.....	76
4.3.1	Fallas por Sobrecalentamiento.....	77
4.3.1.1	Oxidación Térmica.....	77
4.3.1.2	Sobrecalentamiento de Corta Duración .....	78
4.3.2	Fallas por Corrosión .....	78
4.3.3	Diagrama de Ishikawa .....	79
4.3.3.1	Análisis del Diagrama Ishikawa.....	80
4.4	Generación de un Conjunto de Acciones que Permitan la Operatividad Óptima de los Generadores de Vapor N° 07 y 12 .....	91
4.4.1	Acciones Para Reestablecer las Condiciones Óptimas de los Generadores de Vapor .....	91
4.4.2	Condiciones Generales .....	95
4.4.2.1	Ubicación .....	95
4.4.2.2	Responsables .....	95
4.4.2.3	Recursos .....	96
CAPÍTULO V .....		98
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		98
5.1	Conclusiones .....	98
5.2	Recomendaciones.....	100
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		102
METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO.....		106

## ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 3.1 Unidades de Estudio .....	40
Tabla 4.1 Registro Fotográfico de Inspección Externa a Generador N° 07 .....	53
Tabla 4.2 Registro Fotográfico de Inspección Interna a Generador N° 07 .....	54
Tabla 4.3 Registros Fotográficos de Inspección Externa a Generador N° 12 .....	56
Tabla 4.4. Registros Fotográficos de Inspección Interna a Generador N°12 .....	57
Tabla 4.5 Especificaciones Técnicas de Generador N° 07 .....	59
Tabla 4.6 Especificaciones Técnicas de Generador N° 12.....	60
Tabla 4.7 Sistemas de un Generador de Vapor .....	68
Tabla 4.8 Componentes del Sistema de Alimentación de Agua .....	69
Tabla 4.9 Componentes del Sistema Combustible.....	70
Tabla 4.10 Componentes del Sistema de Vaporización.....	71
Tabla 4.11 Componentes del Sistema de Ventilación.....	72
Tabla 4.12 Acciones Para Restaurar las Secciones de los Generadores .....	92

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1.1 Ubicación Geográfica del Distrito San Tomé.....	25
Figura 1.2 Estructura Organizativa de la Empresa.....	27
Figura 2.1 Caldera de Vapor .....	33
Figura 2.2 Generador de Vapor del Distrito San Tome .....	35
Figura 4.1 Equipo Natural de Trabajo.....	49
Figura 4.2 Sección de Radiación.....	62
Figura 4.3 Quemador Acoplado a Zona de Radiación .....	62
Figura 4.4 Sección de Convección o Chimenea.....	63
Figura 4.5 Intercambiador de Calor .....	64
Figura 4.6 Pozo de Agua.....	65
Figura 4.7 Separador de Gas Combustible.....	66
Figura 4.8 Fuente de Electricidad .....	67
Figura 4.9 Proceso de Operación de un Generador de Vapor.....	73
Figura 4.10 Diagrama de Ishikawa .....	79

## INTRODUCCIÓN

La creciente competencia o la demanda por parte de los clientes de una entrega oportuna de productos y servicios de alta calidad han obligado a los fabricantes y empresas de servicios a adoptar nuevas tendencias estratégicas que le permitan adaptarse y evolucionar en este ambiente de constante crecimiento competitivo. Esto ha dado lugar a grandes inversiones en equipos nuevos y estrategias que le permitan a la organización la consecución de sus metas corporativas. Pero para poder alcanzar las tasas de rendimiento de la inversión realizada, el equipo tiene que ser confiable y capaz de mantenerse en ese estado sin que se produzcan paros de trabajo ni reparaciones costosas.

Allí es donde la función del mantenimiento juega un papel fundamental, debido a que logra mantener operativos a los equipos, reduce costos mayores y paradas de planta lo que le permite a la organización producir y entregar sus servicios a más bajos costos y con un mayor índice de confiabilidad, seguridad y calidad. Por lo tanto, la aplicación del mantenimiento es un factor importante en la calidad de los productos y servicios ofrecidos por la empresa y genera una estrategia para una competencia exitosa.

Tal es el caso de Petróleos de Venezuela S.A, la cual es una corporación estatal de la República Bolivariana de Venezuela que se encarga de la exploración, perforación, producción, refinación, manufactura, transporte y mercadeo de los hidrocarburos, de manera eficiente y comprometida con la protección ambiental; con el fin último de motorizar el desarrollo armónico del país. Está constituida por diferentes distritos en todo el territorio nacional, siendo uno de ellos el distrito San Tomé. En él se encuentra la Gerencia Plantas de Vapor; encargada de las operaciones

en las plantas para generación e inyección de vapor, en pozos de crudos pesados y extrapesados, de todo el distrito.

Dichas plantas generadoras de vapor cuentan con equipos o generadores portátiles que se encargan de generar y/o inyectar vapor mediante la acción de unidades de bombeo a altas presiones, dependiendo de la presión requerida en los diversos procesos que realiza la industria petrolera; siendo uno de éstos la inyección de vapor que se realiza en los yacimientos petroleros para operaciones de estimulación térmica en pozos de crudo pesado y extrapesado, la cual tiene como fin mejorar su rendimiento y aumentar su factor de recobro.

Pero la mencionada empresa, presenta actualmente deficiencias en el sistema de generación de vapor debido a una mala gestión en la aplicación de las actividades preventivas y correctivas establecidas por la gerencia de plantas de vapor de la organización, influyendo adversamente sobre la gestión de mantenimiento, generando no solamente un incremento de las paradas de los equipos y provocando la disminución de la producción de crudo pesado y extrapesado, sino también en los costos de mantenimiento, lo que se traduce en pérdidas económicas para la empresa. Por tal motivo se propone este estudio, el cual radica hacer una evaluación a los equipos adscritos a la gerencia de plantas de vapor específicamente a los generadores de vapor N°07 y 12 para generar las acciones necesarias que permitan colocar en funcionamiento óptimo a estos equipos y aumentar la disponibilidad de activos en la empresa.

# CAPÍTULO I

## EL PROBLEMA

### 1.1 Planteamiento del Problema

En los últimos años, las empresas se han visto sometidas a una enorme presión para ser competitivas y ofrecer de manera oportuna un producto final de calidad. Por lo tanto este nuevo entorno ha obligado a gerentes e ingenieros a mejorar continuamente los sistemas, métodos y procedimientos existentes en sus organizaciones a lo largo de todo el mundo, para poder cumplir con las expectativas y poder ser rentables y competitivas. Así mismo, la tendencia al empleo de metodologías y procedimientos modernos, ha hecho que muchas organizaciones reestructuren su manera de considerar el mantenimiento dentro de sus equipos, y así mejorar las prácticas aplicadas e ir estructurando nuevas maneras de ver el mantenimiento de una forma más rentable y organizada.

En esta perspectiva, Petróleos de Venezuela Sociedad Anónima (PDVSA) siendo la principal empresa del país del sector de hidrocarburos y encargada de realizar actividades referentes a la extracción, procesamiento y posterior comercialización de los hidrocarburos que yacen bajo el subsuelo venezolano, tiene en alta consideración que sus equipos y maquinas constituyen el factor el factor clave del sistema productivo, los cuales están constituidos por pozos productores, estaciones de flujo, plantas compresoras, generadores, estaciones de tratamiento y una diversidad de tuberías. Estos equipos constituyen una parte importante del sistema productivo de la empresa, ya que son los encargados de extraer, procesar, almacenar y distribuir el crudo extraído de los diversos campos petrolíferos y colocarlos en su fase final.

PDVSA Distrito San Tomé División Ayacucho de la Faja Petrolífera del Orinoco (FPO) posee cuatro unidades de producción de petróleo: liviano, mediano, pesado y extrapesado. Y con el crecimiento tecnológico ha actualizado sus procesos de trabajo lo que la puesto entre los primeros lugares a Venezuela como principal productor de petróleo y con una de las reservas de crudo más grande del mundo.

La Gerencia Plantas de Vapor, forma parte de la estructura del Distrito San Tomé, y es la responsable del proceso de Inyección Alterna de Vapor y los proyectos de Inyección Continua de Vapor (IAV, ICV), los cuales se realizan con la finalidad de mejorar el rendimiento de los pozos, incrementar el factor recobro de los yacimientos y aumentar la productividad del crudo en los campos operacionales de Bare y Melones, de las Unidades de Explotación Pesado Oeste y Extrapesado. Y actualmente cuenta con 20 Generadores de Vapor portátiles, que operan en el proceso de generación e inyección de vapor con una calidad de 80% para la estimulación de los yacimientos de petróleo con el fin de disminuir la viscosidad del crudo y aumentar la producción. Todos estos equipos se encuentran situados en la zona de Bare, que es un campo de petróleo pesado y extrapesado.

La Gerencia de Plantas de Vapor del Distrito San Tome, tiene como responsabilidad incrementar las actividades de inyección de vapor y esto incluye la operación y mantenimiento de los generadores. De hecho actualmente se tienen cuatro (4) equipos operativos (Generadores 1, 3, 20 y 22), nueve (9) equipos en Mantenimiento Operacional (Generadores: 5, 6, 8, 9, 11, 13, 16, 19 y 21) y siete (7) equipos próximos para un Mantenimiento Mayor (Generadores: 4, 7, 12, 14, 15, 17 y 18). Donde resulta de gran atención la última cifra de equipos por su condición de mantenimiento mayor ya que lo ideal es que estos equipos deben mantenerse en adecuado estado de operatividad, con la finalidad de cumplir con los requerimientos de las unidades de Yacimientos y Producción Pesado Oeste y Extrapesado.

Por tanto esta gerencia está encargada de definir y presentar los proyectos para el mantenimiento total de los equipos vinculados al proceso de inyección de vapor que presentan condiciones desfavorables, inoperables y/o daños irreversibles. Así como también está encargada de realizar toma de decisiones en relación a los equipos, por razones técnicas, económicas, de seguridad y oportunidad.

Dentro de los equipos administrados por la gerencia Plantas de Vapor del Distrito San Tome se encuentran específicamente los generadores de vapor N°7 y N°12 que están estacionados en el patio de generadores de vapor ubicado en Bare-4, el campo operacional Bare, perteneciente a la U.P. Extrapesado del Dtto. San Tomé.

La empresa PDVSA tiene previsto incorporar estos generadores a los proyectos tecnológicos de inyección alterna de vapor e inyección continua de vapor (IAV, ICV) para iniciar operaciones durante los años 2.018 - 2019, donde se estima una producción asociada de 7,10 MBNPD, por lo que estos equipos deben encontrarse y mantenerse en condiciones óptimas de operación. Sin embargo, estos generadores están próximos a cumplir las 50.000 horas de operación, lo cual según el manual del fabricante al cumplirse esa condición, el generador de vapor debe someterse a un mantenimiento y/o sustitución de los componentes de sus sistemas ya que de no cumplir esta especificación el equipo puede dejar de funcionar repentinamente en pleno proceso de su funcionamiento, lo cual sería negativo para el yacimiento tratado e interrumpiría la producción del crudo (pesado y/o extrapesado).

Además, en varias visitas realizadas al patio de generadores de Bare 4, se observó que estos generadores se encuentran estacionados y sin uso momentáneamente debido a que presentan niveles de desgaste considerables en sus secciones y en su integridad física a nivel general, así como también carecen de ciertos equipos y componentes para su funcionamiento por lo tanto a simple vista están en un estado poco favorable e inseguro para la operación. Condición que

también se ha agravado debido a la exposición a la intemperie en la cual se encuentran los generadores actualmente.

Por consiguiente esta situación ha propiciado la disminución del factor recobro de los yacimientos de los campos de Bare donde solían operar estos generadores, al mismo tiempo los proyectos de inyección continua y alterna de vapor y la rentabilidad operativa de los pozos, lo que acarrea grandes pérdidas económicas al no poder ser usados debido a su condición. Ya que de no estar en condiciones óptimas estos generadores, no se podrán cumplir con los compromisos volumétricos adquiridos por el Distrito San Tomé mediante el método de recuperación térmica de inyección de vapor en los campos de crudo pesado y extrapesado, los cuales se obtendrán en gran parte gracias a la producción de vapor por parte de estos generadores.

Por otro lado, de no realizar un conjunto de acciones para mejorar a estos generadores no se podrá garantizar la confiabilidad e integridad física y mecánica de estos equipos, lo cual puede causar accidentes con daños al personal, instalaciones y medio ambiente.

A fin de solventar la situación que presentan los generadores de vapor N°7 y N°12, resulta necesario hacer un estudio integral, el cual permitirá considerar un conjunto de acciones que permitan obtener las condiciones óptimas de los generadores de vapor y en efecto tener a disposición estos equipos para cumplir con los proyectos tecnológicos de recuperación térmica para acrecentar la producción de los yacimientos y obtener los mejores beneficios para la organización.

El ámbito de acción de este trabajo, abarca una evaluación integral de los generadores de vapor N° 07 y 12 asociados a la Gerencia de Plantas de Vapor del Distrito San Tome, que forma parte de la estructura organizacional de la empresa

PDVSA, con la cual se llegará a conocer a nivel general las condiciones de estos equipos a objeto de verificar que estos generadores se encuentren en condiciones óptimas para su operación. Se aplicará la metodología que más se adapte al escenario a analizar para buscar alcanzar una mayor confiabilidad operativa. Por ende esta investigación tendrá gran importancia ya que permitirá describir la situación actual de los generadores de vapor N°07 Y 12 para definir las acciones necesarias para solventar la problemática y poner en funcionamiento óptimo a ambos generadores de vapor.

La investigación se remite exclusivamente a los campos o áreas operacionales de Bare, ubicados en el estado Anzoátegui, donde se encuentran los pozos productivos de crudo pesado y extrapesado, junto con los equipos generadores de vapor pertenecientes a PDVSA Distrito San Tome, los cuales conforman la población y muestra estudiada.

El tiempo estimado para el desarrollo de la investigación fue de seis (6) meses, comprendido desde el 29 de noviembre de 2017 hasta el 29 de mayo de 2018; en el cual se contó con la ayuda del personal de la Superintendencia de plantas de vapor, así como de los recursos técnicos de la organización.

## **1.2 Objetivos de la Investigación**

### **1.2.1 Objetivo General**

Evaluar la integridad física de los generadores de vapor N° 07 y 12 adscritos a la gerencia plantas de vapor del distrito san tome, división Ayacucho de la FPO; para la ejecución de un mantenimiento nivel v.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

- ✓ Describir la situación actual de los generadores de vapor N° 07 y 12 adscritos a la gerencia plantas de vapor del distrito San Tome.
- ✓ Establecer el proceso de operación y los sistemas existentes de los generadores de vapor N° 07 y 12.
- ✓ Analizar las fallas funcionales y efectos de estas, en los generadores de vapor N° 07 y 12.
- ✓ Generar un conjunto de acciones que permitan la operatividad optima de los generadores de vapor N° 07 y 12.

### **1.3 Justificación**

El estudio realizado a los equipos generadores de vapor que son utilizados en la generación e inyección continua y/o alterna de vapor saturado, logrará generar un conjunto de acciones que permitirán mantener las condiciones óptimas de los equipos para que puedan efectuar una estimulación térmica para facilitar la extracción y aumentar la producción y así lograr el máximo recobro de los pozos petroleros de crudos pesado y extrapesado del distrito san tome y que debido a su alta viscosidad solo pueden ser extraídos mediante la inyección de vapor saturado generado por estos equipos.

Es por ello, que una evaluación integral a estos generadores permitirá a la gerencia de plantas de vapor del distrito San Tome conocer todas las necesidades y condiciones de estos equipos para así tomar las acciones de mejora en función del nivel de mantenimiento que necesiten, y permitirá a la empresa, contar con una herramienta de información eficaz que logre un control de actividades de mantenimiento para los equipos, y así disminuya costos por mantenimiento correctivo así como también disminución de las paradas no programadas e incremento de la

efectividad en el proceso de generación de vapor para inyección de pozos petroleros. Además para efectos de la empresa PDVSA los generadores de vapor N°07 Y 12 serán incorporados en proyectos tecnológicos de estimulación térmica para aumentar la producción de crudo en yacimientos ubicados en los campos operacionales de Bare, y están previstos para iniciar operaciones durante los años 2.017 – 2019 por lo cual toma gran importancia la necesidad de que estos generadores estén en un estado óptimo para la ejecución de estos proyectos y con el desarrollo y aporte de esta investigación se lograra diseminar el problema y contribuir con la necesidades de la empresa mediante diferentes actividades contempladas en los objetivos planteados y finalmente las acciones, conclusiones y recomendaciones plasmadas en este proyecto, representaran una solución a la problemática en estudio.

Posibilitará además a dicha gerencia, conocer las necesidades, fallas, causas y efectos de fallas de los generadores y actividades de mantenimiento que minimicen los problemas detectados; logrando también una estructura capaz de orientar adecuadamente a la gerencia en función de las actividades a realizar a los equipos que requieren mejorar su operatividad. De manera que se incremente la confiabilidad de los equipos y así la producción en aquellos pozos de crudo pesado y extrapesado que, producto de su alta viscosidad se dificulta excesivamente su producción.

Por otra parte, la realización de este tipo de trabajo de grado, no solo le otorgará prestigio a la Universidad de Oriente, sino que dispondrá de un estudio que puede enriquecer la información disponible sobre el mejoramiento de equipos industriales y tecnológicos como lo son los generadores de vapor, para efecto de este proyecto. Y los cuales representan el instrumento principal para el recobro de uno de los recursos más importante del país, como lo es el petróleo. Finalmente, la realización de este estudio, es el último requisito académico que debe cumplir el estudiante-tesista, para obtener el título de Ingeniero Industrial; complementando los conocimientos teóricos adquiridos en las aulas de clases.

## 1.4 Generalidades de la Empresa

La empresa Petróleos de Venezuela S.A. (PDVSA), es la encargada de la exploración, producción, almacenamiento, manufactura, transporte y mercadeo de los hidrocarburos presentes en el suelo patrio, por ende, es el motor fundamental del desarrollo económico y social del país. En el ámbito mundial ocupa la tercera posición entre las cincuenta (50) empresas más importantes del mundo, esta jerarquización, está fundamentada en criterios técnicos como volúmenes de reservas, producción de crudos y gas, capacidad de refinación, cantidad de ventas e ingresos netos, entre otros.

Esta corporación fue creada en 1975, luego de la promulgación de la Ley Orgánica que Reserva al Estado la Industria y Comercio de los Hidrocarburos. En la actualidad, PDVSA está estructurada en tres (3) grandes divisiones, dedicadas a las actividades principales del negocio. A continuación, una breve descripción de cada una:

- ◆ PDVSA Exploración y Producción: constituye el eslabón fundamental del negocio petrolero, es responsable del desarrollo del petróleo, gas, carbón y la manufactura de Orimulsión.

- ◆ PDVSA Manufactura y Mercadeo: está a cargo de las actividades de refinación de crudo, así como de la manufactura de productos, su comercialización y suministro para el mercado nacional e internacional.

- ◆ PDVSA Servicios: su área de gestión incluye una amplia gama de especialidades: Servicios técnicos, consultoría e ingeniería, entre otras.

#### **1.4.1 Visión de PDVSA en el Área de Mantenimiento**

La Gerencia Corporativa de PDVSA promueve una Estrategia Integrada por todos los Departamentos para asegurar la Integridad de los Procesos y de los Activos de la Corporación a través de la implantación de un proceso gerencial proactivo. Con ello se mejorará la Confiabilidad y Disponibilidad de los Activos, satisfaciendo sus necesidades de Mantenimiento a través de la aplicación de Metodologías de Gerencias probadas para minimizar el costo y maximizar la utilización de los recursos.

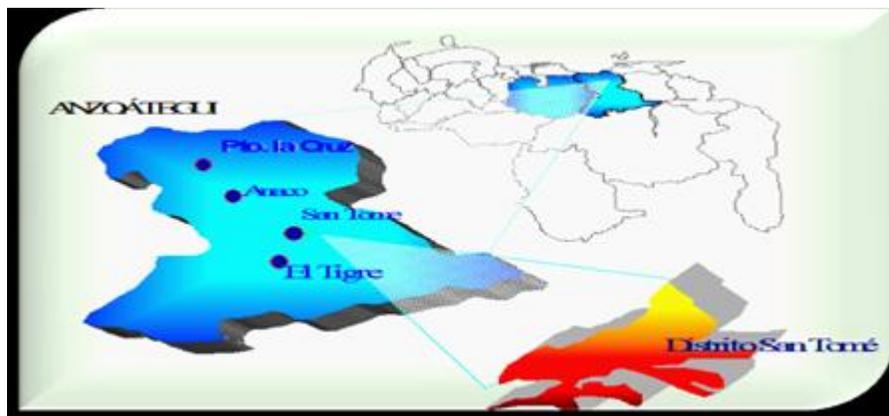
#### **1.4.2 Misión de PDVSA en el Área de Mantenimiento**

Se emplea el valor más alto de efectividad y eficiencia en las actividades a fin de asegurar la Disponibilidad y Confiabilidad de los Activos en función de los objetivos del Negocio. El empleo de un Plan de Gerencia de Activos por cada Instalación asegura la integridad del proceso y de los activos, minimizando la reprogramación de reparaciones de equipos y desviaciones en los costos y programas de trabajo.

#### **1.4.3 Ubicación geográfica del Distrito San Tomé PDVSA**

El Distrito San Tomé PDVSA División Faja del Orinoco, está situado en el Estado Anzoátegui, región Centro - Sur, (Ver Figura 1.1) ubicado geográficamente en el Municipio Pedro María Freites. Comprendiendo parte de la región Centro Oeste del Estado Monagas y parte de la región Sur del Estado Guárico. Posee un área total de 17.085 Kilómetros Cuadrados, 135 Kilómetros en dirección Norte-Sur y 180 Kilómetros en dirección Este Oeste.

Actualmente en este distrito operan noventa y cuatro (94) campos, los cuales se encuentran agrupados en trescientos cuarenta y tres (343) cuadrángulos. Está conformado en función de las características de los hidrocarburos que se producen, por lo cual se estructura en cuatro (4) Unidades de Explotación: Liviano, Mediano, Pesado y Extra Pesado, además esta organización se encarga del manejo, tratamiento, recolección, transporte y distribución de los hidrocarburos producidos. A este Distrito, está adscrita la Gerencia de Plantas de Vapor.



**Figura 1.1 Ubicación Geográfica del Distrito San Tomé**  
Fuente: PDVSA (2018)

#### 1.4.4 Gerencia de Plantas de Vapor

La Gerencia Plantas de Vapor, forma parte del Distrito San Tomé, esta lleva a cabo operaciones de subsuelo empleando métodos de recuperación térmica como lo son la inyección alterna y continua de vapor, pues coordina y planifica las actividades que han llevado con éxito la estimulación de una gran cantidad de pozos de petróleo pesado y extrapesado en los diferentes campos pertenecientes al Distrito y finalmente incrementando la productividad y el factor recobro de los yacimientos. Entre las responsabilidades de la gerencia se tiene programar y ejecutar la inyección de vapor según el método que sea más conveniente, así como también coordinar el

mantenimiento operacional y mayor de las plantas de tratamiento de agua y generadores de vapor, que se encuentran adscritos a esta gerencia, siendo estos lo principales equipos para la generación de vapor. La gerencia de plantas de vapor, está en la imperiosa necesidad de aplicar métodos y tecnologías que permitan aumentar la productividad, disminuir los costos de operaciones, mantenimiento y aumentar la disponibilidad de los equipos asociados a producción.

#### **1.4.4.1 Misión de la Gerencia de Plantas de Vapor**

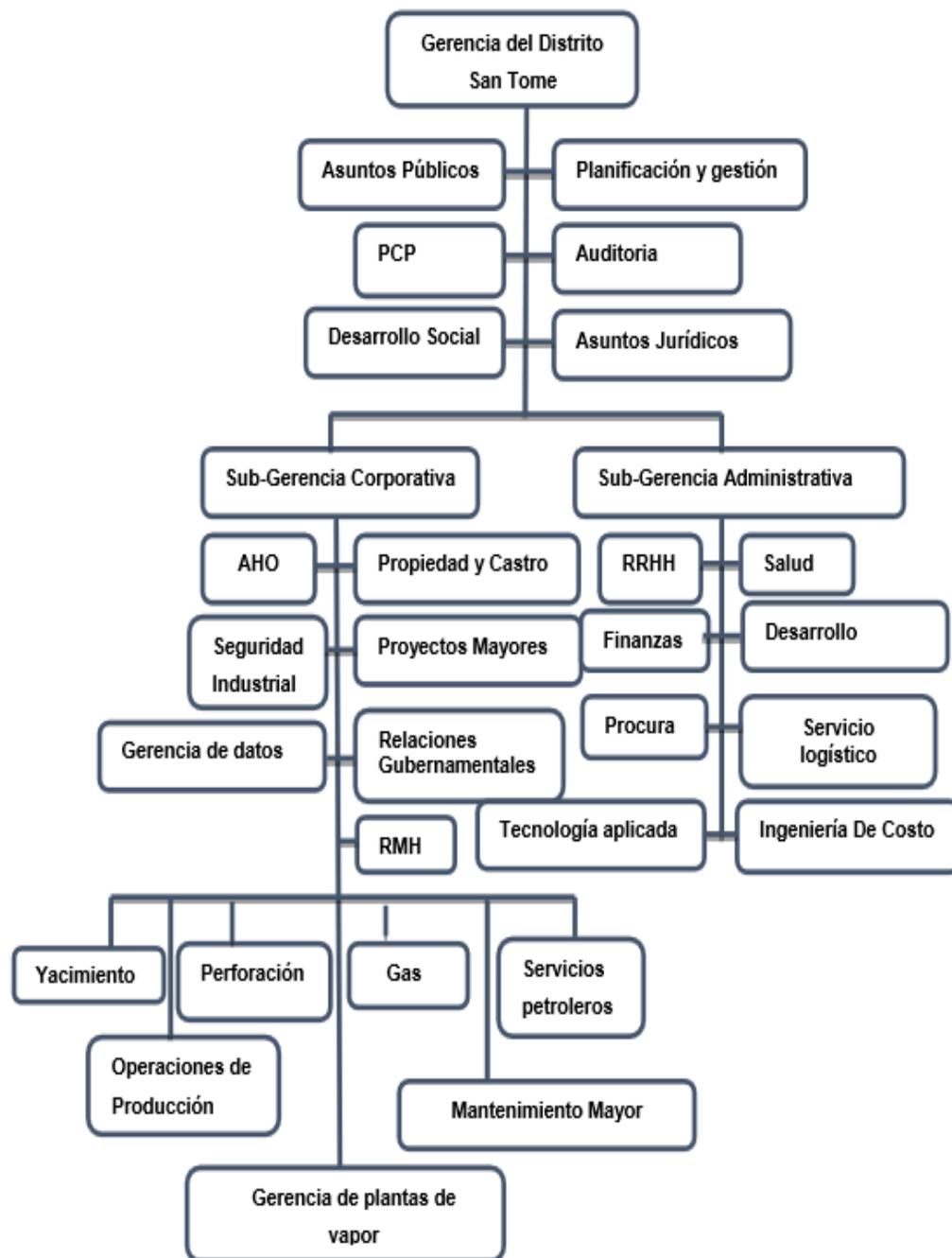
Generar e inyectar vapor, en forma alterna y/o continua. Realizando las operaciones de manera oportuna, eficiente, segura, rentable y con la calidad requerida por nuestros clientes; en armonía con el ambiente y la salud de nuestros trabajadores, a través del desarrollo continuo del personal; con la aplicación de tecnología de vanguardia y apoyando proyectos sociales de acuerdo a disposiciones legales del estado venezolano y plan de negocios del Distrito San Tomé, creando el máximo valor para la corporación.

#### **1.4.4.2 Visión de la Gerencia de Plantas de Vapor**

Ser una organización de referencia corporativa y mundial por su excelencia en la generación e inyección de vapor en pozos productores de crudos pesados y extrapesados, garantizando el éxito de nuestros clientes.

#### **1.4.5 Estructura Organizativa de la Empresa**

Con el fin de hacer frente a los nuevos cambios, la empresa PDVSA, muestra una estructura organizacional acorde con el desarrollo de sus objetivos y alcances, la cual se puede observar en la figura 1.2.



**Figura 1.2 Estructura Organizativa de la Empresa**

Fuente: El autor (2018)

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 Antecedentes de la Investigación**

A continuación se presenta un breve resumen de las investigaciones que sirvieron como base, ya sea por su contenido o metodología, para el desarrollo de este trabajo de grado:

Ruiz, E. (2016), elaboró un proyecto denominado “Mantenimiento Mayor (Nivel V) a Generador de Vapor Portátil N°4”. Presentado ante la Universidad de Oriente. Este proyecto se realizó para someter a la aprobación el Ministro del Poder Popular de Petróleo y Minería, el mantenimiento mayor nivel V del Generador de Vapor N°4 Tipo acuotubular el cual no operaba desde el año 2000 debido al deterioro de las condiciones físicas, mecánicas y de instrumentación que presenta producto de diversos factores. Por consiguiente, en este proyecto se presentó las condiciones y necesidades del generador de manera justificada que obligan a la ejecución de un mantenimiento nivel V. Además, contempla el mantenimiento nivel V del Generador de Vapor N° 4, que involucra la evaluación, diagnóstico, reemplazo o reacondicionamiento de su integridad física y mecánica para colocar a este generador en un estado óptimo de operación.

El aporte que brindo al presente estudio, aunque en diferentes generadores sirvió para conocer e identificar ciertas condiciones que imposibilitan el funcionamiento de un generador de vapor. Así como también tener una base de información de mantenimiento nivel V, validada por la misma empresa, que sirvió para comprender a fondo las actividades que son requeridas para el reacondicionamiento, reemplazo y/o sustitución de las secciones, equipos y

accesorios en función de la condición física y mecánica que presente el generador de vapor.

Corredo, L. (2014), cuyo título tuvo como objeto de investigación “Análisis de falla de las bombas quintuplex de un generador de vapor perteneciente a la gerencia de plantas de vapor del Distrito San Tome”, presentado en la Universidad de Oriente, esta investigación se basó en los análisis de fallas ocurridos en la bomba quintuplex de un generador de vapor, para detectar por que ocurren las averías que están presentando estos equipos mecánicos y analizar cómo influye de manera negativa las deficiencias en el suministro de agua al generador de vapor a causa del mal funcionamiento de esta bomba.

Este antecedente permitió tener mayor información en relación a los efectos negativos que se producen en las secciones del generador de vapor como sobrecalentamiento o implosiones específicamente en las zonas de radiación y convección debido a deficiencias en el suministro de agua al interior del equipo a causa de fallas en esta bomba. Además, este antecedente concedió información importante para el desarrollo de los objetivos planteados en este proyecto al describir la forma de operación de esta bomba que representa un equipo importante para el funcionamiento del generador ya que es la que induce el agua a las secciones del generador para el proceso de generación de vapor.

Lista, W. (2013). Realizó un trabajo de grado denominado “Formular un plan de mantenimiento preventivo para el sistema Generador de vapor del Hospital General de El Tigre”, con el fin de garantizar la máxima disponibilidad al mínimo costo. Presentado en la Universidad de Oriente. El objetivo principal de esta tesis de grado fue proponer un plan de mantenimiento preventivo determinando las bases teóricas que sustentan el estudio y el funcionamiento del sistema en los generadores, para establecer los criterios básicos en la optimización de los recursos, a manera de

minimizar las fallas inesperadas, estableciendo los lineamientos adecuados para ejecutar las tareas preventivas en los equipos. Al finalizar el estudio se obtuvo un resultado satisfactorio, por cuanto se logró un aumento del 70% del tiempo de trabajo del equipo generador, obteniéndose beneficios operacionales para el hospital al generar mayor productividad.

Esta tesis sirvió para tener información clave de actividades de mantenimiento preventivo para equipos generadores de vapor. A partir de la cual se pudo profundizar y analizar la información de este tipo de mantenimiento para desarrollar una serie de actividades de mantenimiento preventivo y recomendaciones que posteriormente servirán para evitar y/o reducir la generación de fallas y efectos negativos de estas, que se presentan normalmente en los generadores de vapor, las cuales se definirán de acuerdo al análisis del diagrama de Ishikawa que se desarrollará en el presente trabajo de grado.

Moreno, L, (2013) elaboró un trabajo de grado denominado “Propuesta del diseño conceptual y básico de una caldera de recuperación de calor para la generación en una planta termoeléctrica” presentado ante la Universidad de Oriente. El objetivo de este trabajo fue el diseño de una caldera de recuperación de calor (caldera de vapor) en el cual se elaboró una serie de cálculos teniendo como valores iniciales el caudal de operación, temperatura y presiones de entrada y salida de la caldera de los cuales son claves para determinar los parámetros característicos para el diseño de la caldera, así como la potencia de operación, potencia de diseño, rendimiento de la caldera, calor generado y necesario para la generación de vapor y otros parámetros necesarios como el dimensionamiento de la caldera, tubos y hogar.

El aporte que brindó el proyecto sirvió para tener información de las secciones de las calderas y/o generadores que funcionan bajo parámetros de diseño definidos y que no pueden ser alterados o sobrepasados de acuerdo a su rango

máximo permisible en la operación, ya que de ser así se generarían daños en el equipo. Dicha información resultó de gran utilidad para el desarrollo de este proyecto ya que apporto información para comprender que ciertas fallas y daños en los generadores se originaron por la alteración de los parámetros o rangos operacionales en estos generadores de vapor los cuales deben operar estrictamente bajo los parámetros de diseño según la capacidad de cada generador, así como también apporto información de todas la partes que componen a una caldera de vapor y de sus especificaciones técnicas.

Castillo, (2013), elaboró un trabajo de grado denominado “Diseño de un plan de mantenimiento para los equipos motocompresores de la planta compresora de Gas 3 Bateria 6 PDVSA-San Tome” presentado ante la Universidad de Oriente. Esta investigación consistió en diseñar un programa de mantenimiento para los equipos motocompresores de accionamiento industrial y se fundamentó en revisión bibliográfica, especificaciones técnicas suministradas por el fabricante, conocimientos adquiridos por medio de técnicos mecánicos, ayudantes, la observación directa, registros de listas de verificación constituidas por actividades de inspección y servicio. El aporte que brinda al presente estudio aunque en diferentes equipos, se encuentra en lo referido a conocer la forma como se ha llevado las actividades de inspección, diagnóstico y servicio, restauración y mantenimiento, registros de tiempos y planificación de las actividades de mantenimiento, elementos estos estatuidos dentro de un proceso de mantenimiento encaminados hacia el objetivo de asegurar, mantener y/o preservar la integridad operativa de los equipos y maquinarias.

## **2.2 Bases Teóricas**

### **2.2.1 Caldera**

De acuerdo con Anthony L. Kohan (1996), define una caldera como “un recipiente a presión cerrado en el que se calienta un fluido para uso externo del mismo por aplicación directa del calor resultante de la combustión de un combustible sólido, líquido o gaseoso o por utilización de la energía nuclear o eléctrica” (p.42). En la figura 2.1 se presenta una caldera de vapor.

Las calderas son un caso particular en el que se eleva a altas temperaturas de intercambiadores de calor, en las cuales se produce un cambio de fase. Además son recipientes a presión, por lo cual son construidas en parte con acero laminado a semejanza de muchos contenedores de gas. Debido a las amplias aplicaciones que tiene el vapor, principalmente de agua, las calderas son muy utilizadas en la industria para generarlo, para aplicaciones como:

La esterilización, ya que es común encontrar calderas en los hospitales, las cuales generan vapor para esterilizar los instrumentos médicos, también en los comedores con capacidad industrial se genera vapor para esterilizar los cubiertos, así como para la elaboración de alimentos en marmitas.

Calentar otros fluidos. por ejemplo, en la industria petrolera se calientan los petróleos pesados para mejorar su fluidez y el vapor es muy utilizado.

Generar electricidad a través de un ciclo Rankine. Las calderas son parte fundamental de las centrales termoeléctricas.



**Figura 2.1 Caldera de Vapor**  
**Fuente:** El autor (2018)

### 2.2.2 Tipos de Calderas

De acuerdo al manual #1 de generadores de vapor de PDVSA PO-ICV-IAV. Definiciones (2013): “existen básicamente dos tipos de calderas o generadores de vapor. Las calderas acoutubulares o de tubos de agua y las calderas pirotubulares o de tubos de humos” (p.13).

Las calderas acoutubulares consisten en un número de tubos interconectados por muchos tubos a través de los cuales fluye el agua que es calentada para producir vapor. Los gases calientes pasan sobre los tubos en la superficie exterior, generalmente haciendo varios pasos a través de secciones de la unidad antes que sean descargados a la atmosfera. Este tipo de generador de vapor está diseñado para convertir el agua en vapor en varios pasos, mediante la circulación forzada del fluido.

En estas calderas, los gases y humos provenientes de la combustión, rodean los tubos por cuyo interior circula el agua, son llamadas también Calderas de tubo de agua y pueden trabajar hasta altas presiones y gran capacidad de producción de vapor.

En las calderas pirotubulares los productos de la combustión pasan a través del interior de los tubos con el agua rodeándolos por el exterior. Este tipo de caldera se utiliza frecuentemente para suministro de agua caliente.

Las calderas que emplea PDVSA para generar vapor o inyectarlo a los yacimientos son del tipo acotubulares y por ello serán el objeto de estudio de este proyecto.

### **2.2.3. Generador de Vapor**

Según el manual de Mantenimiento de Generador de Vapor PDVSA PO-IV-001. Definiciones (2010): “es un equipo diseñado para convertir agua en vapor, mediante una circulación forzada del fluido” (p.16).

Este es el equipo utilizado actualmente por PDVSA para el proceso de Inyección Alterna de Vapor y los proyectos de Inyección Continua de Vapor (IAV,ICV), los cuales se realizan con la finalidad de mejorar el rendimiento de los pozos, acrecentar el factor recobro de los yacimientos y aumentar considerablemente la productividad del crudo en los campos operacionales de Bare.

En la figura 2.2 se presenta un generador de vapor del Distrito San Tome.



**Figura 2.2 Generador de Vapor del Distrito San Tome**  
**Fuente:** El autor (2018)

Para la mejor comprensión, es necesario definir ciertos términos que servirán de base para el buen desarrollo del proyecto de investigación:

### **2.3 Mantenimiento**

Según Jiménez, A. (1994), establece que:

Es el conjunto de actividades generalmente planificadas que se realiza con el objeto de asegurar la correcta utilización y conservación de locales, instalaciones, maquinarias, equipos, entre otros. Garantizando una reducción favorable de los costos debido a la prolongación de la vida útil de estos. (p.25)

De acuerdo a lo descrito por el autor, en relación con el concepto de mantenimiento, se puede definir como el conjunto actividades que se efectúan con el fin de mantener y/o preservar un equipo o maquinaria disponible y confiable. También para conservar todos los sistemas en estado óptimo y a su vez disminuye el tiempo de parada de los equipos y prolonga su vida útil.

### **2.3.1 Importancia del Mantenimiento**

Según la guía de mantenimiento de Pineda, J (2002) dice que:

Un buen servicio de conservación de instalaciones y equipos busca reducir al mínimo las suspensiones de trabajo, al mismo tiempo hace más eficaz el empleo de dichos elementos y de los recursos humanos a efecto de conseguir los mejores resultados con el costo posible, la necesidad de tener una organización apropiada de mantenimiento, de poseer controles adecuados, de poner planificar y programar con acierto. (p.57)

A partir del criterio formulado por el autor acerca de la importancia del mantenimiento, se puede respaldar la idea de que es sumamente importante dentro de una empresa u organización, ya que se logra restaurar y mantener operativos los equipos, reducir costos, reducir paradas de planta y asegurar la confiabilidad de los mismos.

### **2.3.2 Tipos de Mantenimiento**

#### **2.3.2.1 Mantenimiento Preventivo**

Según Duffua (2002), lo define como “una serie de tareas planeadas previamente, que se llevan a cabo para contrarrestar las causas conocidas de fallas potenciales de las funciones para las cuales fue creado un activo” (p.77). El mantenimiento preventivo se puede definir como aquel mantenimiento que consiste

en un grupo de tareas planificadas que se ejecutan periódicamente, con el objetivo de garantizar que los activos cumplan con las funciones requeridas y a fin de prevenir posibles fallas durante su ciclo de vida útil dentro del contexto operacional donde se ubican.

### **2.3.2.2 Mantenimiento Correctivo**

Según Duffua (2002), establece que “este tipo de mantenimiento solo se realiza cuando el equipo es incapaz de seguir operando. No hay elemento de planeación para este tipo de mantenimiento” (p.33).

También denominado mantenimiento reactivo, es aquel trabajo que involucra una cantidad determinada de tareas de reparación no programadas con el objetivo de restaurar la función de un activo una vez producido un paro imprevisto. Las causas que pueden originar un paro imprevisto se deben a desperfectos no detectados durante las inspecciones predictivas, a errores operacionales, a la ausencia de tareas de mantenimiento y, a requerimientos de producción que generan políticas como la de “reparar cuando falle”.

### **2.3.2.3 Mantenimiento Predictivo**

Según Duffua (2002), lo define como “una serie de actividades que se llevan a cabo para lograr determinar o predecir la posible aparición de una falla en un equipo o instalación” (p.72).

Basándose en el criterio del autor se puede analizar como un mantenimiento planificado y programado que se fundamenta en el análisis técnico, el cual se adelanta al suceso de las fallas, es decir, es un mantenimiento que detecta las fallas potenciales con el sistema en funcionamiento.

## **CAPÍTULO III**

### **MARCO METODOLÓGICO**

#### **3.1 Tipo de Investigación**

##### **3.1.1 Según el Nivel de Investigación**

Según Tamayo y Tamayo (1999), la investigación descriptiva “comprende la descripción, registro, análisis e interpretación de la naturaleza actual, y la composición o procesos de los fenómenos” (p.54)

Tomando en cuenta lo que expone el autor el nivel de esta investigación fue del tipo descriptiva, ya que se identificaron las funciones, averías y efectos asociados de los equipos estudiados, comprendiendo la descripción, registro e interpretación de las características fundamentales del problema actual.

##### **3.1.2 Según la Estrategia de la Investigación**

Según Tamayo y Tamayo, (1999) la investigación de campo es:

Cuando los datos que se recogen son directamente de la realidad por lo cual lo denominamos primarios, su valor radica en que permiten cerciorarse de las verdades en que se han obtenido los datos, lo cual facilita su revisión o modificación en caso de surgir dudas (p.71).

El tipo de investigación fue de campo, debido a que la información se recolecto directamente en el contexto natural de trabajo lugar donde se encuentra el fenómeno de estudio, donde se logró observar las necesidades físicas y describir el contexto actual de los equipos en estudios. Siendo en este caso los generadores de vapor, los

cuales posteriormente fueron evaluados y se interpretaron y analizaron los resultados obtenidos.

## **3.2 Población y Muestra**

### **3.2.1 Población**

Según Arias (2012), se entiende por población “el conjunto de elementos con características comunes que son objeto de análisis y para los cuales serán válidas las conclusiones de la investigación” (p.70).

Para este proyecto de investigación se definieron dos (2) tipos de poblaciones, las cuales son:

La población de activos, que está representada por veinte (20) equipos generadores de vapor de la Gerencia de Plantas de Vapor, que se encuentran en los campos operacionales de Bare, perteneciente a la U.P. Extrapesado del Dtto San Tomé.

La población humana, que comprende a todo el personal que labora en la Superintendencia de Plantas de Vapor, que totaliza veinte (20) personas.

### **3.2.2 Muestra**

Según Arias (2012), “la muestra es un subconjunto representativo y finito que se extrae de la población accesible” (p.83).

En esta investigación la muestra se clasificó de la manera siguiente:

La muestra de activos, estuvo representada por aquellos equipos que fueron propuestos explícitamente por la empresa. En este caso, la muestra estuvo representada por dos (2) equipos generadores de vapor, vinculados a la Gerencia de Plantas de Vapor, los cuales presentan mayor frecuencia de fallas, según la información suministrada por la organización; por lo tanto se consideró apropiado realizar el estudio con base a estos. Por la cual en este caso la muestra es de dos generadores de vapor (N°7 y N°12) que representan las unidades de estudio. En la tabla 3.1 se presenta las unidades de estudio.

**Tabla 3.1 Unidades de Estudio**

<b>Equipos Generadores de Vapor</b>			
<b>Equipo</b>	<b>Marca</b>	<b>Tipo</b>	<b>Estado</b>
Generador vapor N°7	Continental	Acuotubular	Próximo a Mtto.
Generador de vapor N°12	Strudder	Acuotubular	Próximo a Mtto.

**Fuente:** El autor (2018)

La muestra humana, estuvo constituida por el personal de la Superintendencia de Plantas de Vapor vinculada de forma directa con el mantenimiento y operación de los generadores de vapor que se encuentran en los campos operacionales de Bare. En este caso estuvo conformada por un equipo natural de trabajo que sirvió de apoyo al autor de trabajo, el cual estuvo conformado por tres (3) personas, estructurado de la manera siguiente:

- Ingeniero de Mantenimiento (1)
- Supervisor de Operaciones de Vapor (1)
- Operador de Generación e Inyección de Vapor (1)

Es necesario resaltar que ambas muestras son de tipo no probabilística intencional, ya que en igual forma fueron seleccionadas por interés directo para la investigación, basándose en la criticidad de los equipos y la disponibilidad del personal. Según Arias (2012), “una muestra no probabilística intencional es aquella cuya selección no considera la probabilidad que tiene los elementos de la población para integrar dicha muestra y se realiza con base en criterios o juicios del investigador” (p.51).

### **3.3 Técnicas de Recolección de Datos**

Según Arias (2012), las técnicas de recolección de datos son “las distintas formas o maneras de obtener la información” (p.30), son ejemplos de técnicas la observación directa, la encuesta en sus dos modalidades: oral o escrita, la entrevista, entre otras, mientras que para el mismo autor los instrumentos son “los medios materiales que se emplean para recoger y almacenar la información” (p.33).

En función de los objetivos definidos en esta investigación se utilizaron una serie de técnicas e instrumentos de recolección de información orientada a alcanzar los mismos, puesto que el trabajo de investigación, implicó una serie de métodos en los cuales se recopilaban los datos requeridos.

Para llevar a cabo lo antes expuesto, se aplicaron las siguientes técnicas:

#### **3.3.1 Revisión Bibliográfica**

Según Tamayo y Tamayo (1999), la revisión bibliográfica “constituye un procedimiento científico y sistemático de indagación, recolección, organización, interpretación y presentación de datos e información de un determinado tema, basado en una estrategia de análisis de documentos” (p.182).

Esta técnica se basó en la obtención de la teoría necesaria e información requerida mediante manuales de operación, manuales del fabricante, guías técnicas, páginas web y textos de análisis que contengan datos relevantes, con la finalidad de reunir de manera sistemática una amplia gama de información necesaria con relación al tema a investigar, recolectar información de los aspectos considerados como principales para conocer todo lo referente a los equipos generadores de vapor y servir de base y guía para el cumplimiento de los objetivos en este trabajo de grado.

### **3.3.2 Observación Directa**

Sabino, C. (2006) define la observación directa como: “el uso sistemático de nuestros sentidos, en la búsqueda de los datos que se necesitan para resolver un problema de investigación” (p.111).

Ésta técnica permitió visualizar y percibir de manera vivencial, la ejecución de las actividades involucradas en este trabajo de grado y permitió la realización del primer objetivo específico, ya que se recurrió a esta técnica para llevar a cabo actividades de inspección para conocer el estado y describir la situación actual de los generadores de vapor N°7 y N°12 ubicados en los campos operacionales de Bare.

De igual forma esta técnica también permitió recolectar la información concerniente al funcionamiento de los generadores de vapor, ya que se realizaron una serie de visitas a los campos donde operan los generadores, lo que permitió visualizar en un contexto natural y en forma presencial los equipos en pleno funcionamiento.

### **3.3.3. Entrevista No Estructurada**

Méndez, (2001), “la entrevista no estructurada es aquella donde, a través del dialogo, el encuestador obtiene la información deseada, sin planificación alguna” (p.93).

Un método que se empleó para la recopilación de datos fue el de entrevistas no estructuradas ya que realizaron diálogos abiertos entre el autor del trabajo y los integrantes del equipo natural de trabajo quienes de acuerdo a su experiencia, proporcionaron información confiable sobre la situación actual de los equipos generadores de vapor y de las deficiencias detectadas; ya que son ellos los que interactúan a diario con los generadores de vapor. Se utilizó esta técnica con el fin de complementar la información requerida de los generadores para el desarrollo de los objetivos del proyecto.

Además, la aplicación de éste instrumento al equipo natural de trabajo que labora en la Gerencia de Plantas de vapor y en los campos operacionales fue indispensable para desarrollar el análisis del contexto situacional de los generadores existentes en la extensión del Distrito San Tome.

## **3.4 Técnicas de Análisis de Datos**

### **3.4.1 Diagrama Ishikawa**

Se utilizaron diagramas para representar y analizar la información obtenida, lo que facilitó la explicación de los resultados. Se utilizó el diagrama de Ishikawa; sirviendo como una herramienta de análisis para organizar y representar las causas y sub-causas que pueden provocar fallas funcionales en los equipos en estudio.

### **3.4.2 Plano de Flujos y Procesos**

Se utilizó este plano como herramienta para comprender y analizar el proceso de operación de los generadores de vapor. Este sirvió para ilustrar la relación entre los generadores y sus principales equipos y componentes de manera que se logró explicar su funcionamiento y establecer el proceso de generación e inyección de vapor saturado para pozos productores de crudo pesado y extrapesado que se realiza con estos equipos industriales.

### **3.4.3 Ficha de Especificación Técnica**

Estas fichas sirvieron para presentar los datos claves y actualizados de forma clara y concisa, así como también los parámetros de operación de los generadores de vapor N° 07 y 12. Se representaron en estas fichas, los datos de los generadores con suficientes detalles las cuales sirvieron de gran ayuda para organizar y analizar la información obtenida.

### **3.4.4 Tablas**

Se utilizaron diversas tablas para organizar y analizar la información obtenida de los equipos y componentes asociados a los generadores de vapor. Estas sirvieron como herramienta para organizar, representar y fomentar el análisis de los equipos que intervienen en el proceso de operación de los generadores.

### **3.5 Etapas de la Investigación**

Este trabajo requirió el desarrollo sistemático de las etapas descritas a continuación:

#### **3.5.1 Descripción de la Situación Actual de los Generadores de Vapor N° 07 y 12**

Para esto fue necesario hacer visitas al patio de generadores ubicado en el campo operacional de Bare, lugar donde se encuentran los generadores de vapor N°7 y N°12 para posteriormente hacer inspecciones visuales con el apoyo del equipo natural de trabajo conformado por operadores e ingenieros pertenecientes a la gerencia de plantas de vapor PDVSA y poder evaluar la condiciones actuales de ambos generadores. En esta etapa se hicieron inspecciones internas y externas a los generadores de vapor N°07 y 12, a objeto de evaluar y verificar que todas las secciones de los generadores y todos sus equipos se encuentren en condiciones de operar en la estimulación térmica de pozos productores de petróleo.

Actualmente la empresa cuenta con un manual de inspección PI-10-02-03 para Generadores de Vapor, el cual se utilizó para el cumplimiento de objetivo, ya que establece el procedimiento de inspección de generadores que se debe realizar durante la fase de uso y parada, a fin de evaluar las condiciones de la integridad física y mecánica para determinar si el equipo en general se encuentra en estado óptimo para su funcionamiento. El mismo contempla las instrucciones a seguir para la inspección interna o externa de generadores una vez en servicio o durante paros programados, basados en los criterios de inspección definidos por la empresa (PDVSA), con la finalidad de determinar su condición en forma preventiva y su vida útil, de acuerdo a las condiciones operacionales. Por ende, fue utilizado para determinar si ambos generadores y sus respectivos equipos se encuentran en condiciones óptimas para su funcionamiento y finalmente describir la situación actual en que se encuentran ambos

equipos. Adicionalmente, se elaboró una ficha de especificación técnica para cada generador de vapor en la cual se representaron sus datos respectivos, a fin de tener la información clave y disponible de ambos equipos. Estas fichas contienen datos importantes como marca, modelo, serie, características técnicas. Esta información es de gran utilidad al momento de realizar trabajos de mantenimiento a dichos equipos en caso de que lo necesiten ya que poseen toda la información necesaria para saber de qué equipo de la empresa se trata.

### **3.5.2 Establecimiento del Proceso de Operación y Sistemas Existentes de los Generadores de Vapor N° 07 y 12**

Para el cumplimiento de esta etapa primeramente se consultó la Norma Venezolana Covenin 2217-84 (Generadores de Vapor. Instalación. Equipos y aparatos auxiliares) y el Manual de Generadores de Vapor PDVSA N° BF-203-P lo que permitió tener información de los equipos y sistemas que constituyen a un generador de vapor de manera que se pudo desglosar y describir los sistemas existentes en los generadores de vapor y cuantificar todos los equipos y/o componentes auxiliares que se necesitan para colocar en servicio a un generador de vapor, ya que se trata de un sistema en serie y si uno de ellos faltara no se podría llevar a cabo el proceso de operación. Para esto fue de gran ayuda la utilización de tablas que permitieron presentar la información de las características y funcionamiento de todos los equipos e identificarlos de acuerdo al sistema que pertenezcan y así definir su función. Posteriormente, se elaboró un plano de flujos y procesos para representar de forma pictórica la relación entre los generadores de vapor y todos los equipos y componentes que interactúan en el contexto operacional y en efecto explicar el proceso de operación de estos equipos.

Desde luego, se realizaron visitas al campo operacional lo que permitió visualizar en un contexto natural y en forma presencial a los generadores de vapor y

sus equipos en pleno funcionamiento y finalmente comprender el proceso de operación basado en la generación e inyección de vapor saturado para el desarrollo de este objetivo.

### **3.5.3 Análisis de las Fallas Funcionales y Efectos de Estas en los Generadores de Vapor N° 07 y 12**

En esta etapa se utilizó la técnica del diagrama de Ishikawa (Causa-Efecto) con el propósito de organizar y analizar las principales causas y sub-causas que han ocasionado y llevado a un estado de inoperatividad a los generadores de vapor N° 07 y 12.

Además, se explicaron las razones que dan origen a las fallas funcionales en los generadores de vapor y se analizaron las condiciones que se presentan, como desgaste, fractura, suciedad, atascamiento, entre otros. Es decir, lo que hace que el generador no realice la función deseada y pueda dañar al equipo o alguna de sus secciones. Así como también, se describieron los efectos de fallas ocasionadas por error humano, error de diseño o deficiencias en el mantenimiento y se explicó lo que pasaría si ocurrieran y para finalizar, se establecieron una serie de recomendaciones necesarias a tomar para evitar, reducir y eliminar las fallas de los generadores presentadas en el desarrollo de este objetivo.

### **3.5.4 Generación de un Conjunto de Acciones que Permitan la Operatividad Óptima de los Generadores de Vapor N° 07 y 12**

En esta etapa se definieron un conjunto de acciones que garantizarán al ser ejecutadas, la disponibilidad operativa de los equipos así como restablecer las condiciones óptimas de ambos generadores.

Se definieron las acciones que permitirán la operatividad óptima de ambos generadores tomando en cuenta que estos equipos ya están próximos a cumplir con las 50.000 horas de operación (tiempo límite de operatividad) y que por políticas de la empresa todo activo que cumpla con su tiempo estimado de funcionamiento, debe someterse a un mantenimiento nivel V. Por lo cual para este objetivo, se definieron las acciones y los equipos y componentes que deben ser reemplazados, suministrados y/o mantenidos para la ejecución del mantenimiento nivel V de los generadores de vapor N° 07 Y 12.

## CAPÍTULO IV

### ANÁLISIS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

#### 4.1 Descripción de la Situación Actual de los Generadores de Vapor N° 07 y 12

##### 4.1.1 Equipo Natural de Trabajo

Para conocer y describir la situación actual de los generadores en la relación a la problemática existente, primeramente se realizó la conformación de un equipo natural de trabajo el cual fue propuesto y calificado por la empresa PDVSA, para servir de apoyo al autor de este proyecto de investigación en las visitas que se realizaron en los campos operacionales de Bare. Este grupo se organizó para consulta y guía de las acciones y actividades ejecutadas para el desarrollo de este objetivo. (Figura 4.1).



**Figura 4.1 Equipo Natural de Trabajo**  
Fuente: El autor (2018)

Una vez estructurado el equipo natural de trabajo se tuvo que ir a las áreas de operación específicamente a Bare 4, lugar donde se encontraban los generadores de vapor N° 07 y 12 y en el cual se llevaron a cabo una serie de actividades de inspección interna y externa para determinar las condiciones operacionales de ambos generadores según los criterios establecidos en los procedimientos del manual de inspección Generadores PI-10-02-03 PDVSA (1996). En base a lo mencionado, se pudo obtener la información necesaria para determinar las condiciones generales de los generadores y si se encontraban aptos para su funcionamiento y finalmente describir su situación actual.

#### **4.1.2 Inspecciones de Generadores de Vapor**

La empresa lleva a cabo las inspecciones de los generadores según las indicaciones del manual de inspección PI-10-02-03 para generadores de vapor que se enfoca en llevar a cabo actividades de inspección visual por el operario o custodio de estos equipos con la finalidad de determinar las condiciones de la integridad física del generador lo que incluye la inspección y diagnóstico del estado interno y externo de sus secciones. Los criterios que se toman para evaluar y verificar que las secciones de los generadores y todos sus equipos estén aptos para operar se basan en que las secciones tanto externa como internamente no presenten daños irreversibles o que tengan alguna condición o necesidad que imposibilite su funcionamiento de inmediato o puedan representar una condición insegura para el medio ambiente y operaciones del área. Estas actividades de inspección se llevan a cabo con la finalidad de verificar que las tuberías del generador estén libres de incrustaciones, abombamiento, ampolladuras, agrietamiento de temple, hundimientos y deformación y que posean todos sus soportes para poner en funcionamiento al generador.

En el proceso de inspección se debe observar si alguna parte del generador expuesta al fuego o a altas temperaturas, presenta deformación o disminución del

material existente. La sección interna del generador debe ser inspeccionada por el refractario y verificar si existe desprendimiento o disminución de algún componente o material. En la sección de convección se debe inspeccionar que no existan deformaciones y espesores bajos por excesiva corrosión que pueda producir fragilidad o ruptura de las tuberías de la sección.

#### **4.1.3 Criterios de Inspección**

En cuanto a las Inspecciones, estas deben llevarse a cabo de una manera sistemática a fin de no pasar por alto algún componente vital o sistema del generador para determinar si existe alguna inconformidad o eventualidad que pueda retrasar o imposibilitar el proceso o provocar alguna falla o daño en el equipo. El inspector debe hacer una Inspección visual y debe ser dirigido hacia el control de la condición física global de la unidad. Los criterios para realizar la inspección son los siguientes:

- ✓ El inspector debe observar si alguna parte de la caldera expuesta al fuego o altas temperaturas, presenta deformación tales como abombamiento o ampollamiento, en caso que dichos defectos presentaran evidencia de fuga o las dimensiones de la deformación pudiesen debilitar la lámina o el tubo, el generador deberá permanecer fuera de servicio hasta que las reparaciones necesarias sean realizadas. El área de la ampolla debe ser removida, el espesor restante determinado y las reparaciones necesarias se deben realizar.
- ✓ Todos los tubos de la zona convectiva deben ser inspeccionados para detectar signos de sobrecalentamiento, corrosión y erosión.
- ✓ Los tubos de agua dentro de la sección radiante deben ser cuidadosamente examinados para determinar cualquier evidencia de daño en cualquiera de sus partes. Los tubos de agua y los tubos de generación cercanos al horno son

particularmente susceptible al sobrecalentamiento y deben ser examinados para detectar abombamiento, ampolladuras, agrietamiento de temple, hundimientos y deformación.

- ✓ Si se determina la presencia de fisuras o rajaduras en alguna tubería o cuerpo del generador que pueda comprometer el proceso, el inspector debe ordenar que el generador de vapor, sea puesto fuera de servicio, hasta su reparación, si fuera permitido de acuerdo a lo contemplado en la Norma Venezolana COVENIN N° 20: 4-007 y la norma ANSI/ASME b31.

#### **4.1.4 Inspección del Generador de Vapor N° 07**

Se realizó una inspección visual en el interior del hogar y el exterior del generador de vapor abarcando toda su integridad física. Las actividades de inspección se llevaron a cabo con el equipo fuera de servicio.

##### **4.1.4.1 Inspección Externa del Generador de Vapor N° 07**

La inspección externa del generador abarca todos los elementos y componentes externos del generador. Los resultados de la inspección externa del generador N° 07 son los siguientes:

- La carcasa externa de la sección de radiación presenta altos niveles de erosión y sobrecalentamiento.
- No se encontró instalado el sistema de combustible
- Se evidencia la falta de neumáticos y un gran deterioro de los existentes.
- La cámara de convección o chimenea se encontró desmontada y con presencia de corrosión y pérdida del material en forma generalizada.

- No posee instalado el quemador, ni la bomba quintuplex.
- El intercambiador de calor se encuentra incompleto.

El reconocimiento externo del generador de vapor N° 07 mostró un mal estado a nivel general. En la tabla 4.1 se muestran los registros fotográficos de la inspección realizada.

**Tabla 4.1 Registro Fotográfico de Inspección Externa a Generador N° 07**

<b>Inspección visual</b>	<b>Zona afectada</b>	<b>Observaciones</b>
Carcasa de sección de radiación		Presenta altos niveles de erosión y sobrecalentamiento
Sistema de Combustible		No posee tuberías para el suministro de gas ni las válvulas reguladoras de presión. Estas fueron instaladas en otro generador.
Rodamientos		Los Cauchos del generador no se encuentran completos y los que posee se encuentran en mal estado. Haciendo imposible el movimiento de estos equipos que deben ser portátiles.
Chimenea		La chimenea se encontraba desmontada del generador de vapor y se observó que posee un alto nivel de corrosión y pérdida de material en forma generalizada, por lo cual no se encuentra en condiciones óptimas para ser utilizada en el equipo.
Intercambiador de calor		Falta la tubería doble que se conecta con la cámara de convección.

#### 4.1.4.2 Inspección Interna del Generador de Vapor N° 07

La inspección interna abarca los tubos internos y el material refractario de la sección de radiación u hogar. Los resultados de la inspección interna del generador N° 07 son los siguientes:

- El refractario se encuentra deformado.
- Los tubos presentan abombamiento y presencia de oxidación y herrumbre.

A continuación se presenta en la tabla 4.2 los registros fotográficos de la inspección interna del generador N° 07

**Tabla 4.2 Registro Fotográfico de Inspección Interna a Generador N° 07**

<b>Inspección visual</b>	<b>Zona afectada</b>	<b>Observaciones</b>
Tubos de Hogar		En la parte interna se observó que los tubos presentan altos niveles de herrumbre, oxidación termica, deformación y abombamiento. Y su material refractario adjunto a ellos se encuentra con deformaciones y partes irregulares.
Material refractario		Presenta secciones irregulares y desprendimiento de la fibra tipo cerámica.

**Fuente:** El autor (2018)

#### **4.1.5 Inspección del Generador de Vapor N° 12**

El generador de vapor N° 12 al igual que el N° 07 fue inspeccionado de manera visual tanto interna como externamente y fuera de servicio.

##### **4.1.5.1 Inspección Externa del Generador de Vapor N° 12**

Los resultados de la inspección externa del generador N° 12 son los siguientes:

- La carcasa externa del generador presenta diversas áreas de oxidación a nivel general.
- Posee instalado y en buen estado todo su sistema combustible.
- No posee neumáticos y se encuentra sostenido con soportes de hierro.
- La sección de convección (Chimenea) se observó con altos niveles de corrosión, fisuras y se evidencia el desprendimiento de material y fragilidad en los tubos.
- Posee a simple vista el quemador y la bomba quintuplex.
- El intercambiador de calor se encuentra roto y con deformaciones.

El generador de vapor N°12 en igual forma presentó desconformidades similares a las del generador N° 07. A continuación se muestra en la tabla 4.3 los registros fotográficos de la inspección externa:

**Tabla 4.3 Registros Fotográficos de Inspección Externa a Generador N° 12**

<b>Inspección visual</b>	<b>Zona afectada</b>	<b>Observaciones</b>
Carcasa de sección de radiación		Existe presencia de sobrecalentamiento en las áreas de la carcasa
Sistema combustible		Posee todo las líneas de suministro de gas combustible en buen estado
Rodamientos		No posee neumáticos. El generador se encuentra sostenido en una plataforma improvisada por el personal de operaciones.
Chimenea		Se observa un gran nivel de corrosión, fragilidad y algunos tubos presentan diferentes dimensiones.
Intercambiador de calor		Se encuentra deformado y posee rupturas en su longitud lo cual impide de manera inmediata que esta sección pueda funcionar.

**Fuente:** El autor (2018)

#### 4.1.5.2 Inspección Interna del Generador de Vapor N° 12

La inspección interna abarca los tubos internos y el material refractario de la sección de radiación u hogar. Los resultados de la inspección interna del generador N° 12 son los siguientes:

- Se observó disminución del material refractario
- Algunos tubos poseen herrumbre, fisuras, grietas y ampollamiento.

A continuación se presenta en la tabla 4.4 los registros fotográficos de la inspección interna del generador N° 12:

**Tabla 4.4. Registros Fotográficos de Inspección Interna a Generador N°12**

Inspección visual	Zona afectada	Observaciones
Tubos de Hogar		Se evidencia algunas fisuras y ampollamiento en los tubos laterales, así como oxidación térmica y la ausencia del material refractario que los acompaña.
Material refractario		Se observa la lana tipo fibra cerámica en las paredes laterales de la zona de radiación con deformaciones y en malas condiciones.

**Fuente:** El autor (2018)

#### 4.1.6 Situación Actual de Generadores de Vapor N° 07 y 12

Los trabajos que se realizan en los campos de Bare son rutinarios, que van desde simples chequeos o inspecciones hasta la reparación de los equipos que permanecen en el área. En estos campos se encuentran los generadores de vapor N° 07 y 12 y son específicamente empleados para la estimulación térmica de pozos productores de petróleo que se encuentran en el subsuelo de esa área.

Los generadores de vapor N°7 y 12 pertenecen a PDVSA Exploración y Producción, Distrito San Tome. La empresa ha utilizado ambos generadores para aumentar la producción de petróleo ya que normalmente producto de la explotación de un yacimiento, la presión natural de éste disminuye, lo cual implica que la producción de fluidos baje hasta el momento en el cual, el pozo deja de producir por sí mismo. De allí surge la necesidad de extraer los fluidos del yacimiento mediante la aplicación de fuerzas o energías ajenas al pozo; proceso al que se le denomina levantamiento artificial.

Dentro de éste levantamiento, se encuentra el proceso de inyección continua y/o alterna de vapor como método de estimulación térmica y/o recuperación secundaria

para los pozos productores de crudos pesados y extra pesados que generalmente son los crudos que poseen mayor viscosidad y que se encuentran en las áreas de explotación de Bare del Distrito San Tome.

Para la extracción de este crudo altamente viscoso la empresa ha utilizado durante casi 5 años a los generadores de vapor N° 07 y 12 los cuales se dedicaron a producir vapor a altas temperaturas para ser inyectado a los pozos, logrando que el petróleo disminuyera su viscosidad, mejorara su fluidez y facilitara su extracción.

Hoy en día estos equipos están próximos a cumplir el tiempo límite de funcionamiento y debido a la inactividad y exposición a la intemperie los daños presentes en ambos generadores se agudizan cada vez más. Su situación actual es la siguiente; Ambos generadores de vapor presentan desconformidades tales como grietas, deformaciones y altos niveles de corrosión y herrumbre en los diferentes tubos de sus secciones, así como deformación del material refractario en el interior de la sección de radiación por lo cual es de alto riesgo operar estos equipos en dichas condiciones.

Dichos generadores de vapor presentan en forma general desconformidades en sus superficies externas y en los sistemas de rodamientos, además poseen en malas condiciones la sección de convección, radiación y la sección de precalentamiento por lo cual esto imposibilita su funcionamiento de manera óptima. Actualmente ambos equipos no encuentran aptos para funcionar a su capacidad normal de operación, por ende no pueden realizar una estimulación térmica a un yacimiento.

#### **4.1.7 Especificaciones Técnicas**

Debido a que la empresa no contaba con información organizada de los generadores se elaboraron fichas técnicas para presentar los datos de los generadores

de vapor y tener a disposición la información clave para el momento en que se necesite identificar a cada equipo para realizar trabajos de mantenimiento. A continuación se muestran en las tablas 4.5 y 4.6 las especificaciones técnicas de los generadores de vapor N° 07 y 12 adscritos a la gerencia de plantas de vapor del Distrito San Tome.

**Tabla 4.5 Especificaciones Técnicas de Generador N° 07**

 <b>PDVSA</b> Exploración y Producción			
<b>FICHA TECNICA. GENERADOR DE VAPOR N° 07</b>			
<b>Realizado por:</b>	Castañeda, C. Luis, A	<b>Fecha:</b>	28/01/18
<b>Descripción:</b>	Es una maquina o dispositivo de ingeniería, donde la energía química, se transforma en energía térmica. Es utilizado generalmente para la estimulación térmica de pozos petroleros para inyectar habitualmente vapor de agua y está constituido por tres (3) secciones: radiación, convección y precalentamiento.		
<b>Serial:</b>	1250	<b>Tipo:</b>	Acoutubular
<b>Marca:</b>	Continental	<b>Ubicación:</b>	Patio de generadores. Bare 4. Dtto San tome.
<b>Año de fabricación:</b>	1985	<b>Estado actual:</b>	Inoperativo
<b>Parámetros operacionales</b>			Generador N° 07
<b>Descripción</b>	Min	Max	Operación
<b>Generador V</b>	0	2500 Psi	900-1500 Psi
Temp. Zona radiante	-	-	750 °F
Temp.Zona convectiva	-	-	450 °F
Bomba quintuplex	0	1750 Psi	1500 Psi
Bomba centrifuga	0	70 Psi	60 Psi
Planta de tratamiento	0	70Gpm	30-50 Gpm
Calidad de vapor	-	-	80%
Eficiencia térmica	-	-	90 %
Capacidad	-	-	25 MMBTU



Combustible	-	-	Gas
<b>OBSERVACIONES:</b> El generador de vapor N° 07 se encuentra fuera de servicio ya que posee en malas condiciones sus respectivas secciones por lo cual se imposibilita su funcionamiento. Se sugiere debido a sus condiciones actuales someterlo a un mantenimiento mayor.			

Fuente: El autor (2018)

Tabla 4.6 Especificaciones Técnicas de Generador N° 12



FICHA TECNICA. GENERADOR DE VAPOR N° 12			
<b>Realizado por:</b>	Castañeda, C. Luis, A	<b>Fecha:</b>	28/01/18
<b>Descripción:</b>	Es una maquina o dispositivo de ingeniería, donde la energía química, se transforma en energía térmica. Es utilizado generalmente para la estimulación térmica de pozos petroleros para inyectar habitualmente vapor de agua y está constituido por tres (3) secciones: radiación, convección y precalentamiento.		
<b>Serial:</b>	2002793	<b>Tipo:</b>	Acoutubular
<b>Marca:</b>	Strudder	<b>Ubicación:</b>	Patio de generadores. Bare 4. Dtto San tome.
<b>Año de fabricación:</b>	1989	<b>Estado actual:</b>	Inoperativo
<b>Parámetros operacionales</b>			Generador N° 07
<b>Descripción</b>	Min	Max	Operación
<b>Generador V</b>	0	2500 Psi	900-1500 Psi
Temp. Zona radiante	-	-	750 °F
Temp.Zona convectiva	-	-	450 °F
Bomba quintuplex	0	1750 Psi	1500 Psi
Bomba centrifuga	0	70 Psi	60 Psi
Planta de tratamiento	0	70Gpm	30-50 Gpm
Calidad de vapor	-	-	80%
Eficiencia térmica	-	-	90 %



Capacidad	-	-	25 MMBTU	
Combustible	-	-	Gas	
<b>OBSERVACIONES:</b> El generador de vapor N° 12 se encuentra fuera de servicio ya que posee en malas condiciones sus respectivas secciones por lo cual se imposibilita su funcionamiento. Se sugiere debido a sus condiciones actuales someterlo a un mantenimiento mayor.				

**Fuente:** El autor (2018)

## **4.2 Establecimiento del Proceso de Operación y los Sistemas Existentes de los Generadores de Vapor N° 07 y 12**

### **4.2.1 Secciones de un Generador**

Según el Manual de Generadores de Vapor PDVSA N° BF-203-P un generador posee tres secciones fundamentales que cumplen una función determinada para poder realizar una estimulación térmica mediante la inyección de vapor. A continuación se describen estas tres secciones:

- Sección de radiante y quemador: la sección radiante o zona de radiación tiene forma cilíndrica y es una de las secciones más grandes del generador. Internamente posee 52 tubos de 3.5'' de diámetro por los cuales circula agua en su interior y por efecto de la transferencia de calor que se le aplica dentro de esta zona, será convertida en vapor. Es decir, estos tubos absorben calor por radiación directamente de una llama producida por un quemador acoplado a esta sección. Esta sección se caracteriza por una máxima temperatura en los tubos y una alta transferencia de calor para poder generar vapor. En la figura 4.2 se identifica la sección radiante.



**Figura 4.2 Sección de Radiación**

**Fuente:** El autor (2018)

- Quemador: el quemador es un componente del generador que sirve para mezclar el combustible con aire y quemarlo. Se encuentra acoplado a la zona de radiación y regula la mezcla de combustible y aire necesarios para una combustión apropiada y así suministrar el calor requerido mediante una llama a los tubos de la zona radiante para producir vapor. Posee un sistema de ignición de una chispa eléctrica producida por un transformador de corriente eléctrica y una bujía. El combustible se quema dentro de la sección radiante, donde el calor es transferido a los tubos por radiación directa y se produce el vapor para ser inyectado. En la figura 4.3 se identifica un quemador acoplado a la zona de radiación de un generador de vapor.



**Figura 4.3 Quemador Acoplado a Zona de Radiación**

**Fuente:** El autor (2018)

- Sección de convección: esta sección tiene forma de una especie de caja rectangular con tubos en su interior. Se encuentra en el extremo opuesto del generador específicamente atrás del cilindro o zona radiación. Está conformada por una serie de tubos sencillos y codos, los cuales absorben el calor de los gases de escape o combustión provocados por el quemador los cuales provienen de la zona de radiación y tiene como función elevar la temperatura del agua que circula dentro de ellos. Aquí la transferencia de calor es por convección. En la figura 4.4 se identifica la sección de convección de un generador.



**Figura 4.4 Sección de Convección o Chimenea**  
**Fuente:** El autor (2018)

- Sección de precalentamiento o intercambiador de calor: el generador de vapor posee una sección de precalentamiento que se encuentra en la parte de superior del generador, la cual es una tubería usada para subir la temperatura del agua de entrada al generador, de manera que esta no entre en la zona radiante y de convección a temperatura ambiente y pueda producir choques térmicos en las tuberías. En la figura 4.5 se identifica un intercambiador de calor de un generador de vapor.



**Figura 4.5 Intercambiador de Calor**

**Fuente:** El autor (2018)

#### **4.2.2 Fuentes de Alimentación para Colocar en Servicio a un Generador de Vapor**

Para que un generador de vapor pueda colocarse en servicio principalmente deben estar disponibles en el área de operación tres (3) fuentes de alimentación para que el equipo pueda llevar a cabo el proceso de generación de vapor de manera eficiente. A continuación se describen las tres fuentes:

- ✓ Fuente de agua: el agua utilizada para generar el vapor proviene de pozos perforados que suministran el agua requerida a tanques de almacenamiento. Los pozos de agua generalmente se encuentran diseminados estratégicamente en las áreas operacionales y están equipados con tanques de almacenamiento (1500 brls) y una bomba recíproca, la cual bombea a través de líneas instaladas el agua hacia otros tanques y posteriormente a los generadores de vapor. En la figura 4.6 se muestra un pozo de agua para los generadores de vapor.



**Figura 4.6 Pozo de Agua**  
**Fuente:** El autor (2018)

- ✓ Fuente de gas: el combustible utilizado para la generación de vapor es el gas. El gas que utiliza el generador, es un gas combustible (78% METANO 21 % ETANO y 1 % otros gases tóxicos y ácidos) que proviene de Anaco- Pto Ordaz mediante un gasoducto de 36'' del cual deriva un ramal en la localidad de coloradito para la distribución de los campos melones y bare. Este ramal alimenta a un separador vertical de gas para garantizar que no existan partículas sólidas o líquidas en el gas combustible al suministrarlo al generador de vapor. Donde mediante controles de presión se baja de 250 psi del sistema de campo a máximo 120 psi. Posteriormente al entrar al generador mediante válvulas de control de presión se baja la presión a máximo 80 psi que es la presión de entrada del generador. En la figura 4.7 se muestra un separador gas para el suministro de gas combustible al generador.



**Figura 4.7 Separador de Gas Combustible**  
**Fuente:** El autor (2018)

- ✓ Fuente de electricidad: para la puesta en marcha de un generador de vapor, se requiere de una fuente de electricidad para activar equipos, motores, bombas y la instrumentación eléctrica. La fuente de electricidad para el generador de vapor proviene de la red nacional de 13800 kv. Siendo reducida a 480 volt con un transformador de capacidad de 300 kva. Es indispensable para que el generador pueda obtener la energía para encender y accionar todos los equipos de instrumentación y eléctricos que posee, para así medir y controlar todos los parámetros establecidos para la generación de vapor. En la figura 4.8 se muestra la fuente de electricidad.



**Figura 4.8 Fuente de Electricidad**

**Fuente:** El autor (2018)

### **4.2.3 Sistemas Existentes en un Generador de Vapor**

Para establecer los sistemas se consultó la Norma Venezolana Covenin 2217-84 (Generadores de vapor. Instalación. Equipos y aparatos auxiliares) la cual hace mención de todos los equipos necesarios para el funcionamiento de un generador de vapor. Posteriormente gracias a la información obtenida se logró desglosar y definir los principales sistemas de los generadores de vapor y agrupar los equipos y componentes mencionados en la norma en el sistema al que pertenecen.

Un generador de vapor está constituido por cuatro (4) sistemas principales, estructurados por diferentes equipos y componentes donde los mismos se encargan de llevar a cabo una función diferente dentro del contexto operativo. La tabla 4.7 contiene la descripción de los sistemas existentes en los generadores de vapor:

**Tabla 4.7 Sistemas de un Generador de Vapor**

<b>Sistemas</b>	<b>Descripción</b>
<b>Alimentación de Agua</b>	Proporciona todos los equipos necesarios para acondicionar el agua y suministrarla al generador de vapor.
<b>Combustible</b>	Corresponde al conjunto de elementos que tienen como propósito almacenar el combustible y entregar una cantidad precisa, limpia y a la presión correcta, para satisfacer las exigencias del generador para su correcto funcionamiento
<b>Vaporización</b>	En este se lleva a cabo la transferencia de calor por convección y radiación y por ende constituye todos los aparatos para transmitir y aprovechar al máximo el calor disponible para generar vapor.
<b>Ventilación</b>	Los sistemas de ventilación son aquellos que permiten asegurar que los gases producto de la combustión no se acumulen en la sala de los generadores. Permite cambiar, renovar, y extraer el aire interior de la caldera y sustituirlo por aire nuevo del exterior.

**Fuente:** El autor (2018)

#### **4.2.3.1 Componentes que Pertenecen a los Sistemas de un Generador de Vapor**

Luego de establecer los sistemas existentes en los generadores de vapor se procedió a agrupar los equipos y componentes de acuerdo a su función en el sistema al que pertenecen y posteriormente se realizó la visita al campo operacional MFB-773 donde se encuentran los generadores y sus respectivos equipos para visualizar su funcionamiento. En las tablas 4.8, 4.9, 4.10 y 4.11 se identifican y se describen todos los componentes de acuerdo al sistema que pertenecen:

Tabla 4.8 Componentes del Sistema de Alimentación de Agua

Equipo	Descripción	Identificación
<b>Planta de Tratamiento</b>	Esta planta está integrada para acondicionar el agua de alimentación de los generadores de vapor. Realiza un intercambio iónico para eliminar los iones de calcio y magnesio presentes en el agua. y consta de dos (2) trenes independientes constituidos cada uno por un (1) filtro de arena, un (1) suavizador primario y uno (1) secundario o pulidor.	
<b>Tanques de almacenamiento de agua</b>	Cada generador de vapor está equipado con tres tanques con capacidad de 500 BLS cada uno. Un tanque para almacenar agua dura y dos para almacenar agua suave o agua tratada. Estos tanques son de acero revestido internamente con una pintura especial para evitar una posible corrosión.	
<b>Bomba Quintuplex</b>	Esta se encuentra sobre la plataforma de tableros de frente al quemador y tiene por finalidad bombear el caudal de agua necesario al generador de vapor. También posee un by-pass que comunica la descarga y la succión de la bomba, este by-pass se utiliza con la finalidad de controlar el flujo de agua que se inducirá en el generador de vapor.	
<b>Bombas Centrifugas</b>	Succiona el agua dura del tanque de almacenamiento y la impulsa hacia la planta de tratamiento y posteriormente la envían a la bomba quintuplex para que esta la induzca al generador.	

Tabla 4.9 Componentes del Sistema Combustible

Equipo	Descripción	Identificación
<b>Separador de Gas</b>	Son utilizados separadores verticales para garantizar que no existan partículas sólidas o líquidas en el gas combustible al suministrarlo al generador de vapor.	
<b>Válvulas Reguladoras (Maxon)</b>	Se utilizan para bajar la presión de gas del sistema de campo. Bajan la presión a máximo 80 psi que es la presión de entrada del generador.	
<b>Línea de Suministro</b>	Van desde el separador vertical y se interconectan con las líneas o gasoductos del generador que se conectan con las válvulas y posteriormente finalizan en el quemador. Normalmente se identifican con el color amarillo.	

Fuente: El autor (2018)

**Tabla 4.10 Componentes del Sistema de Vaporización**

<b>Equipo</b>	<b>Descripción</b>	<b>Identificación</b>
<b>Tubos Hogar</b>	Se encuentran en la parte interior del hogar o sección de radiación. Son 52 tubos de 3.5'' de diámetro, fabricados de acero con cromo molibdeno por los cuales circula agua y reciben el calor directo de la llama provocada por el quemador. Reciben transferencia de calor por Radiación.	
<b>Tubos de Convección o Economizadores</b>	Se encuentran en la sección o cámara de convección y absorben el calor de los gases de escape o combustión provocados por el quemador para elevar la temperatura del agua que circula a través de ellos. Reciben transferencia de calor por convección.	
<b>Quemador</b>	El quemador es un componente del generador que sirve para mezclar el combustible con aire y quemarlo. Se encuentra acoplado a la zona de radiación y regula la mezcla de combustible y aire necesarios para una combustión apropiada y así suministrar el calor requerido mediante una llama a los tubos de la zona radiante para producir vapor.	
<b>Línea de suministro de vapor (Chizzen)</b>	Es una tubería que transporta el vapor que se ha generado hasta el cabezal del pozo.	

**Fuente:** El autor (2018)

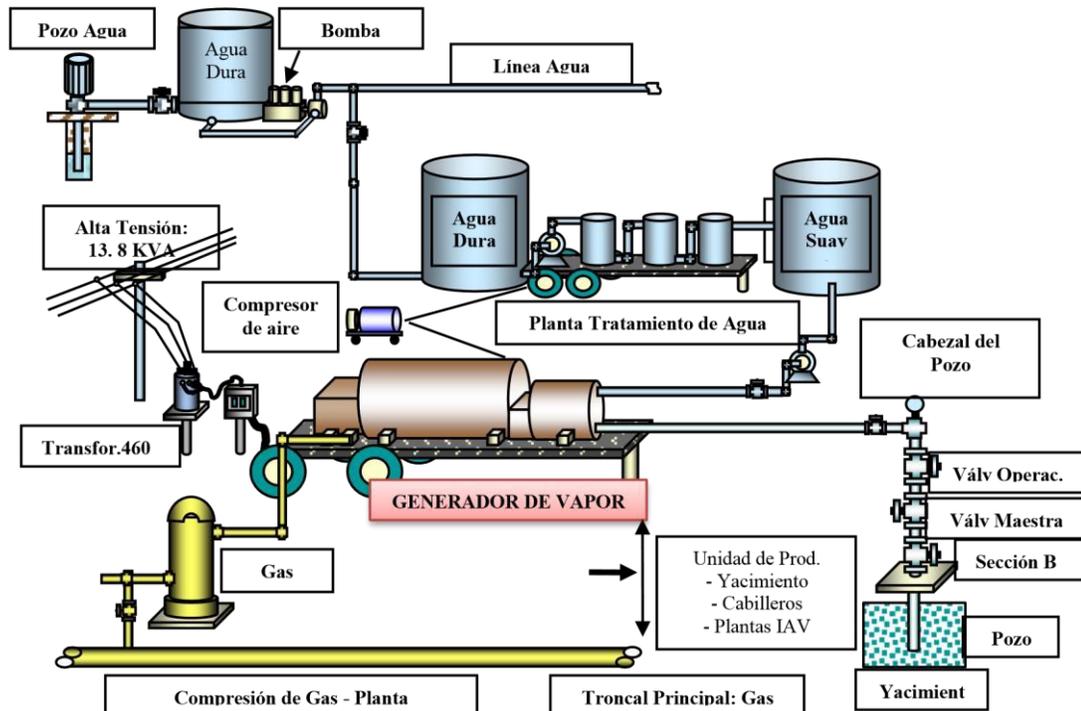
Tabla 4.11 Componentes del Sistema de Ventilación

Equipo	Descripción	Identificación
<b>Ventilador (Tren de aire)</b>	Cada generador de vapor posee un ventilador de aire que se encuentra colocado en la parte superior del quemador y cumple con las función de desalojar el gas del hogar del generador durante la etapa de pre-purga y post-purga y la de suplir el aire requerido para la combustión.	
<b>Junta de china</b>	Se encuentra acoplada a la sección de convección y su función es expulsar al exterior los gases producto de la combustión que circulan a través de los tubos de esta sección.	

Fuente: El autor (2018)

#### 4.2.4 Plano de Flujos de Procesos

Mediante un plano de flujos y procesos se logró representar todos los equipos que intervienen en el proceso de operación de los generadores de vapor para comprender como interactúan entre si y explicar el proceso de generación e inyección de vapor a pozos productores de crudo pesado que se realiza con estos generadores. A continuación se presenta en la figura 4.9 el proceso de operación de los generadores de vapor.



**Figura 4.9 Proceso de Operación de un Generador de Vapor**

**Fuente:** El autor (2018)

#### 4.2.4.1 Descripción del Proceso

Una vez que el pozo de agua suministra el agua para llenar el tanque de almacenamiento (1500 brls), seguidamente esta es impulsada mediante una bomba de transferencia a una línea de agua industrial la cual se conecta a otro tanque de almacenamiento denominado ``tanque de agua dura'', esto debido a que el agua proveniente del pozo contiene compuestos de Calcio y de Magnesio. Esta agua dura es succionada por una bomba centrífuga y es suministrada a la planta de tratamiento para convertirla en agua suave por medio de un intercambio iónico mediante una resina sintética llamada zeolita y salmuera.

La planta de tratamiento es un quipo diseñado para eliminar los iones de calcio y magnesio presentes en el agua. Consta de dos trenes independientes, constituidos

cada uno por un filtro de arena, un suavizador primario y uno secundario pulidor. El agua dura ingresa primero a un filtro de arena el cual se encarga de recolectar la mayoría de los sólidos suspendidos que pueden estar presentes en el agua, una vez filtrada ingresa al suavizador primario, en donde se efectúa el proceso de intercambio iónico en donde los cationes de  $Mg^{2+}$  y  $Ca^{2+}$  son intercambiados por los cationes de Na produciendo un agua con mínima dureza gracias a la zeolita. Pero aun y cuando se lleva a cabo el proceso físico-químico, algunos trazos de dureza pueden pasar al sistema. Con la finalidad de reducir aún más la dureza, el agua proveniente del suavizador se hace pasar por un tanque pulidor, en donde se reduce los trazos de dureza que pudiesen haber quedado en el agua proveniente del tanque suavizador, aquí la dureza se reduce a valores menores a 0.5 ppm, y queda completamente preparada para ser utilizada en el generador de vapor.

La planta funciona en forma automática, y mientras un tren está activo, el otro es automáticamente regenerado y puesto en espera, cuando el tren activo está agotado, el tren en espera automáticamente se pone en servicio repitiéndose el proceso.

Es importante resaltar que mientras sucede todo este proceso con el agua, el operador debe accionar o poner en funcionamiento el quemador del generador para que se cree la combustión (mezcla gas-aire y la fuente de ignición causada por una bujía) dentro de la zona de radiación y los tubos estén preparados para cuando entre el agua en esta sección. En igual forma los gases producto de esta combustión sean absorbidos por la zona convectiva.

El agua una vez que ha sido previamente suavizada en la planta de tratamiento, es decir se le han eliminado los iones de Ca y Mg, principales causantes de la dureza se almacena en un tanque de agua suave, desde donde posteriormente es enviada a la

succión de la bomba quintuplex (Bomba reciprocante de 5 pistones), la cual induce el agua al generador de vapor.

Existe un by-pass que comunica la descarga y la succión de la bomba, regulado a través de una válvula de control, la cual es controlada por el operador para aumentar o disminuir el caudal de entrada requerido; posterior a esto el agua se precalienta a través del intercambiador de calor localizado en la parte superior del generador. Entra al intercambiador de calor con una temperatura de 90°F y se precalienta a máximo 150°F esto se hace con la finalidad de que el agua no entre en la zona convección y de radiación a temperatura ambiente y pueda producir choques térmicos en las tuberías de dichas secciones que se encuentran a altas temperaturas debido a los gases de la combustión y la exposición directa de la llama en los tubos respectivamente. Luego de ser precalentada, el agua pasa a la sección de convección del generador, donde adquiere parte del calor que lleva aun los gases de escape del quemador, logrando calentar el agua a máximo 420°F. Este calor transportado por convección, se basa en aprovechar los gases de salida de la combustión de la zona radioactiva y así elevar la temperatura del agua aún más y evitar un choque térmico cuando entre en la zona de radiación.

Posteriormente el agua sale de la sección de convección y entra nuevamente al intercambiador de calor, aprovechando que el intercambiador posee una tubería que lleva directamente el agua de la zona convectiva a la zona de radiación del generador. Una vez que el fluido entra a la sección radiante y circula dentro de los tubos, lugar donde se encuentra el quemador activo, este permite mediante la combustión (mezcla gas-aire y la fuente de ignición causada por una bujía) transferir calor directamente de la llama a los tubos ubicados axialmente en forma de serpentín a lo largo de la zona de radiación. Es durante esta etapa donde el fluido cambia de estado líquido a vapor saturado bajo los requerimientos exigidos de operación, ya que adquiere la mayor parte del calor por radiación directa de la llama (máximo 600°F). Se caracteriza por

una máxima temperatura en los tubos y una alta transferencia de calor, y por efecto de esto el agua debe salir como vapor saturado para así finalmente ser inyectado al pozo petrolero a estimular.

Una vez que el vapor de descarga del generador posee los requerimientos exigidos de operación, es decir, la calidad en el vapor (80% vapor seco más 20% vapor húmedo), se comienza con el proceso de inyección de vapor mediante una línea de inyección (chizzen) que se interconecta al cabezal del pozo, luego se induce una tubería de completación (como método de completación térmica para pozos) que transporta el vapor hasta la arena del yacimiento tratado; debido a que el sistema desde la fuente hasta el yacimiento consta de materiales térmicos se mantiene las condiciones de calidad con variaciones mínimas donde de acuerdo a la completación que se utilice (aislamiento con  $N_2$  y/o tubería pre aislada) el gradiente de pérdida de calor del vapor es muy mínimo respectivamente.

Con este proceso de inyección de vapor se logra reducir la viscosidad del crudo, se mejora su movilidad, se facilita su extracción y se puede aumentar la producción.

#### **4.3 Análisis de Fallas Funcionales y Efectos de estas en los Generadores de Vapor N° 07 y 12**

Los generadores y otros tipos de equipos de plantas de vapor están sujetos a una variedad de fallas que envuelven uno o más mecanismos severos. Los principales tipos de fallas que se analizaron en este trabajo son las causadas por sobrecalentamiento y corrosión. Las causas pueden generalmente clasificarse como defectos de mantenimiento, defectos de fabricación, operaciones indebidas y un inadecuado tratamiento del agua. La mayoría de las fallas en generadores de vapor ocurren en componentes presurizados, que son las tuberías y recipientes a presión que constituyen una buena porción del sistema de generación de vapor.

### **4.3.1 Fallas por Sobrecalentamiento**

Dentro de estas fallas tenemos a las causadas por una exposición de larga duración, provocada por la pérdida de resistencia en el acero a alta temperatura y la de corta duración provocadas por ejemplo, por la falta de agua en el sistema.

Las fallas que resultan del sobrecalentamiento de larga duración se presentan en tubos internos del hogar. Los tubos que quedan sujetos al sobrecalentamiento muchas veces son los que experimentan una entrada de calor excesiva del lado del hogar o se encuentran cerca u opuestos a los quemadores. Este tipo de fallas suelen ocurrir en áreas relativamente amplias y comprenden muchos tubos. Por lo general, muchos tubos se rompen, se abomban o deforman por el sobrecalentamiento de larga duración que es una condición en la que la temperatura del metal sobrepasa los límites de diseño durante días, semanas, meses o más tiempo. Este tipo de sobrecalentamiento es la causa más común de fallas que cualquier otro mecanismo. Debido a que el acero pierde mucha resistencia mecánica a temperaturas elevadas, las probabilidades de una rotura o deformación causada por la presión interna normal aumentan a medida que se eleva la temperatura. El sobrecalentamiento de larga duración depende de la temperatura, el tiempo que se mantenga esa temperatura y la metalurgia del tubo.

#### **4.3.1.1 Oxidación Térmica**

Un signo de sobrecalentamiento de larga duración puede ser una capa gruesa, frágil y oscura de óxido sobre la superficie externa de los tubos. Si la temperatura del metal sobrepasa cierto valor para cada aleación, la oxidación térmica se hará excesiva. A menudo, la capa de óxido formado térmicamente provoca fisuras y grietas longitudinales. El adelgazamiento de la pared del tubo puede ser resultado de la oxidación térmica cíclica y el desprendimiento de costras. Este proceso puede continuar hasta que toda la pared se convierta en óxido, con lo que se crea un agujero.

#### **4.3.1.2 Sobrecalentamiento de Corta Duración**

Ocurre cuando la temperatura del tubo se eleva por encima de los límites de diseño durante un breve periodo. Dependiendo de la temperatura, la falla puede ocurrir en un tiempo muy corto. La falla suele ser causada por un trastorno en la operación de la caldera. Las condiciones que conducen a un sobrecalentamiento de corta duración son el taponamiento parcial o total del tubo y el flujo insuficiente de agua, debido a condiciones alteradas o deficiencias en el sistema de alimentación de agua, o ambas cosas. El sobrecalentamiento de corta duración con frecuencia tiene poco que ver con la química del agua, los esfuerzos deben concentrarse en los procedimientos de operación y el diseño del sistema.

Los signos de sobrecalentamiento de corta duración es la expansión uniforme del tubo, leve empolladura y en algunos casos rotura violenta ya que debido a temperaturas elevadas, la resistencia mecánica del metal se reduce en forma marcada.

#### **4.3.2 Fallas por Corrosión**

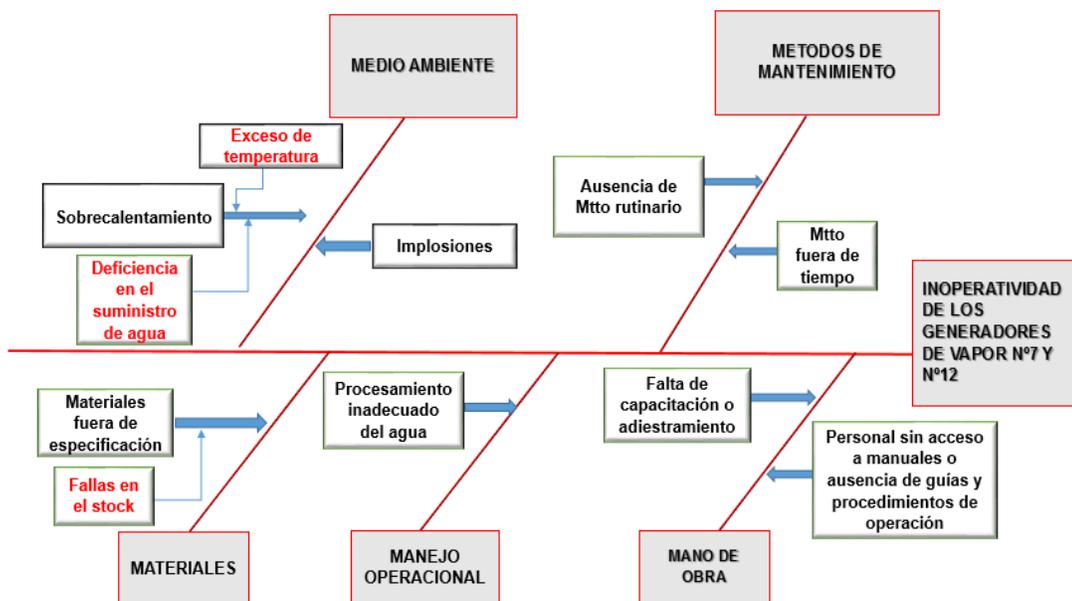
A excepción de muchos combustibles gaseosos, la combustión de combustibles fósiles produce sólidos, líquidos y componentes gaseosos que pueden provocar corrosión en los componentes estructurales y las superficies de transferencia de calor. Adicionalmente, los depósitos sólidos y residuos líquidos en los pasajes de los gases pueden alterar las características de transferencia de calor del sistema, con un potencial efecto severo en la eficiencia del sistema y en la temperatura de las paredes de los tubos.

Normalmente producto de la combustión en el hogar se produce la formación de una ceniza “agresiva”. Se presenta la corrosión por esta ceniza de combustible cuando, sobre el tubo, se forma escoria fundida que contiene compuestos de vanadio.

Se cree que la corrosión ocurre por la oxidación catalítica del metal por el pentóxido de vanadio. La rápida oxidación resultante del metal reduce el espesor del tubo, lo cual, a su vez, reduce el área que soporta la carga. Llega un momento en que la influencia combinada del nivel presión de los esfuerzos y las altas temperaturas del metal con la corrosión conduce a una falla por rotura.

### 4.3.3 Diagrama de Ishikawa

Para este objetivo se elaboró un diagrama de Ishikawa con el cual se logró organizar y analizar las principales causas y sub-causas que ocasionaron las fallas y llevaron a un estado de deficiencia e inoperatividad a los generadores de vapor N° 07 y 12. En la figura 4.10 se muestra el diagrama.



**Figura 4.10 Diagrama de Ishikawa**

Fuente: El autor (2018)

#### 4.3.3.1 Análisis del Diagrama Ishikawa

Una vez que se determinaron las causas y sub-causas de la inoperatividad de los generadores se presentó un respectivo análisis de estas y se establecieron las actividades y/o recomendaciones necesarias a tomar para la reducción o eliminación de las fallas y tales efectos. A continuación se presenta los respectivos análisis:

✓ Medio Ambiente

Cuando las partes de un generador de vapor son expuestas a altas temperaturas en condiciones inusuales o fuera de los parámetros de operación, se presentan daños y/o fallas en los componentes de sus secciones de diferentes formas. Normalmente en las secciones del generador es debido a un sobrecalentamiento. Esto puede suceder porque el suministro de agua al generador no es continuo ni estable. Es decir, interrupciones o desniveles en el suministro de agua al generador pueden causar un sobrecalentamiento en los diferentes tubos de las secciones del equipo. Si existe alguna obstrucción en algún conducto de agua o por alguna razón no ingresa el caudal suficiente al generador mientras que se produce la combustión dentro de la sección de radiación para calentar directamente a los tubos por los cuales debe fluir el agua, traerá como consecuencia que dichos tubos sufran un fuerte desgaste o deformación por sobrecalentamiento lo cual puede disminuir las características mecánicas de estos tubos como su resistencia, provocando hasta su ruptura o desprendimiento, así como también la deformación interna de esta sección y todo esto debido a que no circula el agua dentro de ellos mientras reciben el calor directo de la llama.

Otra causa del deterioro interno de las secciones del generador puede ser a causa de una implosión en el hogar y esto ocurre generalmente cuando el flujo de agua de entrada para producir vapor no ingresa al equipo, ocasionando un

sobrecalentamiento excesivo que logra deformar o dañar considerablemente el material refractario.

- Para evitar un posible sobrecalentamiento en las secciones del generador y sus efectos se recomienda tomar las siguientes acciones:
  - El operador debe regular la llama de combustión de manera que el calor ejercido en la zona de radiación u hogar no supere los límites operacionales 750 °F y los gases producto de esta combustión no superen los 450 °F en la zona convectiva.
  - El operador debe supervisar el suministro de agua en los tanques de almacenamiento ya que estos deben contener siempre agua a toda su capacidad para la distribución necesaria o requerida de este fluido al generador mientras este lo requiera.
  - Se deben cambiar los filtros primarios y secundarios de la planta de tratamiento de manera que estos no estén sobresaturados y puedan filtrar el agua de manera estable para que el fluido no contenga sólidos al momento de suministrarlo al generador y así evitar obstrucciones en la circulación de agua al generador.
  - El operador debe inspeccionar antes de iniciar cualquier proceso de generación de vapor todas las fuentes de agua, bombas de alimentación, conexiones y válvulas para el suministro de agua al generador.

Para iniciar el proceso de inyección de vapor es importante verificar la bomba quintuplex, la bomba centrífuga de la planta de tratamiento de agua y las bombas de los respectivos tanques de almacenamiento de agua para determinar si están aptas para funcionar sin ninguna posible eventualidad o algún posible paro mientras inducen agua hacia el generador.

Adicionalmente si se necesita verificar todas las conexiones y tuberías a nivel general se debe realizar antes de empezar el proceso de generación de vapor una prueba hidrostática al generador de vapor. Esta es una prueba aplicada a los equipos sometidos a presión; es una prueba de hermeticidad y resistencia. Tiene por objeto detectar fugas o la magnitud de un posible defecto y comprobar la resistencia mecánica de la caldera.

La prueba consiste en presurizar al equipo sin estar en funcionamiento y desenergizado, en la cual se induce agua a presión al generador al menos 10% arriba de la presión de calibración mediante sus respectivas bombas y se debe inspeccionar cada tubería que supe agua o sección por donde deba fluir el agua y determinar si existe alguna fuga o interrupciones que afecten el suministro y fluidez del agua ingresada al generador y puedan afectar al proceso.

#### ✓ Materiales

Los materiales para la fabricación que utilizan los generadores de vapor ya sean para tubos que se encuentran en sus secciones, al igual que tuberías, correas, empacaduras térmicas deben cumplir con las condiciones mínimas regidas por las normas ANSI/ASME b31 para las operaciones y las condiciones de trabajo (presiones y temperaturas superiores a las 1300 Psi Y 580°F respectivamente) ya que todos estos materiales están sometidos a altas temperaturas y sus características deben cumplir con los requerimientos de las normas y del fabricante para poder operar bajo condiciones establecidas para estos equipos. Ya que de utilizar un material fuera de los estándares o especificaciones; por ejemplo ensamblar un tubo en la zona de radiación que no cumpla con los requerimientos de la norma y/o fabricante puede que no tenga la suficiente resistencia a las temperaturas ejercidas en esta sección y por lo cual quizá se deteriore o se desgaste relativamente rápido o solo dure un pequeño

lapso de tiempo antes de que pueda romperse, retrasar o intervenir de manera negativa en el proceso.

- En caso de que el generador sea adquirido por la empresa o se le haya practicado mantenimiento mayor, por reparación o sustitución de piezas o componentes porque así lo requería, se debe antes de poner en funcionamiento al generador hacer lo siguiente:
  - El custodio antes de poner en marcha al generador por primera vez luego de una reparación, reconstrucción o mantenimiento nivel V y/o luego de adquirirlo por vez primera, deberá hacer una inspección y verificar el diseño, el estado y el tipo de material utilizado en la fabricación y construcción de las partes que componen el cuerpo del generador y respectivos sistemas de tuberías las cuales deben cumplir con las normas y especificaciones para condiciones de trabajo a altas temperaturas de acuerdo a su uso.
  - Las tuberías y sus accesorios deberán estar construidas con materiales capaces de soportar largas cargas mecánicas, térmicas y químicas a que estén expuestas durante sus servicios y deberán cumplir con los requisitos establecidos en la Norma Venezolana COVENIN 7: 4-015 o 7:4-016 (tuberías de acero sin costura para servicios a altas temperaturas).
  - El custodio deberá cerciorarse que las tuberías sean específicamente de acero aleado con cromo molibdeno y estén reguladas por los códigos aplicables los cuales son ASME/ANSI B31.1 POWER PIPING y ASME/ANSI B31.3 CHEMICAL PLANT AND PETROLEUM REFINERY PIPING. El uso de los materiales específicos garantizara que no exista ningún tipo de ruptura, deformación o daños en los materiales bajo las condiciones de operación segura a los cuales se someten los generadores y durante el tiempo de vida útil establecido de estos materiales.

- Manejo operacional

Una de las principales causantes de fallas en los materiales se debe al procesamiento inadecuado del agua. El agua obtenida de pozos es denominada agua dura y no debe utilizarse jamás directamente en un generador de vapor. Esta es una de las especificaciones estrictamente establecidas por los fabricantes y manuales de operación de generadores de vapor.

El agua para los generadores debe ser tratada químicamente mediante procesos de descarbonatación o ablandamiento, o desmineralización total, adicionalmente, según la presión manejada por el generador, es necesario controlar los sólidos suspendidos, sólidos disueltos, dureza, alcalinidad, sílice, material orgánico, gases disueltos (CO<sub>2</sub> y O<sub>2</sub>), de no llevarse a cabo este tipo de tratamiento, el generador sufrirá problemas de incrustaciones, sedimentación, desgaste por material particulado, y hasta disminución del diámetro interno del material. En este caso los tubos por donde circule el agua no tratada.

- Para evitar desgates excesivos en los materiales por procesamiento inadecuado de agua se recomienda las siguientes acciones:
  - El operador del generador debe procesar siempre el agua proveniente de los tanques de almacenamiento (agua dura) mediante los filtros de la planta de tratamiento en presencia de una resina de intercambio de iones sintéticos (Zeolita) para llevarla a un estado de 0.5 PPM de dureza (escala mínima de dureza del agua y ausencia de sales de calcio y de magnesio).
  - El operador debe colocar en los filtros de la planta de tratamiento una resina sintética cargada con una gran cantidad de iones de sodio (Na<sup>+</sup>) para que

efectuó un intercambio iónico de los iones de  $\text{Na}^+$  por  $\text{Ca}^{++}$  o  $\text{Mg}^{++}$  iones presentes en el agua dura. Es decir la resina absorbe la dureza del calcio más la dureza del magnesio que son los principales responsables de que el agua contenga niveles de dureza.

Es importante resaltar que la resina libera sus iones  $\text{Na}^+$  y absorbe iones de  $\text{Ca}^{++}$  y  $\text{Mg}^{++}$  y con el tiempo se llega a un punto donde la reacción química entre la resina, el calcio (y/o de magnesio), y el sodio se encuentra en equilibrio. La resina entonces se dice que está agotada. Este estado de “agotamiento” de la resina puede ser reversible, en este caso para aprovechar el máximo el intercambio iónico se le añade a la resina en uso, una gran cantidad de cloruro de sodio ( $\text{NaCl}$ ). A esto se le llama regeneración de la resina la cual puede entonces ser utilizada para eliminar la dureza de nuevo. Cabe destacar que la vida esperada de las resinas se puede acortar si el suministro de agua que está siendo tratado contiene cantidades excesivas de contaminantes tales como el hierro, plancton, turbidez y las sustancias orgánicas.

También se presenta el caso de desgaste, ruptura o deterioro de la superficie del material por efectos de la corrosión causada por la acción erosiva o reacciones químicas entre el material y el ambiente circundante. Tanto el tipo de metal como las condiciones ambientales, particularmente los gases y demás fluidos que están en contacto con el material, determinan la forma y velocidad de deterioro.

La corrosión en el generador es causada usualmente por los gases producto de la combustión que generan un hollín (ceniza agresiva) que se produce en exceso cuando el gas utilizado en el generador no ha sido depurado completamente o procesado a través de depuradores. Normalmente se presenta en las tuberías de la sección de convección con frecuencia y la parte interior de los tubos de la sección de radiación.

- Para evitar el desgaste de los materiales del generador por efectos de la Corrosión se recomienda lo siguiente:
  - Utilizar tuberías y materiales fabricados con aleaciones ferrosas de mayor resistencia a la corrosión con concentraciones de cromo y níquel en su composición.
  - Uso de recubrimientos orgánicos o inorgánicos para el control de corrosión como películas de cinc, cromo, cobre, níquel y las pinturas de alta resistencia química para evitar la corrosión.
  - Uso de inhibidores de corrosión o sustancias químicas a base de aceite para proteger las superficies metálicas y aleadas del generador frente al ataque de agentes agresivos.
  - Cambios del medio de exposición o protección contra los agentes corrosivos del medio ambiente como la lluvia y humedad.
  - Mano de obra

Ciertas fallas en un generador de vapor están íntimamente relacionadas con el personal que opera el equipo. Normalmente un equipo generador de vapor cuenta con una vida útil aproximada de 50.000 horas de funcionamiento si se cumplen con todos los parámetros de operación segura y se le practica las actividades de mantenimiento sugeridas por el fabricante y manuales de mantenimiento para garantizar este tiempo establecido. Pero esta vida útil del equipo también dependerá mucho del conocimiento y capacidad que tenga el equipo de trabajo para operar y controlar a estos equipos.

Estas dos variables están íntimamente relacionadas entre sí, ya que un personal con falta de capacitación o sin experiencia puede ocasionar que se generen fallas en el generador de vapor o provocar un gran daño al equipo. El operador debe controlar y conocer todos los equipos y elementos que interactúan en el proceso.

Existen fallas que se ocasionan por la ejecución de algún procedimiento de forma inadecuada por parte de los operadores o por falta de supervisión en el proceso. Por ejemplo una vez terminado el ciclo de inyección de vapor al yacimiento, el operador debe apagar el generador de vapor y sus demás equipos exceptuando la bomba quintuplex. Una vez que el operador apague los demás equipos debe mantener encendida esta bomba y regular un caudal de agua para suministrarlo al generador apagado. Esto se debe hacer porque el equipo se encuentra en estado caliente, es decir, una vez que se finaliza el proceso de inyección; todas las secciones del generador permanecen a altas temperaturas, lo cual es lógico por la transferencia de calor que existe en ellas. Y por ende si se apaga el generador sin suministrarle agua, todas las conexiones y tuberías sufrirán fatigas térmicas o sobrecalentamientos hasta el generador adquiera una temperatura menor. En este caso se deja enfriar el generador de vapor, gracias a la inducción de agua que posteriormente de haber pasado por el interior del equipo terminara siendo expulsada hacia el exterior y no en el yacimiento protegiéndolo de este fluido; gracias a una línea de descarga o de venteo para el agua, la cual está conectada al generador y envía el agua hacia el exterior y es específicamente utilizada para estos casos y así evitar daños a estos equipos y al yacimiento. Instrucciones o procedimientos como el anterior mencionado son obligatorios de enseñar e impartir a los operadores que trabajan con estos generadores ya que la mayoría de las veces los generadores se van deteriorando y presentan diversas fallas debido a las malas prácticas de las actividades que llevan a cabo el personal de operaciones de igual forma la falta de supervisión de los procesos de estos equipos. El buen funcionamiento de estos generadores está íntimamente relacionados con la capacidad y conocimiento para operar estos equipos.

- Para reducir el error humano y que se generen daños en los generadores de vapor a causa de incapacidad, negligencia o falta de experiencia por parte de los operadores se recomienda lo siguiente:
  - En el caso de ejecutar trabajos con los generadores de vapor lo debe hacer una persona debidamente certificada y autorizada para la ejecución de los trabajos, cumpliendo con las normas, procedimientos y prácticas seguras establecidas. Este puede ser personal propio de PDVSA, contratado o de empresas contratistas.
  - En caso de ser un personal nuevo o sin experiencia en el área de operaciones se debe programar una jornada de capacitación o adiestramiento al nuevo personal o enviarlos a cursos de inducción para que estos se familiaricen y tengan los conocimientos necesarios para poder operar con los equipos.
  - La gerencia debe suministrar a cada operador un manual de mantenimiento y un manual de procedimientos de trabajos para operar y poner en servicio los generadores de vapor para que estos tengan información confiable y segura para la operación, mantenimiento y disponibilidad de la instalación, área, unidad y/o equipos de trabajo.
  - Métodos de mantenimiento

Algunas fallas en los equipos o componentes del generador como las bombas, quemadores, válvulas, filtros, tuberías, tanques y superficies amplias como la estructura interna del generador se deben también a la falta de actividades de mantenimiento como la falta de lubricación y limpieza respectivamente ya sea por la ausencia de un programa de mantenimiento o la baja disponibilidad de recursos para ejecutar los mantenimientos por diversos factores. La ejecución de estas actividades

de mantenimiento permite mantener en buenas condiciones y evitan un desgaste excesivo del generador en forma general.

Se puede obtener una mayor protección y reducir la oxidación y la corrosión; como por ejemplo en la carcasa externa del generador y en las tuberías de la zona de convección y radiación utilizando grasas lubricantes lo cual puede evitar el desgaste excesivo y posteriormente el deterioro o daños en estas secciones del generador. En igual forma realizar inspecciones a todos los equipos y secciones del generador es indispensable para diagnosticar y evaluar el estado de estos y definir las acciones de mantenimiento que se les practicasen.

Desarrollar un programa de mantenimiento permite que la caldera funcione con un mínimo de paradas en producción, minimiza costos de operación y permite un seguro funcionamiento. Por lo tanto para evitar el deterioro de la integridad física y mecánica del generador es indispensable adoptar y programar procedimientos de inspección y actividades de mantenimientos rutinarios a estos generadores según las instrucciones y sugerencias del manual del fabricante y de la norma Covenin 2218-84 para el servicio e inspección de generadores de vapor.

Se recomienda adoptar procedimientos de inspección y mantenimiento, diarios, mensuales y anuales. La forma y tiempo de estos procedimientos son dictados por factores operacionales del lugar como también la política de los propietarios en relación al mantenimiento del generador. Es por ello que se recomiendan las siguientes actividades a corto, media y largo plazo:

- Mantenimiento Diario

Incluye:

- Limpieza de los filtros y tanques de la planta de tratamiento de agua.

- Mantenimiento mensual

Incluye:

- Limpieza de la boquilla del quemador
- Mantenimiento a todo el sistema de agua: filtros, tanques, válvulas, bombas, etc.
- Engrasar motores
- Verificar estado de la cámara de combustión y/o refractario (zona interna o zona de radiación del generador) por deterioro y agrietamiento.
- Limpieza química de tubos y codos de la zona de convección y radiación (en su superficie externa).
- Purga de gases concentrados en la zona de radiación (Hogar).

- Mantenimiento semestral

Se incluye el programa mensual, adicionando:

- Extraer o desmontar los tubos de la zona de radiación y la sección convectiva para realizar una limpieza interna de sus tubos, removiendo incrustaciones y sedimentos.
- Verificar si hay indicios de corrosión, picadura, incrustación o disminución del material en el interior de las tuberías desmontadas.
- Limpieza total de la cámara de combustión o zona de radiación.

- Mantenimiento Anual

Aunque el Generador de vapor está diseñado para una operación continua, se recomienda que la unidad se inspeccione en toda su integridad mecánica y se le practique mantenimiento anualmente abarcando los programas mensual y semestral. Esta inspección debe estar enfocada hacia el registro de las condiciones mecánicas de la unidad y comparar estas con la información de base del primer año de funcionamiento. En este periodo de inspección anual, cualquier desviación de las condiciones de base deben ser analizadas para determinar la causa y debe ser corregido donde sea necesario. Esta inspección anual debería, como parte del ámbito general, tener en cuenta elementos como tuberías, espesor de pared, eficiencia para producir vapor, y la condición de todos los componentes y partes del generador, etc. Es importante que los datos e informes desarrollados durante las inspecciones realizadas se almacenen en un archivo de registro permanente para cada uno de los Generadores de Vapor.

#### **4.4 Generación de un Conjunto de Acciones que Permitan la Operatividad Óptima de los Generadores de Vapor N° 07 y 12**

##### **4.4.1 Acciones Para Reestablecer las Condiciones Óptimas de los Generadores de Vapor**

Con los resultados obtenidos a partir del logro de los objetivos anteriormente expuestos y específicamente de acuerdo a los resultados y análisis del objetivo uno (1), se propondrán un conjunto de acciones que puedan incidir positivamente en el funcionamiento de los generadores, de vapor N° 07 y 12 y permitan reestablecerlos a condiciones óptimas para su operación con el fin de aprovechar al máximo el rendimiento de estos.

Para definir las acciones que permitan la operatividad optima de ambos generadores se debe tomar en cuenta que los generadores de vapor N° 07 y 12 ya

están próximos a cumplir con las 50.000 horas de operación (tiempo establecido de vida útil) y que además presentan niveles de deterioro considerables en sus secciones que obligan la ejecución de un mantenimiento nivel V y por consiguiente deben sustituirse todas las secciones y componentes respectivos, ya que por su condición actual no cumplen con las condiciones mínimas regidas por las normas ANSI/ASME b31 para las operaciones y las condiciones de trabajo en presiones y temperaturas superiores a las 1300 Psi y 580°F respectivamente para efectos de funcionamiento. Las condiciones en las que se encuentran las secciones de los generadores imposibilitan su funcionamiento de manera inmediata. Finalmente se puede solventar esta situación a través de la generación de un conjunto de acciones que permitan restaurar sus secciones y componentes y en efecto lograr que estos equipos tengan un estado óptimo para operar y así incrementar el número de equipos disponibles en la empresa. A continuación se presentan las acciones para restaurar las secciones de los generadores:

**Tabla 4.12 Acciones Para Restaurar las Secciones de los Generadores**



MANTENIMIENTO NIVEL V.	GERENCIA DE PLANTAS DE VAPOR	
ACCIONES		DESCRIPCION
<b>ZONA RADIANTE</b>		
Retirar tubos de zona radiante		Incluye retiro de tuberías, soportes y conexiones.
Armar tubos de la zona radiante		Incluye corte, biselado y soldadura.
Instalar tuberías en la zona radiante		Instalación de tubería lisa sin costura A-106 grado B unidas con codos de radio corto 180° de acero SA-160.
Hacer radiografías a la zona radiante		Radiografía industrial a las uniones o soldadura de la tubería con los codos de la zona radiante
Suministrar y reemplazar el material refractario.		Incluye el suministro de la fibra de cerámica E=5'' en toda la zona interna del hogar.
<b>ZONA DE CONVECCION</b>		<b>DESCRIPCION</b>
Desmontar la sección completa		Se extrae completamente la sección convectiva del generador incluyendo su junta de ventilación.
Retirar los tubos de la zona		Incluye retiro total de la tubería de esta zona (serpentin)

convectiva	
Sustituir la estructura externa de la sección	Incluye el suministro de láminas, tornillería, anclajes de acero inoxidable.
Instalar nuevo serpentín	Instalación de tubería aleteada SA-106 grado B de 3'' de calibre de espesor
Hacer Radiografías de las uniones	Radiografía industrial a la soldadura de tubos y accesorios de la zona convectiva
Subir la chimenea en parrillera y acoplar al generador	Incluye izamiento y montaje de la sección completa a la parrillera del generador y acoplamiento al cuerpo de radiación.
Acoplar junta de chimenea	Instalación y aseguramiento de la junta de ventilación de gases de la chimenea

**Tabla 4.12 Acciones Para Restaurar las Secciones de los Generadores (Continuación)**



<b>MANTENIMIENTO NIVEL V.</b>	<b>GERENCIA DE PLANTAS DE VAPOR</b>
<b>INTERCAMBIADOR DE CALOR</b>	<b>DESCRIPCION</b>
Suministro e instalación de tubería de precalentamiento	Incluye corte, biselado y soldadura.
Instalar nueva tubería doble	Instalación de tubería en la parte superior del generador y hacer sus respectivas conexiones con la zona de convección.
<b>EQUIPOS AUXILIARES Y ACCESORIOS</b>	<b>DESCRIPCION</b>
Fabricar escaleras de acceso	Incluye suministro del material necesario y fabricación de los peldaños, pasamanos y protecciones.
Suministro e instalación de cauchos	Incluye reparación de los sistemas de rodamientos, instalación de cauchos y rines
Reparación o fabricación de chasis, guardafangos y peldaños	Incluye limpieza y reacondicionamiento de estas áreas
Servicio y mantenimiento de la bomba quintuplex	Incluye lubricación, limpieza, ajustes y e instalación del bay-pass
Servicio y mantenimiento al quemador	Incluye limpieza de boquillas y ajuste de brida
Suministro e instalación de gasoductos	Incluye la instalación de todas las líneas de gas necesarias para suministrar el gas combustible al generador.
Suministro e instalación de Líneas de agua y vapor	Incluye el suministro de todas las líneas de suministro de agua y líneas de inyección de vapor que se interconectan con el generador y el cabezal del pozo inyector.

Reacondicionar pintura del generador.	Se deberá aplicar pintura de esmalte Acrílico Siliconado. Además incluye corrección de imperfecciones, limpieza química, y aplicación de pintura industrial incluyendo tuberías, codos, y demás conexiones, dejándola libre de toda suciedad, escamación, herrumbre, corrosión, y otras materias extrañas cumpliendo los parámetros establecidos por la norma PDVSA O-201 “SELECCIÓN Y ESPECIFICACIONES DE APLICACIÓN DE PINTURAS INDUSTRIALES”.
---------------------------------------	--

**Fuente:** El autor (2018)

**Tabla 4.12 Acciones Para Restaurar las Secciones de los Generadores (Continuación)**



MANTENIMIENTO NIVEL V.	GERENCIA DE PLANTAS DE VAPOR	
PRUEBA HIDROSTATICA	DESCRIPCION	
	Una vez que se han llevado a cabo todas las acciones de reparación, sustitución y reacondicionamiento se deberá probar hidrostáticamente todas las tuberías instaladas y/o modificadas a cada generador de vapor antes de poner en servicio al generador.	

**Fuente:** El autor (2018)

Estas acciones cubren las especificaciones mínimas para que la empresa lleve a cabo la ejecución del “Mantenimiento nivel V a los generadores de vapor N° 7 y 12 adscritos a la gerencia de plantas de vapor del Distrito San Tome” y pueda llevar a un estado operativo a estos generadores.

Las acciones comprenden lo siguiente: suministro e instalación o mantenimiento e instalación de todos los componentes y equipos necesarios para restaurar las secciones de los generadores. Incluyendo de forma amplia el suministro de materiales, equipos, construcción, soldadura, ensamblaje, transporte, instalación y prueba hidrostática.

## **4.4.2 Condiciones Generales**

### **4.4.2.1 Ubicación**

Las acciones definidas para ambos generadores, serán ejecutadas en el patio de generadores ubicado en Bare 4 (campo operacional del Distrito San Tome), incluyendo los trabajos de fabricación, ensamblaje, instalación, pruebas de pre-arranque e hidrostática y posteriormente la puesta en marcha del equipo en las instalaciones de un pozo seleccionado por el representante de la gerencia, en función del estado del generador y de los requerimientos del campo.

### **4.4.2.2 Responsables**

Para la correcta ejecución de las acciones para colocar operativos a los generadores, La empresa deberá suministrar el siguiente personal para la ejecución de las acciones anteriormente definidas:

Un (1) Ingeniero (Mecánico, Instrumentación, Electrónico o Electricista) mínimo cuatro (4) años de experiencia en trabajos similares, un (01) Ingeniero Planificador mínimo tres (3) años de experiencia, un Programador de Controladores programables (P.L.C.) y equipos Interfaz Hombre Maquina (H.M.I) con experiencia mínima de cuatro (4) años en programación de estos equipos, un (01) Coordinador de Calidad mínimo tres (3) años de experiencia, un (01) Coordinador de Seguridad con un mínimo de experiencia de cuatro(4) años en trabajos iguales y/o similares, un (01) Inspector de Seguridad por frente de trabajo con un mínimo de dos(2) años de experiencia en trabajos similares, un (01) Inspector de Ambiente por frente de trabajo con un mínimo de un (1) año de experiencia en trabajos similares y un Paramédico por frente de trabajo.

Dicho personal deberá rendir cuentas y reunirse al menos dos veces por semana con el gerente de plantas de vapor de PDVSA y deberán ser notificadas mediante informes diarios, las actividades realizadas a los equipos.

El horario de trabajo de los responsables será de lunes a viernes de 7:00 AM a 11:30 AM y de 12:00 PM a 3:00 PM. También deberá suministrar un vigilante en el sitio de los trabajos para la custodia del material entregado por PDVSA Petróleo S.A. hasta la finalización de la obra incluyendo el recobro y devolución de material sobrante y será responsable por cualquier material extraviado una vez entregado y contabilizado.

La vigilancia deberá incluir las horas no laborables (de 3 p.m. a 7 a.m., sábados, domingos y feriados, cuando aplique).

#### **4.4.2.3 Recursos**

La gerencia de procura de materiales de la empresa suministrará todos los materiales y equipos indicados en la tabla de acciones para reestablecer las condiciones óptimas definidas en las acciones anteriormente expuestas. Suministrando los materiales con las especificaciones descritas para los trabajos asociados a las acciones para la debida sustitución, reemplazo y reacondicionamiento de las secciones del generador para garantizar el correcto funcionamiento y operatividad de los generadores N° 07 y 12.

Así como la instrumentación y herramientas para soldadura, izamiento, construcción y maquinaria de transporte. Todos los cambios que la gerencia de procura considere necesarios para la correcta ejecución de los trabajos, deben ser revisados, verificados y aprobados por el principal representante de la gerencia de

plantas de vapor así como, el alcance de cada actividad u acción que la conforma: dimensiones, tamaños, modelos, equipos, especificaciones, entre otras.

Cualquier desviación de lo indicado en las especificaciones o el suministro de los equipos o componentes, con respecto a lo especificado en las acciones, deberá contar con la previa aprobación por escrito del representante de la gerencia, quien juzgará lo adecuado del cambio, alternativas, calidad y método de uso.

La gerencia de procura de PDVSA específicamente suministrará toda la tubería y los codos de la zona de radiación y convección necesarios de acuerdo con la evaluación realizada para su reemplazo. Así como todos implementos para la reparación y construcción de los equipos y accesorios. Los materiales y/o repuestos suministrados por esta gerencia, deben ser retirados de los almacenes de PDVSA y deberán ser enviados a donde lo indique el representante de la gerencia de plantas de vapor, en este caso a Bare 4.

## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **5.1 Conclusiones**

Los resultados obtenidos en este trabajo de investigación permiten concluir lo siguiente:

- Los generadores de vapor son los activos más importantes de la empresa y constituyen el factor principal para la producción de crudo pesado y extrapesado a nivel nacional, ya que representan la máxima tecnología disponible y empleada por la principal empresa del país del sector de hidrocarburos para estimular y acrecentar la producción de la gran cantidad de pozos productores de crudo pesado que se encuentran en el subsuelo venezolano y que solo pueden ser explotados gracias a la inyección de vapor saturado que generan estos equipos.
  
- Los generadores de vapor N° 07 y 12 presentan un avanzado nivel de corrosión, lo que incide en varios tubos de la zona de radiación y la zona de convección no estén en óptimas condiciones para funcionar. Además sus daños se agudizaron producto de la inactividad y exposición a la intemperie por ende sus condiciones actuales no permiten estimular pozos productores de petróleo lo que acarrea grandes pérdidas económicas a la empresa debido que se ha visto afectado el factor recobro actual del petróleo, se han retrasado los proyectos de recuperación térmica de hidrocarburos en los cuales se necesitan a ambos generadores, y ha disminuido la rentabilidad operativa de los pozos donde solían operar estos equipos.

- Las condiciones actuales de los generadores de vapor N° 07 Y 12 obligan a la ejecución de un mantenimiento nivel V debido al gran deterioro que presentan en sus secciones. Debido a el estado actual de ambos equipos, resulta necesario sustituir y reacondicionar la mayoría de piezas y componentes que integran y/o constituyen la integridad física de los generadores y tomando en cuenta que ambos equipos estas próximos a cumplir con las 50.000 horas (tiempo de vida útil) resulta conveniente para la empresa realizar un mantenimiento mayor para garantizar la operatividad optima de ambos equipos como lo indica el manual del fabricante de estos generadores.
- Uno de los factores que influye de manera determinante en la generación de fallas o averías en los generadores de vapor, es la operación de estos fuera de los parámetros operacionales en función de su temperatura máxima permisible, lo que normalmente trae como consecuencia sobrecalentamientos e implosiones en los componentes o secciones presurizadas del generador dañándolas considerablemente.
- La capacitación del personal en cuanto a los procedimientos para operar generadores es muy importante, ya que aun existiendo rutinas de mantenimiento los generadores pueden presentar fallas o daños catastróficos por falta de conocimientos, falta de capacitación y errores del personal que trabaja con estos equipos. Por lo cual capacitar al trabajador para que realice correctamente su trabajo es primordial para mantener en buenas condiciones a los equipos de la empresa.
- Someter a los generadores de vapor N° 07 y 12 a un mantenimiento nivel V garantizará la confiabilidad e integridad física y mecánica de ambos equipos, lo cual permitirá aumentar el número disponibles de activos en la empresa para

continuar con los proyectos de estimulación térmica , y en definitiva se podrá tener a estos dos equipos disponibles para inyectar vapor y aumentar la producción de crudo en los diferentes pozos que la empresa tiene previsto explotar y que están incluidos los compromisos volumétricos adquiridos por el Distrito San Tome.

## **5.2 Recomendaciones**

- La elaboración e implantación de un formato de inspección de generadores de vapor fácil y sencillo, que permita al supervisor tener toda la información a la mano acerca de los generadores de vapor, para así llevar un control de las fallas ocurridas y permitan establecer parámetros que indiquen cuando deben ser reemplazadas.
- Tener un registro de información actualizada y detallada de los generadores y de los equipos asociados existentes en la Gerencia para cuando se necesite realizar alguna actividad relacionada con el mantenimiento de estos equipos, sea más rápido conocer su ubicación exacta, sus seriales de identificación, conocer sus antecedentes y/o registros de falles anteriores y poder llevar a cabo de manera rápida y eficiente las reparaciones cuando lo necesiten.
- Se recomienda realizar los procedimientos de mantenimiento, diarios, mensuales y anuales para mantener y alargar la vida útil de estos equipos.
- Asegurar a los equipos fuera de servicio en un área en el cual se encuentren vigilados por autoridades competentes en función del resguardo y protección de los activos de la empresa.

- Llevar a cabo la ejecución de las acciones planteadas en el objetivo número cuatro (4) para reestablecer las condiciones óptimas de los generadores de vapor y una vez colocados en servicio, seguir las recomendaciones y acciones para evitar las fallas y averías mencionadas en el diagrama de Ishikawa.
- Utilizar el presente estudio como base para futuros proyectos a desarrollar en el área y extender este tipo de estudio integrado a otros activos a fin de aumentar la disponibilidad operativa de los diversos equipos que posee la empresa.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Arias, F. (2012). El proyecto de Investigación, Editorial Episteme. Caracas Venezuela.

Babcock, Wilcox. (1990). Generación y Recuperación de Calor. Editorial Reverté. Primera edición. Número de página 766. Madrid.

Castillo, (2013). Diseño de un plan de mantenimiento para los equipos motocompresores de la planta compresora de Gas 3 Bateria 6 PDVSA-San Tome. Presentado ante la Universidad de Oriente para optar al título de Ingeniero Industrial. Puerto La Cruz. Venezuela.

Corredo, L. (2014). Análisis de falla de las bombas quintuplex de un generador de vapor de la gerencia de plantas de vapor del Distrito San Tome. Trabajo de grado presentado ante la Universidad de Oriente para optar al título de Ingeniero Mecánico. Puerto La Cruz. Venezuela.

Duffua. (2002). Sistemas de Mantenimiento Planeación y Control, Editorial Limusa wiley. México.

Jiménez, A, (1994). Manual Gestión de Mantenimiento a la Medida. Editorial Piedra Santa: Primera Edición. El Salvador.

Kohan, A. (1996). Ingeniería de Yacimientos Petrolíferos. Editorial Omega S.A. Segunda Edición. Barcelona, Venezuela.

Lista, W. (2013). Formular un plan de mantenimiento preventivo para el sistema Generador de vapor del Hospital General de El Tigre. Trabajo de grado presentado ante la Universidad de Oriente para optar al título de Ingeniero Industrial. Puerto La Cruz, Venezuela.

Megyesy, Johan. (2000) Recipientes a Presión. Editorial Limusa. Segunda Edición. Número de página 548. México.

Méndez, C (2001). Metodología. Diseño y Desarrollo del Proceso de Investigación. Editorial Mc Graw Hill. Colombia.

Moreno, L, (2013) Propuesta del diseño conceptual y básico de una caldera de recuperación de calor para la generación en una planta termoeléctrica. Trabajo de grado presentado ante la Universidad de Oriente para optar al título de Ingeniero Industrial, Venezuela.

Norma Covenin. Generadores de vapor. Instalación, equipos y aparatos auxiliares 2217-84.

Norma Covenin. Generadores en servicio. Inspección 2218-84.

Norma Covenin Reparaciones y Alteraciones 2262-91.

Pineda, J. (2002). Guía de Mantenimiento para Equipos Industriales. Tomo I. Primera Edición. Caracas, Venezuela.

PDVSA (2013) PO-1CV-IAV. Manual #1 de Generadores de Vapor. Inyección continua y alterna de vapor PDVSA. Venezuela.

PDVSA (2013) N° BF-203-P. Manual de fundamentos y bases de calderas PDVSA. Venezuela.

PDVSA (2010) PO-IV-001. Manual de Mantenimiento de Generadores de Vapor PDVSA. Venezuela.

Ruiz, E. (2016). Mantenimiento Mayor (Nivel V) a Generador de Vapor Portátil N°4". Gerencia de Plantas de Vapor, PDVSA, Distrito San Tome. Trabajo de grado presentado ante la Universidad de Oriente para optar al título de Ingeniero Industrial. .

Sabino, C. (2006). Metodología de la Investigación. Editorial Panapo. Buenos Aires.

Shield, Carl. (1996). Calderas: Tipos, Características y sus funciones. Editorial Continental, Primera Edición. México.

Silvan, P. (2001). Inyección de Vapor y Gas en Yacimientos Petrolíferos. Maracaibo, Venezuela.

Tamayo y Tamayo, M. (1999). El proceso de la Investigación Científica. Editorial Limusa Noriega. México.

Villanueva, D. (1998). La Productividad en el Mantenimiento Industrial. Primera Edición. Editorial Continental. México.

## **ANEXOS**

## **METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO**

<b>TÍTULO</b>	<b>EVALUACIÓN INTEGRAL DE LOS GENERADORES DE VAPOR N° 07 Y 12 ADSCRITOS A LA GERENCIA DE PLANTAS DE VAPOR DEL DISTRITO SAN TOME, DIVISIÓN AYACUCHO DE LA FPO</b>
<b>SUBTÍTULO</b>	

### **AUTOR (ES):**

<b>APELLIDOS Y NOMBRES</b>	<b>CÓDIGO CULAC / E MAIL</b>
Castañeda C., Luis A.	<b>CVLAC:</b> V-26.313.224 <b>E MAIL:</b> luis-castaneda10@hotmail.com
	<b>CVLAC:</b> <b>E MAIL:</b>
	<b>CVLAC:</b> <b>E MAIL:</b>
	<b>CVLAC:</b> <b>E MAIL:</b>

### **PALABRAS O FRASES CLAVES:**

Vapor, Caldera, Crudo, Mantenimiento, Diagrama Causa Efecto.

## **METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO**

<b>ÁREA</b>	<b>SUBÁREA</b>
Ingeniería y Ciencias Aplicadas	Ingeniería Industrial

### **RESUMEN (ABSTRACT):**

Petróleos de Venezuela S.A es una empresa que ofrece servicios petroleros y como una de sus metas principales es mantener en óptimas condiciones a sus equipos destinados a contribuir con la explotación de hidrocarburos del subsuelo venezolano. Por ello se justifica la elaboración de este trabajo denominado “Evaluación integral a los generadores de vapor N° 07 y 12 adscritos a la gerencia de plantas de vapor del Distrito San Tome”. Para lograr el desarrollo de este trabajo se describió la situación actual de los generadores abarcando todos los aspectos importantes de su integridad física y de sus condiciones actuales para determinar si están aptos para realizar estimulaciones térmicas a pozos de crudo pesado, luego el establecimiento de su proceso de operación y sistemas para conocer cómo el funcionamiento de los generadores y sus equipos, consecuentemente se realizó el análisis de fallas con el cual se logró la explicar las fallas típicas de los generadores y la descripción de las causas que ocasionan las fallas en los generadores de vapor sometidos al estudio y finalmente se estableció un conjunto de acciones que permitirán restaurar y mantener en óptimas condiciones a los generadores de vapor y devolverles su operatividad

**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO**

**CONTRIBUIDORES:**

<b>APELLIDOS Y NOMBRES</b>	<b>ROL / CÓDIGO CVLAC / E_MAIL</b>				
	<b>ROL</b>	<b>CA</b>	<b>AS</b>	<b>TU</b>	<b>JU</b>
Ing. Ledezma B., Melchor J.			<b>X</b>		
	<b>CVLAC:</b>				
	<b>E_MAIL</b>				
	<b>E_MAIL</b>				
Ing. Ruiz L., Edgar J.		<b>CA</b>	<b>AS</b>	<b>TU</b>	<b>JU</b>
			<b>X</b>		
	<b>CVLAC:</b>				
	<b>E_MAIL</b>				
MSc. Bousquet S., Juan C.		<b>CA</b>	<b>AS</b>	<b>TU</b>	<b>JU</b>
					<b>X</b>
	<b>CVLAC:</b>				
	<b>E_MAIL</b>				
Ing. Figueroa R., Jerlin E.		<b>CA</b>	<b>AS</b>	<b>TU</b>	<b>JU</b>
					<b>X</b>
	<b>CVLAC:</b>				
	<b>E_MAIL</b>				
	<b>CVLAC:</b>				
	<b>E_MAIL</b>				
	<b>E_MAIL</b>				

**FECHA DE DISCUSIÓN Y APROBACIÓN:**

<b>2018</b>	<b>08</b>	<b>09</b>
<b>AÑO</b>	<b>MES</b>	<b>DÍA</b>

**LENGUAJE. SPA**

## **METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO**

### **ARCHIVO (S):**

<b>NOMBRE DE ARCHIVO</b>	<b>TIPO MIME</b>
TESIS. Evaluación integral de los generadores de vapor N° 07 Y 12 adscritos a la gerencia de plantas de vapor del distrito San Tome, división Ayacucho de la FPO. Docx	Application/msword

**CARACTERES EN LOS NOMBRES DE LOS ARCHIVOS:** A B C D E F G H I  
J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z. a b c d e f g h i j k l m n o p q r s t u v w x y  
z. 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9.

### **ALCANCE:**

**ESPACIAL:** Dpto. de Vapor PDVSA Producción / San Tomé (OPCIONAL)

**TEMPORAL:** Seis meses (OPCIONAL)

### **TÍTULO O GRADO ASOCIADO CON EL TRABAJO:**

Ingeniero Industrial

### **NIVEL ASOCIADO CON EL TRABAJO:**

Pregrado

### **ÁREA DE ESTUDIO:**

Departamento de Sistemas Industriales

### **INSTITUCIÓN:**

Universidad de Oriente / Extensión Región Centro Sur-Anaco

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO



UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
CONSEJO UNIVERSITARIO  
RECTORADO

CU N° 0975

Cumaná, 04 AGO 2009

Ciudadano  
**Prof. JESÚS MARTÍNEZ YÉPEZ**  
Vicerrector Académico  
Universidad de Oriente  
Su Despacho

Estimado Profesor Martínez:

Cumplo en notificarle que el Consejo Universitario, en Reunión Ordinaria celebrada en Centro de Convenciones de Cantaura, los días 28 y 29 de julio de 2009, conoció el punto de agenda **"SOLICITUD DE AUTORIZACIÓN PARA PUBLICAR TODA LA PRODUCCIÓN INTELECTUAL DE LA UNIVERSIDAD DE ORIENTE EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UDO, SEGÚN VRAC N° 696/2009"**.

Leído el oficio SIBI - 139/2009 de fecha 09-07-2009, suscrita por el Dr. Abul K. Bashirullah, Director de Bibliotecas, este Cuerpo Colegiado decidió, por unanimidad, autorizar la publicación de toda la producción intelectual de la Universidad de Oriente en el Repositorio en cuestión.

UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
SISTEMA DE BIBLIOTECA  
RECIBIDO POR *Ragley*  
FECHA 5/8/09 HORA 5:30

Comunicación que hago a usted a los fines consiguientes.

Cordialmente,

*Juan A. Bolaños Cuneo*  
JUAN A. BOLAÑOS CUNEO  
Secretario



C.C: Rectora, Vicerrectora Administrativa, Decanos de los Núcleos, Coordinador General de Administración, Director de Personal, Dirección de Finanzas, Dirección de Presupuesto, Contraloría Interna, Consultoría Jurídica, Director de Bibliotecas, Dirección de Publicaciones, Dirección de Computación, Coordinación de Telesinformática, Coordinación General de Postgrado.

JABC/YOC/manuja

Apertado Correos 094 / Teléfono: 4008042 - 4008044 / 8008045 Telefax: 4008043 / Cumaná - Venezuela

## **METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO**

### **DERECHOS**

De acuerdo al Artículo 41 del Reglamento de trabajos de grado (vigente a partir del II semestre 2009) según CU-034-209:

Los trabajos de grado son de exclusiva propiedad de la Universidad de Oriente, y sólo podrán ser utilizados a otros fines con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, quien deberá participarlo previamente al Consejo Universitario, para su autorización”.

**Castañeda C., Luis A.**

**AUTOR**

**AUTOR**

**AUTOR**

**Ing. Ledezma B., Melchor J.    MSc. Bousquet S., Juan C.    Ing. Figueroa R. Jerlin E.**

**TUTOR**

**JURADO**

**JURADO**

**Ing. Valderrama S., Rita**

**POR LA COMISIÓN DE TESIS**