



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICO MECÁNICA

**TEMA:**

**Análisis de fallas operativas en los principales equipos en el proceso  
de generación de una central termoeléctrica.**

**AUTOR:**

NAVARRETE CARPIO, IVÁN ANDRÉS

Trabajo de titulación previa la obtención del grado de  
**INGENIERO EN ELÉCTRICO MECÁNICA**

**TUTOR:**

HIDALGO AGUILAR, JAIME RAFAEL

Guayaquil, Ecuador

16 de Septiembre del 2016



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICO MECÁNICA

**CERTIFICACIÓN**

Certificamos que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por el Sr.  
**Navarrete Carpio, Iván Andrés** como requerimiento parcial para la  
obtención del título de **INGENIERO EN ELÉCTRICO MECÁNICA**.

TUTOR

---

HIDALGO AGUILAR, JAIME RAFAEL

DIRECTOR DE CARRERA

---

HERAS SÁNCHEZ, MIGUEL ARMANDO.

Guayaquil, a los 16 días del mes de Septiembre del año 2016



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICO MECÁNICA

**DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD**

Yo, **Navarrete Carpio, Iván Andrés**

**DECLARO QUE:**

El trabajo de titulación “**Análisis de fallas operativas en los principales equipos en el proceso de generación de una central termoeléctrica**” previa a la obtención del Título de **Ingeniero en Eléctrico Mecánica**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan al pie de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía. Consecuentemente este trabajo es de mi autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil, a los 16 días del mes de Septiembre del año 2016

EL AUTOR

---

NAVARRETE CARPIO, IVÁN ANDRÉS



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICO MECÁNICA

**AUTORIZACIÓN**

Yo, **Navarrete Carpio, Iván Andrés**

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la publicación, en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación: “**Análisis de fallas operativas en los principales equipos en el proceso de generación de una central termoeléctrica**”, cuyo contenido, ideas y criterios es de mi exclusiva responsabilidad y autoría.

Guayaquil, a los 16 días del mes de Septiembre del año 2016

EL AUTOR

---

NAVARRETE CARPIO, IVÁN ANDRÉS

# REPORTE URKUND

Orlando

DIRECTV Servicio (@DJ)

D21651144 - TRABAJO

https://secure.orkund.com/view/21343271-435581-281529#q1bKLvayjibQMdmXj9VRKs5Mz8tMy0xOzEFOVbiyODMwNDMwMDY3sbQwNjK1NDM3qwUA

Aplicaciones

Bookmarks

EURESCOM P615: Evc

Novel Enabling Techn

S Optical add / drop ar

Sistemas de Transmis

Laboratorio de Comu

MEDIDAS DE TENDE

Otros marcadores

## URKUND

Documento **TRABAJO DE TITULACION - Ivan Navarrete Carpio.pdf (D21651144)**

Presentado por orlandophilco\_7@hotmail.com

Presentado por orlando.philco.ucs.g@analysis.orkund.com

Recibido orlando.philco.ucs.g@analysis.orkund.com

Mensaje Trabajo de Titulacion Ivan Navarrete [Mostrar el mensaje completo](#)

2% de esta aprox. 28 páginas de documentos largos se componen de texto presente en 2 fuentes.

soporte. En su interior encontramos el núcleo del inductor, con forma de corona y ranuras longitudinales, donde se alojan los conductores del enrollamiento inductor. ?

Rotor.

98%

# 21 Activo

Archivo de registro Urkund: UNIVERSIDAD TECNICA DE BABAHOYO / TESIS JOSE SANCHE...

Parte móvil que gira dentro del estator. El rotor contiene el sistema inductor y los anillos de rozamiento, mediante los cuales se alimenta el sistema inductor. En función de la velocidad de la máquina hay dos formas constructivas: ? Rotor de polos salidos o rueda polar: Utilizado para turbinas hidráulicas o motores térmicos, para sistemas de baja velocidad. 36 ? Rotor de polos lisos: Utilizado para turbinas de vapor y gas, estos grupos son llamados turboalternadores. Pueden girar a 3000, 1500 o 1000 r.p.m. en función de los polos que tenga.

ENDESA, 2012) 37 CAPITULO 3: APORTES DEL TRABAJO DE TITULACION 3.1. Condiciones operativas de la planta de generación eléctrica Bloque 18 Palo Azul. El principio de operación básico de planta de generación eléctrica Bloque 18 PALO AZUL es el aprovechamiento del gas combustible existente en el CFP (Planta de facilidades de producción de crudo) evitando su quema en teas de alto impacto ambiental, con respaldo de sistemas de combustible líquido para operaciones de emergencia o mantenimiento. Resultante de esto, los modos de utilizar el combustible son: a. En la operación de la planta de generación de vapor, se dispone de dos turbogrupos con capacidad de 6 MW cada uno. El diseño del sistema de quemadores y del sistema de manejo de combustión en las calderas de los grupos turbo-generadores es el siguiente: - Estas

0 Advertencias.

Reiniciar

Exportar

Compartir

16:25

07/09/2016

## DEDICATORIA

A Dios por siempre guiar mi camino.

A mi madre que con sus consejos y apoyo me ayuda día a día a seguir  
adelante y guía cada paso en mi camino.

A mi padre, gracias por el sacrificio y por ser mi ejemplo a seguir.

A mis hermanos, por su ayuda incondicional para alcanzar mis metas.

EL AUTOR

NAVARRETE CARPIO, IVÁN ANDRÉS

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios en todo momento, por darme la inteligencia y sabiduría  
necesaria para cumplir con mis metas.

A mis padres y mis hermanos por el apoyo y la paciencia que me han  
brindado siempre.

A la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, Facultad Técnica para  
el Desarrollo, por su valiosa enseñanza y ayuda para obtener el título de  
Ingeniería.

A mi tutor Ing. Jaime Rafael Hidalgo A, por su paciencia y la gran ayuda  
brindada para culminar este trabajo de titulación.

**EL AUTOR**

**NAVARRETE CARPIO, IVÁN ANDRÉS**



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICO MECÁNICA

**TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN**

---

**HIDALGO AGUILAR, JAIME RAFAEL**

TUTOR

---

**HERAS SANCHEZ, MIGUEL ARMANDO**

DIRECTOR DE CARRERA

---

**MONTENEGRO TEJADA, RAUL**

COORDINADOR DEL ÁREA

## Índice General

<b>RESUMEN .....</b>	<b>XIII</b>
<b>CAPÍTULO 1: EL PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>15</b>
1.1. Introducción.....	15
1.2. Hecho científico o situación problemática.....	15
1.3. Definición o planteamiento del problema. ....	16
1.4. Justificación. ....	16
1.5. Objetivos del Problema de Investigación.....	16
1.5.1. Objetivo General.....	16
1.5.2. Objetivos Específicos. ....	16
1.6. Hipótesis. ....	17
1.7. Metodología de Investigación. ....	17
<b>CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>18</b>
2.1. Definición de una central termoeléctrica. ....	18
2.2. Ciclo de trabajo de una central termoeléctrica (Ciclo de Rankine ideal). ....	19
2.3. Equipos principales y auxiliares de una central termoeléctrica. .	20
2.4. ¿Qué es un generador de vapor? .....	20
2.4.1. Partes principales de un generador de vapor.....	21
2.4.1.1. Caldera. ....	22
2.4.1.2. Sobrecalentador. ....	24
2.4.1.3. Recalentador.....	24
2.4.1.4. Economizador.....	25
2.4.1.5. Precalentadores de aire. ....	25
2.5. ¿Qué es una turbina de vapor?.....	26
2.5.1. Partes de una turbina de vapor y equipos auxiliares.....	26
2.5.1.1. Partes principales de la turbina.....	27

2.5.1.2.	Equipos auxiliares de la turbina.....	28
2.6.	¿Qué es un generador eléctrico? .....	30
2.6.1.	Partes de un generador eléctrico.....	31
<b>CAPÍTULO 3: APORTES DEL TRABAJO DE TITULACIÓN .....</b>		<b>32</b>
3.1.	Condiciones operativas de la planta de generación eléctrica Bloque 18 Palo Azul. ....	32
3.2.	Descripción de los equipos principales del grupo de generación a vapor de la planta de generación eléctrica Bloque 18 Palo Azul. ....	33
3.3.	Análisis y descripción de fallas operativas en los equipos principales de una planta de generación de vapor. ....	38
3.3.1.	Fallas operativas en un generador de vapor. ....	39
3.3.1.1.	Rotura de tubos en las paredes de agua de un generador de vapor. ....	39
3.3.1.2.	Rotura de tubos en sobrecalentador del generador de vapor. ....	44
3.3.1.3.	Rotura de tubo en el economizador del generador de vapor. ....	48
3.3.1.4.	Falla del ventilador de tiro forzado. ....	52
3.3.1.5.	Falla en bombas de agua de alimentación al generador de vapor. ....	56
3.3.2.	Fallas operativas en una turbina de vapor.....	60
3.3.2.1.	Falla de la chumacera de empuje de una turbina a vapor. ....	60
3.3.2.2.	Falla de bomba de agua de condensado.....	65
3.3.2.3.	Falla de rotura de tubos en el condensador.....	71
3.3.3.	Falla operativa en un generador eléctrico.....	74
3.3.3.1.	Falla de motorización del generador eléctrico.....	75

<b>CAPÍTULO 4: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>80</b>
<b>4.1. Conclusiones.....</b>	<b>80</b>
<b>4.2. Recomendaciones.....</b>	<b>83</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS. ....</b>	<b>84</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

### Capítulo 2

Figura 2. 1: <i>Esquema de central termoeléctrica</i> .....	18
Figura 2. 2: <i>Ciclo de Rankine ideal</i> . ....	19
Figura 2. 3: <i>Descripción de un generador de vapor</i> . ....	21
Figura 2. 4: <i>Partes de la caldera</i> . ....	22
Figura 2. 5: <i>El sobrecalentado</i> . ....	24
Figura 2. 6: <i>Pre calentadores de Aire</i> . ....	25
Figura 2. 7: <i>Partes de una Turbina de Vapor</i> . ....	26
Figura 2. 8: <i>Partes de un Generador Eléctrico</i> .....	30

### Capítulo 3

Figura 3. 1: <i>Calderas Nebraska Boiler</i> . ....	34
Figura 3. 2: <i>Turbina Shin Nippon</i> . ....	34
Figura 3. 3: <i>Generador eléctrico Shinko</i> . ....	35
Figura 3. 4: <i>Condensador GEA</i> .....	35
Figura 3. 5: <i>Bombas de Agua de Alimentación de Calderas</i> .....	36
Figura 3. 6: <i>Bomba de Inyección de Químicos al Desaireador</i> . ....	36
Figura 3. 7: <i>Bombas de Agua de Circulación y Torres de Enfriamiento</i> .....	37
Figura 3. 8: <i>Enfriadores de Aceite y de Vapor de Sellos</i> .....	37
Figura 3. 9: <i>Plano de la PGEV Petroamazonas Bloque 18 Palo Azul</i> .....	38
Figura 3. 10: <i>Tubos de Agua de Caldera Nebraska Boiler</i> .....	39
Figura 3. 11: <i>Rotura de Tubo de Agua por esfuerzos mecánicos y erosión externa</i> .....	40
Figura 3. 12: <i>Rotura de Tubo en Sobrecalentador</i> .....	44
Figura 3. 13: <i>Rotura de Tubo del Economizador por Erosión Externa</i> .....	48
Figura 3. 14: <i>Falla del Ventilador de Tiro Forzado</i> . ....	52
Figura 3. 15: <i>Bombas de Agua de Alimentación de Calderas</i> .....	56
Figura 3. 16: <i>Disposición General de la Turbina Shin Nippon</i> . ....	60
Figura 3. 17: <i>Sección del cojinete de empuje y cojinete frontal</i> . ....	60
Figura 3. 18: <i>Bombas de agua de condensado</i> . ....	65
Figura 3. 19: <i>Rotura de Tubos en el Condensador</i> . ....	71
Figura 3. 20: <i>Motorización del Generador Eléctrico</i> . ....	75

## RESUMEN

En el presente trabajo de investigación se explica de forma minuciosa los diferentes tipos de fallas que pueden presentarse en los principales equipos de una central termoeléctrica debido a la mala ejecución de procedimientos y maniobras en la operación de los equipos al realizar el proceso de generación ya que estas fallas por mala operación pueden llegar a generar pérdidas económicas.

Se efectuó una visita a la central de generación termoeléctrica del Bloque 18 Palo Azul (El Coca-Ecuador), quienes están encargados de realizar el proceso de generación cuyo objetivo es entregar un flujo de energía eléctrica de forma continua para los diversos procesos que se realizan dentro del Bloque 18 Palo Azul (El Coca-Ecuador), en el recorrido a la central termoeléctrica logré evidenciar los problemas que causan las fallas en la mala operación de los equipos y las medidas que se deben de tomar cuando se presentan las fallas.

Para el desarrollo del tema y con la ayuda de personal especializado de la central termoeléctrica Bloque 18 Palo Azul (El Coca-Ecuador) logré identificar las fallas más comunes en los elementos que conforman la caldera, turbina y generador eléctrico para así realizar un análisis de las causas de las fallas, los disturbios producidos por las fallas, las medidas preventivas y las acciones que debemos tomar para no causar paros en los equipos y evitar pérdidas económicas.

**Palabras claves:** CALDERAS, TURBINAS, GENERADORES ELÉCTRICOS, FALLAS OPERATIVAS, PROCESOS DE GENERACIÓN, CAUSAS DE FALLAS.

## ABSTRACT

In the present research it is explained thoroughly the different types of failures that may occur in the main equipment of a power plant due to poor execution of procedures and maneuvers in the operation of equipment to perform the build process as these failures by bad trade can generate economic losses.

It was performed a visit to the thermoelectric generation plant Bloque 18 Palo Azul (El Coca-Ecuador), who are responsible for carrying out the generation process was carried out whose goal is to deliver a flow of electrical energy continuously for various processes performed within Block 18 Palo Azul (the Coca-Ecuador), on the way to the power plant I managed to highlight the problems that cause failures in the bad operation of equipment and measures should be taken when failures occur.

For the development of this issue and with the help of specialized staff of the power plant Bloque 18 Palo Azul (El Coca-Ecuador) I managed to identify the most common faults in the elements of the boiler, turbine and electric generator so an analysis of the causes of failures, disturbances caused by failures, preventive measures and actions we must take to not cause stop on computers and avoid economic losses.

**Keywords:** BOILERS, TURBINES, GENERATORS, OPERATIONAL FAILURES, GENERATION PROCESSES, CAUSES OF FAILURES.

# CAPÍTULO 1: EL PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

## 1.1. Introducción.

En este capítulo hablaré de los diferentes equipos principales de una central termoeléctrica, los procedimientos que cumplen cada uno de ellos en el proceso de generación y las fallas operativas que pueden suscitarse, enfocándonos en la realización de una correcta manera de proceder con las maniobras y acciones correctivas que se deben tomar en cuenta durante una falla para evitar que se interrumpa la generación de un flujo constante de energía por causa de una para en los equipos.

Debido a los problemas y costos que se originan por causa de fallas, en las centrales termoeléctricas, se debe de tomar en cuenta la necesidad de contar con procedimientos estándar que permitan tomar medidas preventivas y correctivas para la operación de los principales equipos que constituyen a la central termoeléctrica.

Es necesario contar con información y antecedentes sobre la posible ocurrencia de fallas en los principales equipos de las centrales termoeléctricas. Así se establecerá criterios generalizados sobre las acciones a tomar durante una falla ya sea esta en forma normal o de emergencia y lograr evitar paras en los principales equipos.

## 1.2. Hecho científico o situación problemática.

Los casos inusitados de paras dentro de una central de generación termoeléctrica debido a causa de fallas operativa en los principales equipos ya sean en maniobras normales o de emergencia.

**Lo que sucedió o está sucediendo:** Los casos inusitados de paras en los principales equipos por fallas operativas en una central termoeléctrica.

**¿Qué o quienes están involucrados?** Centrales de generación termoeléctricas en el Ecuador.

**¿Dónde y cuándo sucedió o está sucediendo?** En las diferentes centrales de generación termoeléctricas en el Ecuador durante el proceso de generación.

### **1.3. Definición o planteamiento del problema.**

¿Cómo afectan las fallas operativas que causan disturbios en los principales equipos de una central termoeléctrica, y cuáles son los procedimientos que se deben tomar durante una falla normal o de emergencia?

### **1.4. Justificación.**

Este trabajo investigativo es conveniente ya que se busca lograr interpretar varios puntos que ayude a establecer criterios generalizados y con esto tomar las medidas preventivas correctas al presentarse fallas operativas en los principales equipos de una central de generación termoeléctrica.

Teniendo en cuenta que el sector energético juega un papel fundamental en la economía del país debido a su vital incidencia en la producción de las industrias, y el mantener un flujo de energía constante sin paras durante el proceso de generación de energía es de mucha importancia para lograr evitar que estas fallas puedan llegar a causar apagones y pérdidas económicas.

### **1.5. Objetivos del Problema de Investigación.**

#### **1.5.1. Objetivo General.**

Analizar la causa de las fallas en los equipos principales de una central termoeléctrica debido a la mala maniobra de los equipos al desarrollar el proceso de generación, realizando un estudio de campo sobre las causas de las fallas, los disturbios producidos y las medidas preventivas que se deben tomar.

#### **1.5.2. Objetivos Específicos.**

- Describir las fallas operativas, sus causas y efectos, en el proceso de generación de la central termoeléctrica.

- Realizar estudios de campo sobre las causas de las fallas operativas durante el proceso de generación.
- Explicar los disturbios que se producen al momento de una falla operativa en los equipos principales.
- Presentar los resultados obtenidos de nuestro trabajo de investigación con la finalidad de tomar medidas preventivas.

### **1.6. Hipótesis.**

Con este trabajo de investigación se demostrará los efectos que causan los disturbios en el proceso de generación debido a fallas operativas, y dar a conocer las medidas preventivas y los procedimientos que se deben tomar durante la falla en los principales equipos de una central termoeléctrica.

### **1.7. Metodología de Investigación.**

El presente trabajo de titulación es de carácter:

Descriptivo, debido a que en este tema de investigación se tomará en cuenta todas las variables de campo.

Por lo tanto se evaluará las diferentes variables tanto dependientes como independientes, ya que es necesario que indagemos la causas de las fallas en los principales equipos para evitar paros en la central de generación termoeléctrica.

## CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

### 2.1. Definición de una central termoeléctrica.

Se denomina central termoeléctrica aquella central que produce energía eléctrica por medio de la combustión de fuel oil o gas en una caldera diseñada al efecto. Indistintamente del combustible fósil que se utilice (fuel-oil o gas), las funciones y procesos que realizan todas las centrales termoeléctricas es prácticamente el mismo. (CICA, 2010)

Las únicas diferencias se sitúan en el tratamiento previo que sufre el combustible antes de ser inyectado en la caldera y en el diseño de los quemadores de la misma, que varían según sea el tipo de combustible empleado. (CICA, 2010)

Una central termoeléctrica posee, dentro del propio recinto de la planta, sistemas de almacenamiento del combustible que utiliza (depósitos de fuel-oil) para asegurar que se dispone permanentemente de una adecuada cantidad de éste. (CICA, 2010)

Si es una central termoeléctrica de fuel-oil, éste es precalentado para que tenga mejor fluidez, siendo inyectado posteriormente en quemadores adecuados a este tipo de combustible. Si es una central termoeléctrica de gas los quemadores están así mismo concebidos especialmente para quemar dicho combustible. (CICA, 2010)

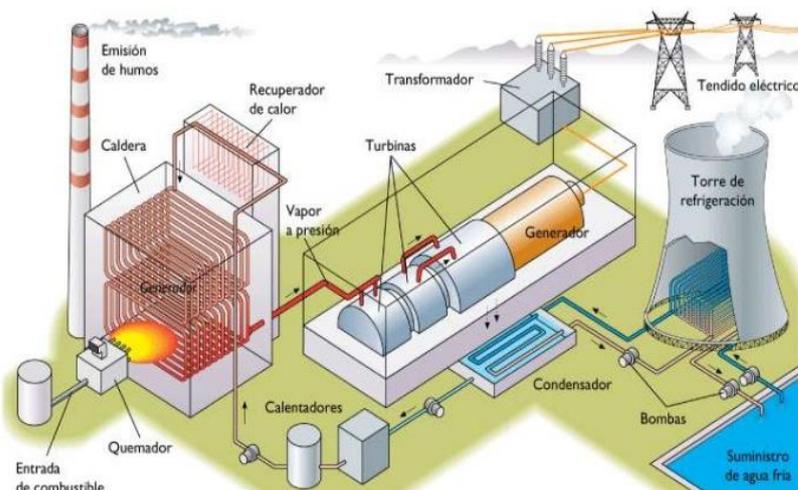


Figura 2. 1: *Esquema de central termoeléctrica.*  
Fuente: (Slideshare-ErickJimenez, 2011).

## 2.2. Ciclo de trabajo de una central termoeléctrica (Ciclo de Rankine ideal).

El ciclo de Rankine se considera el ciclo ideal para tomar de base para el funcionamiento de centrales térmicas que trabajan con turbinas de vapor.

En la figura 2.2 se explica el proceso de ciclo de Rankine ideal en el cual el vapor que sale de la caldera (estado 4'' - 1), es recalentado, a una presión relativamente alta, éste es conducido a través de una tubería hasta la turbina donde recibe el vapor y produce una expansión isentrópica, permitiendo de esta forma mover su rotor y así producir el trabajo necesario para mover el generador, el vapor sale de la turbina (estado 1 - 2), generalmente vapor húmedo a presión baja; pasa el condensador donde se transforma en líquido saturado (estado 2 - 3), en un proceso de extracción de calor que se realiza a presión constante; allí el agua es tomada por la bomba y con un trabajo de bombeo se aumenta la presión, en un proceso de compresión isentrópica hasta el estado líquido subenfriado (estado 3 - 4), donde se alcanza la presión de trabajo de la caldera; en esta se adiciona calor transformando el líquido en vapor recalentado a través de un proceso a presión constante, obteniéndose nuevamente el vapor necesario para alimentar la turbina (estado 4 - 1). (CICA, 2010)

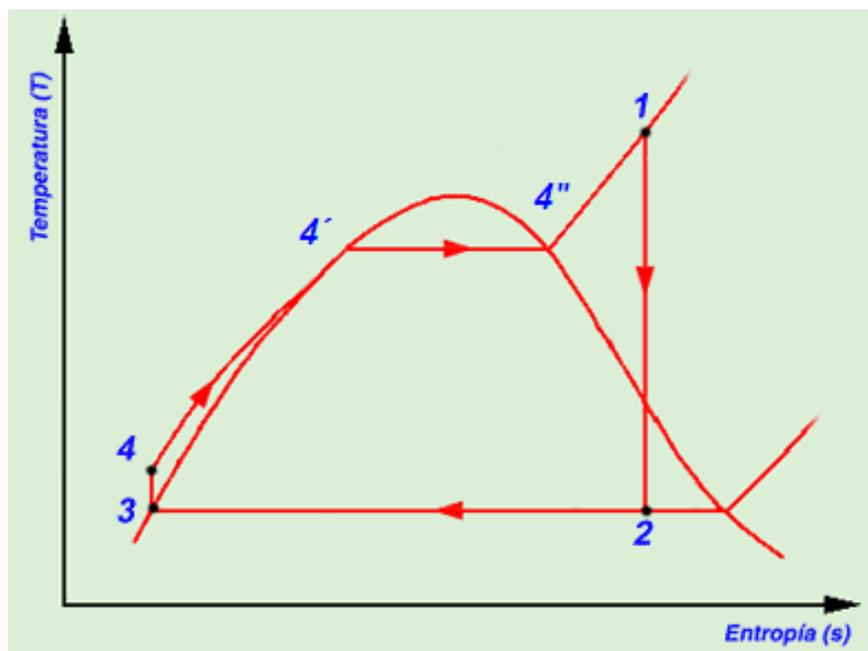


Figura 2. 2: *Ciclo de Rankine ideal.*  
Fuente: (CICA, 2010).

### **2.3. Equipos principales y auxiliares de una central termoeléctrica.**

Todos los equipos que se utilizan en el proceso de generación en una central termoeléctrica son importantes, pero dependiendo del grado de participación en la obtención del objetivo (producción de energía eléctrica), así como por su tamaño y costo, se pueden clasificar en equipos principales y equipos auxiliares.

Los equipos principales son aquellos que tienen mayor participación en el proceso de generación, son de mayor tamaño y costo, podemos clasificar a los siguientes equipos como principales:

- Generador de vapor.
- Turbina y condensador.
- Generador eléctrico.

Los equipos auxiliares de una central termoeléctrica se pueden clasificar de la siguiente manera:

- Bombas.
- Ventiladores.
- Extractores.
- Calentadores.
- Enfriadores.
- Compresores.
- Eyectores.
- Deaerador.
- Tanques, etc. (CFE, 2012)

### **2.4. ¿Qué es un generador de vapor?**

Podemos denominar a un generador de vapor como un conjunto de elementos integrados y dispuestos de tal manera que realizan la combustión y de esta forma absorbe de manera eficiente el calor de los productos con los cuales se realizó la combustión. Entre los principales objetivos de un generador de vapor están:

- Realizar liberación de energía en forma de calor mediante la combustión.
- Elaborar vapor con características de presión y temperatura determinada. (CFE, 2012)

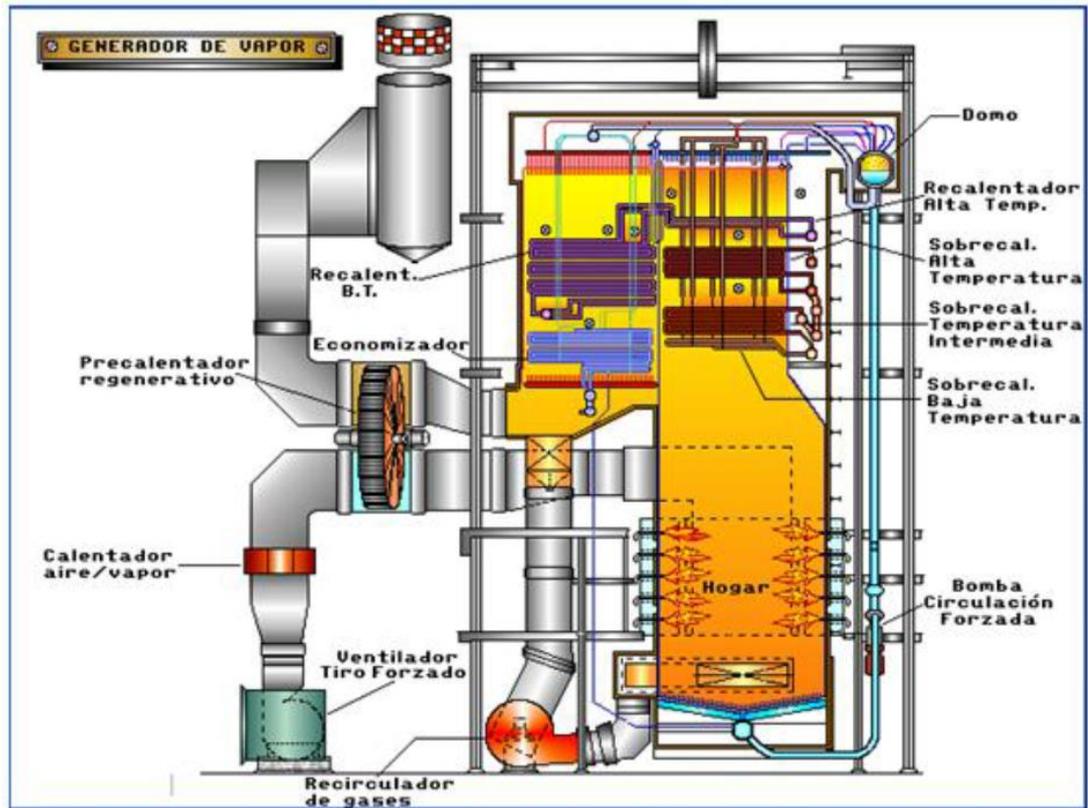


Figura 2. 2: Descripción de un generador de vapor.  
Fuente: (UCSG, 2014)

#### 2.4.1. Partes principales de un generador de vapor.

Las partes principales que podemos encontrar en un generador de vapor, cuya función de estos elementos es la de absorber calor son:

- Caldera
- Sobrecalentador
- Recalentador
- Economizador
- Los precalentadores de aire

(CFE, 2012)

### 2.4.1.1. Caldera.

La caldera se puede definir como una de las partes principales del generador de vapor, que forman parte del circuito de circulación de agua o de la mezcla de agua-vapor y están constituidas por tubos, cabezales y recipientes. Las calderas pueden clasificarse en dos tipos:

- Acuotubulares (El agua ingresa por el interior de los tubos y los gases pasan por la parte exterior).
- Pirotubulares (Los gases pasan por el interior de los tubos y el agua se mantiene en la parte exterior).

En la figura 2.4 podemos observar las partes que conforman una caldera de vapor. (CFE, 2012)

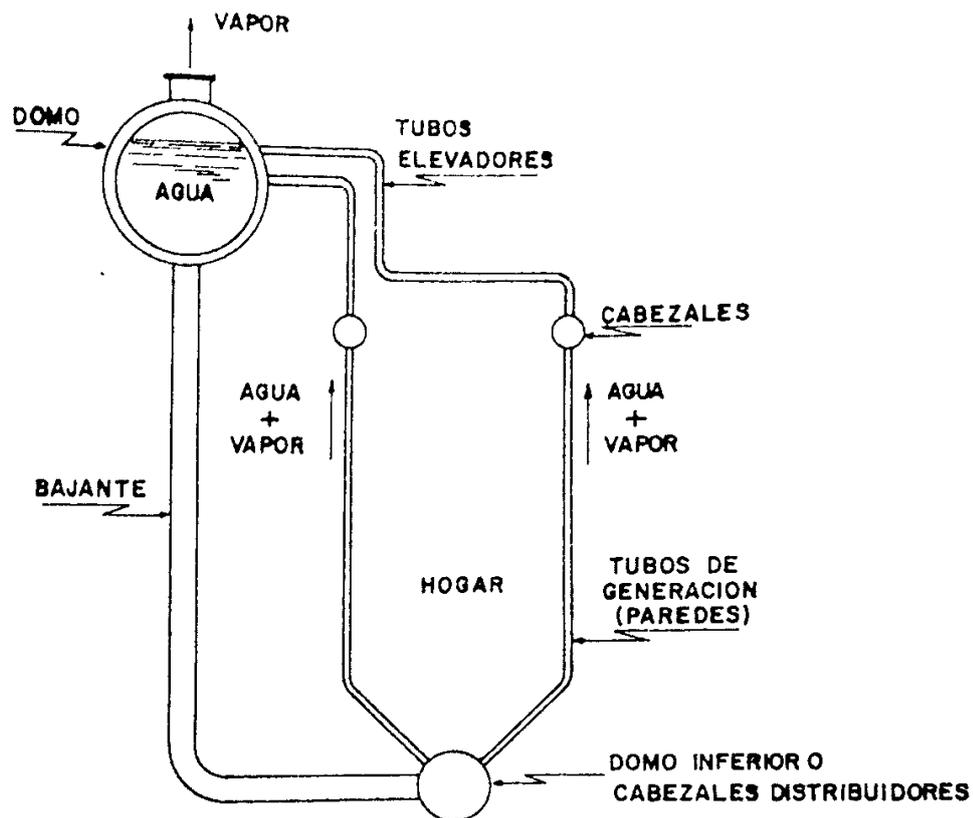


Figura 2. 4: Partes de la caldera.

Fuente: (CFE, Introducción a Centrales Termoeléctricas, 2012)

Los *Tubos de Generación* son aquellos en donde se realiza el calentamiento del agua, convirtiéndose en vapor una parte del agua que

pasan por ellos. Estos tubos se agrupan de forma alineada uno junto al otro, logrando así formar las paredes del hogar.

Los *Tubos Elevadores* son aquellos que sirven de unión entre el domo y los tubos de generación, por ellos pasan una mezcla de agua y vapor que es producido por los tubos de generación y cuyo destino es el domo. Estos tubos elevadores no se encuentran expuestos al calor. (CFE, 2012)

El *Domo* es un recipiente que contiene una determinada cantidad de agua a un nivel específico del recipiente, con una estructura cilíndrica horizontal. Donde se realiza la separación del agua y el vapor producido, el vapor sale del domo por la parte superior hacia otros elementos del generador de vapor. El domo también es un elemento de la caldera que no está expuesto al calor.

Las *Bajantes* son tuberías de mayor diámetro que pasan por la parte exterior del hogar y por lo cual no están expuestas al calor. Por ellas pasan agua que circulan hacia abajo en dirección al domo inferior, partiendo desde el domo y por esta razón tiene el nombre de bajantes. (CFE, 2012)

El *Domo Inferior* tiene una estructura cilíndrica horizontal como el domo con la única diferencia que se ubica en la parte inferior y es de menor diámetro. Sirve como cabezal distribuidor y de unión entre las bajantes y los tubos de generación. El domo inferior no está expuesto al calor aunque de él partan todos los tubos de generación. Si la caldera no cuenta con un domo inferior va a tener varios cabezales distribuidores. (CFE, 2012)

Los *Cabezales* son depósitos que van a servir para descargas o distribuidores comunes de un grupo de tubos. Los cabezales no están expuestos al calor. Y también sirven como uniones de los tubos elevadores con los bajantes y con los tubos de generación. (CFE, 2012)

El *Hogar* se define como el espacio donde se va a realizar la combustión, está constituido por paredes que se forman por la agrupación de los tubos de generación en forma alineada. Su meta principal es crear un

espacio cerrado donde se produzca una combustión completa y así lograr un funcionamiento excelente de la caldera. (UCSG, 2014)

#### 2.4.1.2. Sobrecalentador.

El sobrecalentador tiene como función la de recibir el vapor saturado que sale del domo, lo sobrecalienta para entregar este vapor a la turbina a la temperatura que es requerida. El vapor sobrecalentado que se dirige a la turbina va realizando un trabajo y al mismo tiempo va perdiendo su energía calorífica.

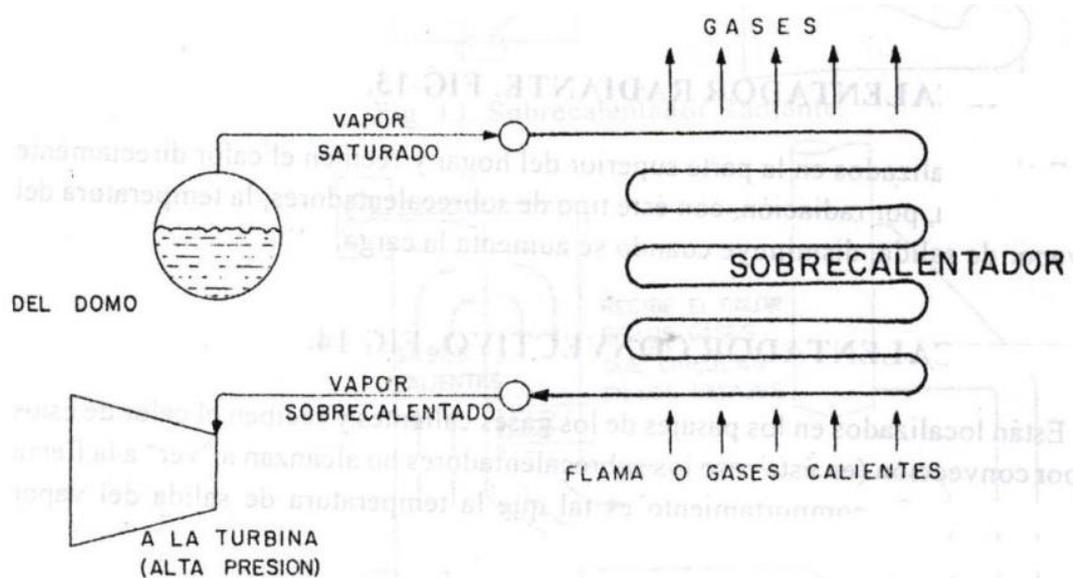


Figura 2. 5: El sobrecalentado.  
Fuente: (UCSG, 2014)

Con el uso del vapor sobrecalentado, se puede lograr obtener un mayor trabajo y con esto más pasos en la turbina antes de que se alcance a formar humedad en el vapor. La utilización del vapor sobrecalentado permitirá lograr una mayor eficiencia de la central. (CFE, 2012)

#### 2.4.1.3. Recalentador.

Sus características y comportamiento son semejantes a la de los sobrecalentadores, con la única diferencia de que le recalentador trabaja a menor presión.

Trabaja de la siguiente manera, el vapor que ya realizó su trabajo en la turbina, sale con menor presión y temperatura, este vapor puede ser recalentado para ser aprovechado y seguir trabajando en las siguientes etapas restantes o en alguna otra turbina. (CFE, 2012)

#### 2.4.1.4. Economizador.

Su función es la de calentar el agua de alimentación antes de que entre a la caldera. Este banco de tubos se encuentra ubicado en el paso posterior de la caldera, recibe los gases menos calientes que vienen del sobrecalentador y, por convección, calientan el agua que viene de las bombas de alimentación antes de que esta entre al domo de vapor de la caldera. Los gases de combustión que salen del economizador, salen al exterior a través de la chimenea de la caldera. (Petroamazonas, 2016)

#### 2.4.1.5. Precalentadores de aire.

Los precalentadores de aire son equipos cuya función es el recibir aire frío del exterior y calentarlo para enviarlo al hogar. Ya que el aire caliente se usa para la combustión y mejora las condiciones de esta, logrando así que el generador de vapor tenga mayor eficiencia.

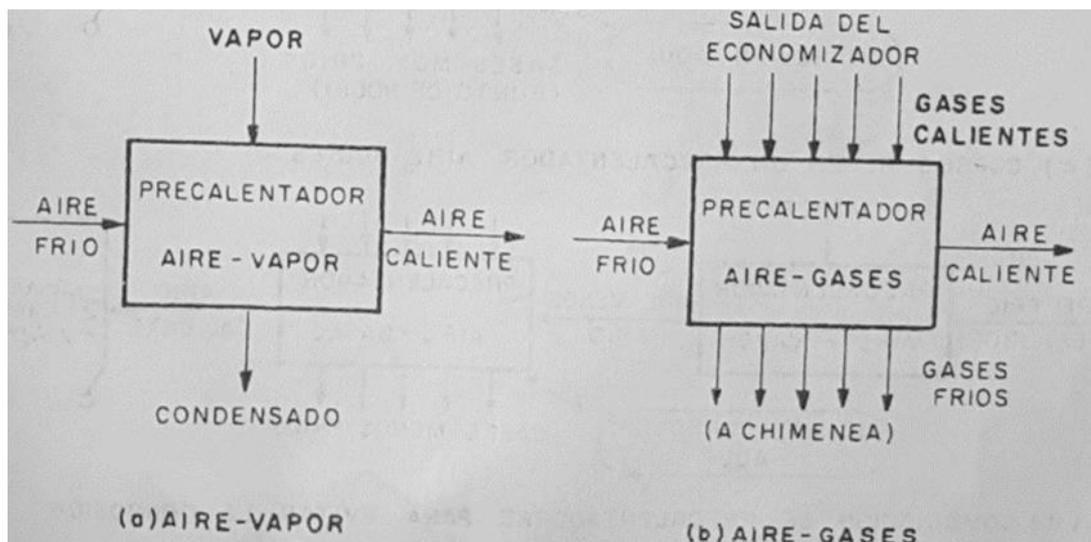


Figura 2. 6: *Precalentadores de Aire.*

Fuente: (CFE, Introducción a Centrales Termoeléctricas, 2012)

## 2.5. ¿Qué es una turbina de vapor?

Podemos definir a una turbina de vapor como una máquina termodinámica, ya que convierte la energía calorífica del vapor en trabajo mecánico. El trabajo mecánico que realiza la turbina es usado para dar movimiento al eje del generador eléctrico y así transformar el trabajo mecánico de la turbina en energía eléctrica. Existen tres tipos de turbinas las cuales son de acción, reacción y combinadas.

En las turbinas de acción la expansión del vapor se efectúa en canales fijos, y permanece constante en los canales móviles. Mientras que la turbina de reacción la expansión de vapor se efectúa en los canales fijos y móviles. (CFE, 2012)

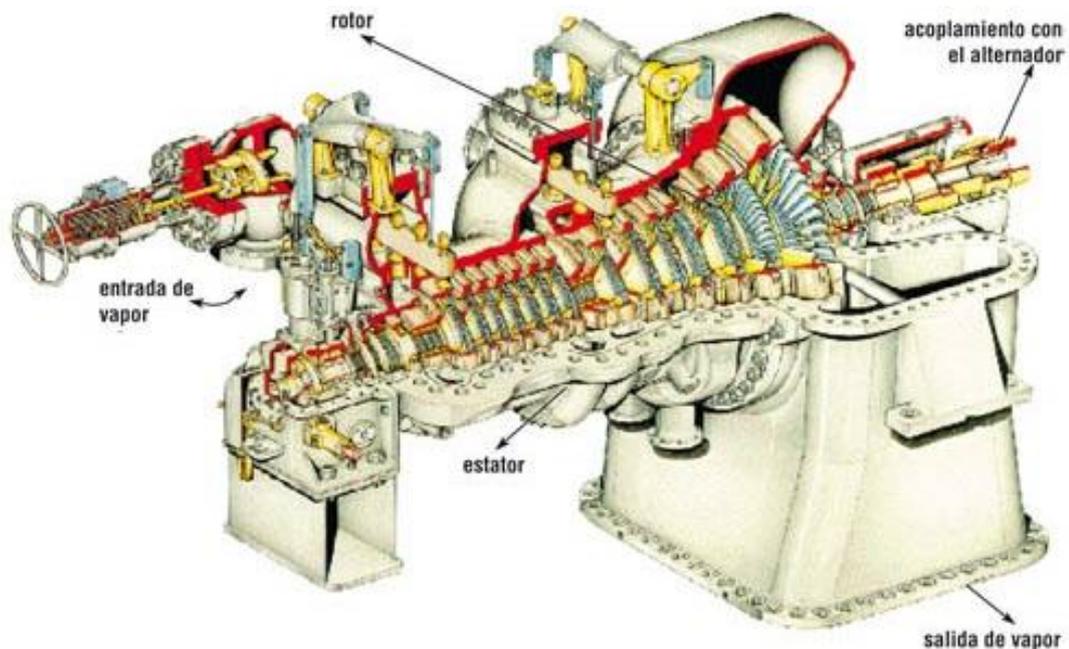


Figura 2. 7: *Partes de una Turbina de Vapor.*  
Fuente: (RENOVETEC, 2013)

### 2.5.1. Partes de una turbina de vapor y equipos auxiliares.

Las partes que conforman una turbina de vapor son:

- Rotor.
- Carcasa.
- Álabes.

Además, cuenta con equipos auxiliares, como son:

- Cojinetes.
- Válvulas de regulación.
- Sistema de lubricación.
- Virador.
- Sistema de sellado del vapor.
- Compensador. (RENOVETEC, 2013)

#### **2.5.1.1. Partes principales de la turbina.**

##### **➤ El rotor:**

El rotor de una turbina es de acero fundido con cierto porcentaje de níquel o cromo, con esto se logra darle tenacidad al rotor, y es de diámetro aproximadamente uniforme. Por lo general las ruedas donde se acoplan los álabes se ajustan en caliente al rotor. También se pueden fabricar haciendo de una sola pieza forjada al rotor, realizando el cálculo de las ranuras necesarias para colocar los álabes.

##### **➤ La carcasa:**

La carcasa está formada por dos partes: la parte inferior, unida a la bancada y la parte superior, desmontable para el acceso al rotor. Estas dos partes tienen sus coronas fijas de toberas o álabes fijos. Las carcasas se fabrican de hierro, acero o de aleaciones, dependiendo de la temperatura de trabajo, obviamente las partes de la carcasa de la parte de alta presión son de materiales más resistentes que en la parte del escape. La humedad máxima para las últimas etapas de la turbina debe ser de un 10%.

##### **➤ Álabes:**

Los álabes fijos y móviles van a ir colocados en ranuras alrededor del rotor y carcasa. Los álabes solo se pueden asegurar en grupos, fijándolos donde van a ubicarse en una correcta posición por medio de un pequeño seguro, con una forma de perno, o con remaches. Los extremos de los álabes

van a estar fijos a un anillo donde se remachan, y los más largos por lo general van a ir amarrados entre sí con alambres o barras en uno o dos lugares intermedios, para lograr darles rigidez. (RENOVETEC, 2013)

#### **2.5.1.2. Equipos auxiliares de la turbina.**

##### **➤ Válvula de regulación:**

Esta válvula sirve para regular el caudal de vapor que entrada a la turbina, por esta razón es uno de los elementos más importantes de la turbina de vapor. Se acciona hidráulicamente con la ayuda de un grupo de presión de aceite (aceite de control) o neumáticamente. Forma parte de dos lazos de control: el lazo que controla la carga o potencia de la turbina y el lazo que controla la velocidad de la turbina. (RENOVETEC, 2013)

##### **➤ Cojinetes de apoyo o radiales:**

En ellos gira el rotor. Por lo general son de un material blando, y recubiertos de una capa lubricante para disminuir la fricción. Estos elementos son de desgaste, se deben sustituir periódicamente cuando se encuentren en un estado deficiente.

##### **➤ Cojinete de empuje o axial:**

Los cojinetes de empuje impiden que se desplace el rotor en la dirección del eje, logrando evitar el empuje axial que sufre el eje por efecto del vapor que va a repercutir en el reductor, causando serios daños.

Se encuentra en contacto con un disco que forma parte solidaria con el eje. Está construido de un material blando y recubierto por una capa de material que disminuya la fricción entre el disco y el cojinete, el cojinete de empuje deberá estar lubricado convenientemente.

El estado de los cojinetes de empuje, además de tomar medidas de la temperatura y de las vibraciones del eje, se medirá constantemente el desplazamiento axial. Si se pasa de los límites permitidos, el sistema de

control accionará la parada de la turbina o no entrará en marcha. (RENOVETEC, 2013)

➤ **Sistema de lubricación:**

Este sistema va a proporcionar el fluido lubricante, por lo general es aceite. Para poder asegurar la circulación del aceite durante todo el proceso el sistema suele estar equipado con tres bombas:

- Bomba mecánica principal: Esta acoplada al eje de la turbina, de tal manera que siempre que esté girando la turbina estará girando la bomba, asegurándose así la presión de bombeo. En los arranques esta bomba no va a lograr dar presión suficiente, por lo que es necesario que el equipo tenga al menos una bomba auxiliar.
- Bomba auxiliar: es utilizada solo para los arranques, y sirve para asegurar la correcta presión de aceite hasta que la bomba mecánica principal pueda realizar este servicio. Se conecta antes del arranque de la turbina y se va a desconectar a unas determinadas revoluciones durante el arranque, cambiándose automáticamente de la bomba auxiliar a la bomba principal. También se puede conectar durante las paradas de la turbina.
- Bomba de emergencia: Si se produce un problema de suministro eléctrico y la planta se queda sin energía eléctrica para funcionar, durante la parada habría un momento en que la turbina se quedaría sin lubricación, ya que la bomba auxiliar no podría entrar en servicio por la falta de energía. Para evitar este problema, las turbinas suelen ir equipadas con una bomba de emergencia que funciona con corriente continua proveniente de un sistema de baterías.

➤ **Sistema de sellado de vapor:**

Este sistema trabaja con sellos de carbón, que se ajustan al eje, o con laberintos de vapor. Con este sellado se va a lograr evitar que disminuya la eficiencia térmica de la turbina, a causa de algún tipo fuga que genere un escape de vapor a la atmósfera.

➤ **Virador:**

Este sistema consiste en un motor hidráulico o eléctrico que hace girar de manera lenta la turbina cuando esta no se encuentra en funcionamiento. Debido a este sistema se va a lograr evitar que el rotor se curve, a causa de su propio peso o por expansión térmica, en las paradas. La velocidad con que trabaja este sistema es muy baja, pero muy esencial para asegurar la correcta rectitud del rotor.

➤ **Compensador:**

Este elemento sirve como unión entre la salida de la turbina y el resto de la instalación. Debido a los grandes cambios de temperatura que sufre la carcasa de la turbina, el compensador es imprescindible para controlar y amortiguar el efecto de dilataciones y contracciones. (RENOVETEC, 2013)

## 2.6. ¿Qué es un generador eléctrico?

Un generador eléctrico es una máquina rotativa que transforma energía mecánica en energía eléctrica. Esto se consigue debido a la interacción de los dos elementos principales que lo componen: la parte móvil llamada rotor, y la parte estática que se denomina estator.

Cuando el generador eléctrico está funcionando, una de las partes principales genera un flujo magnético (actúa como inductor) para que el otro la transforme en electricidad (actúa como inducido). (ENDESA, 2012)

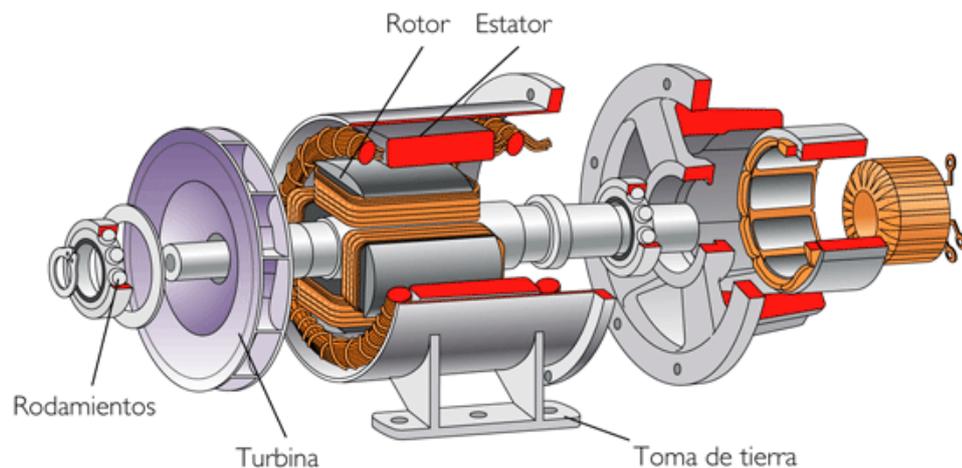


Figura 2. 8: *Partes de un Generador Eléctrico.*  
Fuente: (RENOVETEC, 2013)

### 2.6.1. Partes de un generador eléctrico.

#### ➤ Estator.

Es la parte fija exterior de la máquina. El estator está formado por una carcasa metálica que sirve de soporte. En su interior encontramos el núcleo del inducido, con forma de corona y ranuras longitudinales, donde se alojan los conductores del enrollamiento inducido.

#### ➤ Rotor.

Es la parte móvil que gira dentro del estator. El rotor contiene el sistema inductor y los anillos de rozamiento, mediante los cuales se alimenta el sistema inductor. En función de la velocidad de la máquina hay dos formas constructivas:

- **Rotor de polos salidos o rueda polar:** Utilizado para turbinas hidráulicas o motores térmicos, para sistemas de baja velocidad.
- **Rotor de polos lisos:** Utilizado para turbinas de vapor y gas, estos grupos son llamados turboalternadores. Pueden girar a 3000, 1500 o 1000 r.p.m. en función de los polos que tenga. (ENDESA, 2012)

## **CAPÍTULO 3: APORTES DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

### **3.1. Condiciones operativas de la planta de generación eléctrica Bloque 18 Palo Azul.**

El principio de operación básico de planta de generación eléctrica Bloque 18 PALO AZUL es el aprovechamiento del gas combustible existente en el CPF (Planta de facilidades de producción de crudo) evitando su quema en teas de alto impacto ambiental, con respaldo de sistemas de combustible líquido para operaciones de emergencia o mantenimiento. Resultante de esto, los modos de utilizar el combustible son:

- a. En la operación de la planta de generación de vapor, se dispone de dos turbogrupos con capacidad de 6 MW cada uno. El diseño del sistema de quemadores y del sistema de manejo de combustión en las calderas de los grupos turbo-generadores es el siguiente:
  - Estas calderas tiene un diseño con el cual podemos quemar gas pobre, mezcla de gas pobre con gas rico, crudo o combinación gas–crudo.
  - El gas pobre o su mezcla con gas rico tiene prioridad debido a su costo de oportunidad “0”, comparado con el alto costo del crudo.
  - Las calderas usarán la mezcla de gas en la proporción de gas pobre y rico a partir de, 100% gas pobre hasta una mezcla de 90% gas pobre y 10% gas rico; ya que los quemadores de gas no están diseñados para operar con mezclas donde el gas rico es predominante. Basado en la disponibilidad del gas pobre, el consumo de gas rico en las calderas se iniciará o no. (Petroamazonas, 2016)
  - Las calderas trabajarán con un solo combustible para control de la generación, bajo el modo de operación “ONE FUEL BASE LOAD”; donde estas tendrán un combustible modulando la carga y si se requiere quema complementaria se tendrá el otro combustible en carga fija. De ser necesario durante la operación el operador puede en cualquiera de las calderas transferir la modulación de un combustible al otro.

- La utilización del combustible líquido complementario requiere de la selección y operación local del operador. Para la operación con baja disponibilidad de gas, se tendrá permanentemente la disponibilidad de inicio automático de la quema de crudo y de ser necesario se mantiene la operación permanente del quemador de crudo en carga mínima. (Petroamazonas, 2016)

- Las calderas utilizan diesel como combustible para el sistema de ignición, el cual es intermitente, apagándose el piloto una vez se enciende el quemador y termina el tiempo de ignición.

- En caso de una parada total de la planta de generación a vapor y mientras no se tenga disponibilidad del gas para iniciar la generación de vapor en las calderas, estas podrán entrar en servicio utilizando el crudo como combustible. Inicialmente la atomización del crudo se realizará con aire comprimido del sistema de aire de servicios de los turbogrupos y después cuando se tenga ya vapor auxiliar en servicio se continúa con la atomización con vapor hasta que se obtengan buenas condiciones del gas combustible y se transfiera la operación a modo gas.

b. La utilización del crudo conlleva el conocimiento de las siguientes condiciones básicas de funcionamiento:

- La eficiencia de la caldera de cada turbogrupos con crudo es de cerca del 20%.

- El crudo se puede quemar en la caldera de cada turbogrupos tal como se recibe del CPF (Planta de facilidades de producción de crudo). (Petroamazonas, 2016)

### **3.2. Descripción de los equipos principales del grupo de generación a vapor de la planta de generación eléctrica Bloque 18 Palo Azul.**

Los sistemas y equipos mecánicos de las dos unidades turbo-generadoras a vapor de la planta incluirán lo siguiente:

- Dos (2) calderas de vapor NEBRASKA BOILER, cada una con capacidad máxima continua 70,000 lb./h de vapor sobrecalentado a 625 psig y  $760 \pm 10^{\circ}\text{F}$ ; cada una diseñada para quemar el gas pobre, crudo y mezcla de gases combustibles especificados. Las calderas son acuotubulares, tipo "D", con bancos de tubos independientes para sobrecalentador y economizador. Cada caldera tendrá su propio sistema de manejo de quemadores (BMS) con características especiales de control de bajo exceso de aire (%O<sub>2</sub>), NO<sub>X</sub>, SO<sub>2</sub>, CO. (TEXTLAB, 2011)



Figura 3. 1: *Calderas Nebraska Boiler.*

Fuente: (Petroamazonas, Planta de Generación Eléctrica de Vapor, 2012)

- Dos (2) turbinas de vapor SHIN NIPPON, de condensación pura, sin extracciones, de escape axial, cada una de 6,000 kWe de capacidad máxima continua medida en bornes del generador eléctrico. (TEXTLAB, 2011)



Figura 3. 2: *Turbina Shin Nippon.*

Fuente: (Petroamazonas, Planta de Generación Eléctrica de Vapor, 2015)

- Dos (2) generadores eléctricos SHINKO, de 13,8 kV y 60 Hertz, y sistema de enfriamiento con aire/agua, con excitatriz, sistema de control y protecciones. (TEXTLAB, 2011)

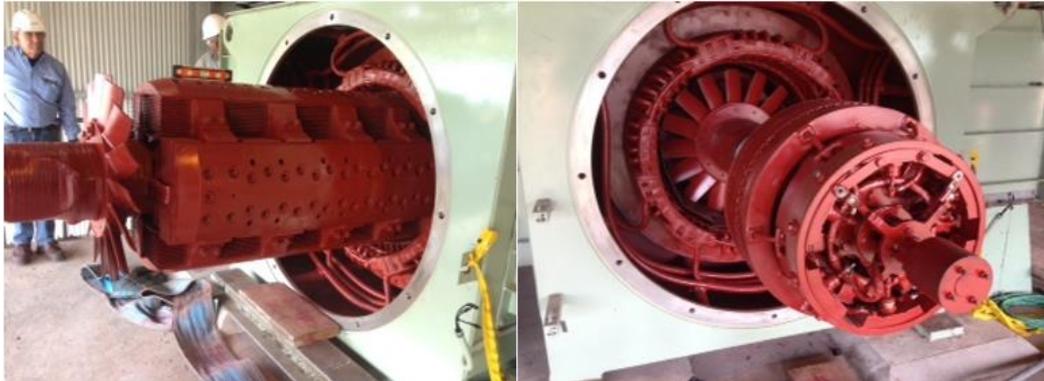


Figura 3. 3: *Generador eléctrico Shinko.*

Fuente: (Petroamazonas, Planta de Generación Eléctrica de Vapor, 2015)

- Dos (2) Sistemas de condensación y vacío, uno por cada turbina, con sus bombas de condensado, eyectores de vacío, dispositivos de protección e instrumentación de control y monitoreo en sala de control. (TEXTLAB, 2011)



Figura 3. 4: *Condensador GEA.*

Fuente: (Petroamazonas, Planta de Generación Eléctrica de Vapor, 2015)

- Un (1) Sistema de agua de alimentación, que incluye dos (2) bombas de agua de reposición o “make up” desde el tanque de almacenamiento, un desaireador y tanque de agua de alimentación común para ambas unidades, tres (3) bombas de alimentación de agua a calderas,

cada una del 50% de la capacidad del agua requerida por las dos calderas.  
(TEXTLAB, 2011)



Figura 3. 5: *Bombas de Agua de Alimentación de Calderas.*  
Fuente: (Petroamazonas, Planta de Generación Eléctrica de Vapor, 2016)

- Un (1) Sistema de dosificación e inyección de químicos al desaireador, que incluye un conjunto de tanque, agitador y bomba de dosificación de productos químicos. (TEXTLAB, 2011)



Figura 3. 6: *Bomba de Inyección de Químicos al Desaireador.*  
Fuente: (Petroamazonas, Planta de Generación Eléctrica de Vapor, 2016)

- Un (1) Sistema principal de agua de enfriamiento, que comprende una torre de enfriamiento húmeda, común para las dos

unidades, de tiro mecánico inducido, de 3 celdas, de flujos de aire y agua en contra-flujo, con su piscina común de agua en la parte inferior, tres (3) bombas de circulación del agua de enfriamiento principal, horizontales, centrífugas, eléctricas, cada una del 50% de la capacidad total del agua de enfriamiento requerida por los dos condensadores de vapor, enfriadores de aire de los generadores de las dos turbinas de vapor y agua de enfriamiento al sistema secundario (booster). (TEXTLAB, 2011)



Figura 3. 7: *Bombas de Agua de Circulación y Torres de Enfriamiento.*  
Fuente: (Petroamazonas, Planta de Generación Eléctrica de Vapor, 2016)

- Un (1) Sistema secundario de enfriamiento, compuesto por tres (3) bombas de agua de enfriamiento que succionan de la tubería de descarga de las bombas principales de agua de enfriamiento, cada bomba del 50% del caudal de agua de enfriamiento requerida por los enfriadores del aceite de lubricación, condensadores del vapor de escape de laberintos y toma muestras de las calderas. (TEXTLAB, 2011)



Figura 3. 8: *Enfriadores de Aceite y de Vapor de Sellos.*  
Fuente: (Petroamazonas, Planta de Generación Eléctrica de Vapor, 2016)

- Un (1) Sistema de aire comprimido que comprende, dos (2) sistemas uno de ellos de reserva, cada uno con compresores con motor eléctrico, con sistemas de filtros, con secador de aire tipo refrigeración, control automático inteligente y tanque pulmón de acero, para producir el aire seco de instrumentos requerido para trabajar entre 7 y 8.6 barg (100 y 125 psig) de presión. (TEXTLAB, 2011)

- Un (1) Sistema de aire de servicios y enfriamiento que comprende, un (1) compresor, con motor eléctrico, un (1) tanque pulmón de acero, para trabajar a 8.6 barg (125 psig) de presión y un sistema de dos (2) válvulas de regulación de presión para suministro de aire de enfriamiento a calderas a 20 psig. (TEXTLAB, 2011)

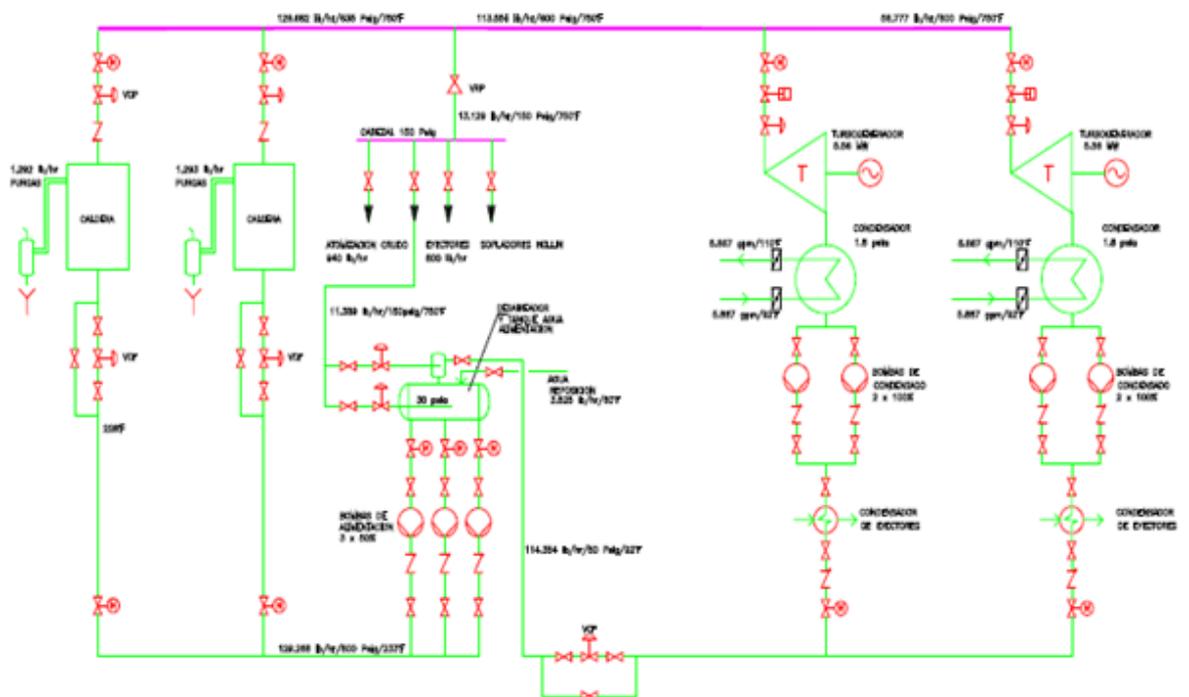


Figura 3. 9: Plano de la PGEV Petroamazonas Bloque 18 Palo Azul.  
Fuente: (Petroamazonas, Planta de Generación Eléctrica de Vapor, 2016)

### 3.3. Análisis y descripción de fallas operativas en los equipos principales de una planta de generación de vapor.

Los problemas y costos que originan las fallas en los equipos principales de una planta de generación de vapor tales como el generador de vapor (caldera), la turbina y el generador eléctrico; hace imprescindible

contar con criterios y procedimientos unificados y claros que permitan tomar acertadas medidas preventivas o correctivas sobre la operación de estos.

Para lo cual se han realizado análisis sobre las fallas y posibles ocurrencias de estas, que nos permitan establecer criterios generalizados sobre las acciones a tomar en forma normal o de emergencia en sus respectivos casos expuestos. (CFE, 2013)

### 3.3.1. Fallas operativas en un generador de vapor.

En un generador de vapor se van analizar las siguientes fallas:

1. Rotura de tubos en las paredes de agua de un generador de vapor.
2. Rotura de tubos en sobrecalentador del generador de vapor.
3. Rotura de tubos en economizador del generador de vapor.
4. Falla del Ventilador de tiro forzado.
5. Falla en bombas de agua de alimentación.

(CFE, 2013)

#### 3.3.1.1. Rotura de tubos en las paredes de agua de un generador de vapor.

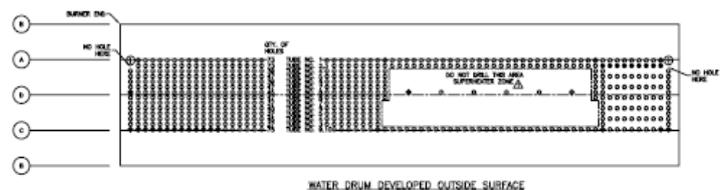
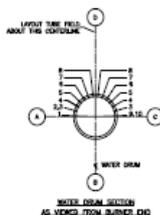
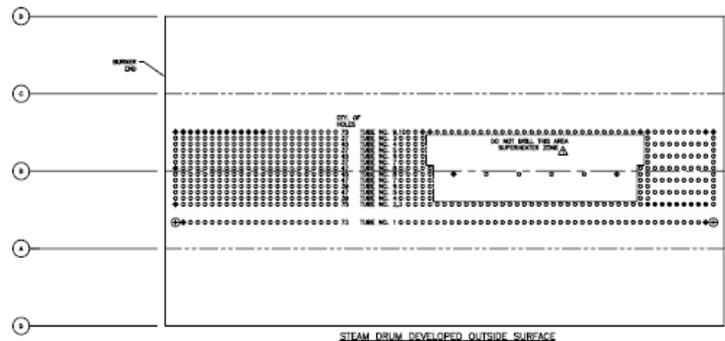
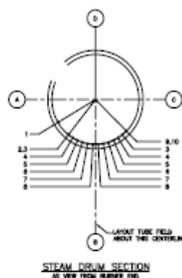


Figura 3. 10: *Tubos de Agua de Caldera Nebraska Boiler.*

Fuente: (Petroamazonas, Planta de Generación Eléctrica de Vapor, 2016)

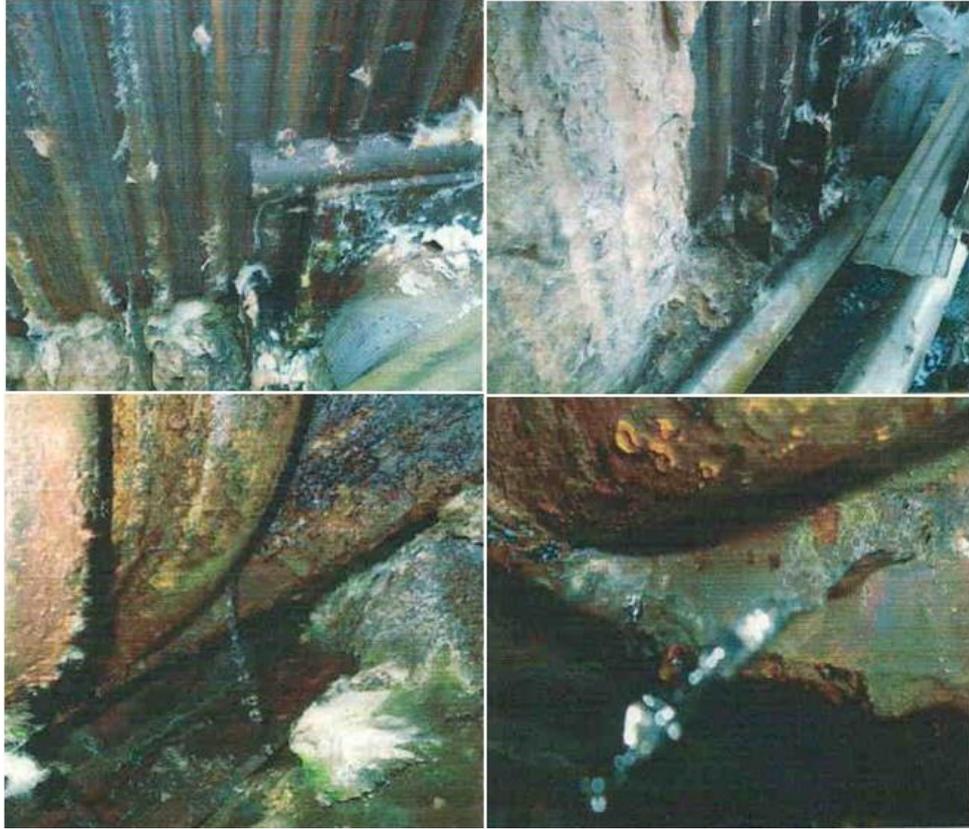


Figura 3. 11: *Rotura de Tubo de Agua por esfuerzos mecánicos y erosión externa.*  
Fuente: (Petroamazonas, Planta de Generación Eléctrica de Vapor, 2016)

### ***Causas de falla.***

Las causas por las que se puede presentar una falla en tuberías de pared de agua, pueden ser las siguientes:

- Defecto de diseño.
- Defecto de soldadura durante la construcción.
- Defecto del material.
- Deterioro interno ( ataque caústico o corrosión)
- Erosión externa por paso de gases.
- Corrosión externa.
- Esfuerzo mecánicos (vibraciones o pulsaciones)
- Incrustación interna.
- Contacto directo con la flama.
- Esfuerzos por presión al presentarse pérdidas de carga.

### ***Disturbios producidos por la falla.***

Al ocurrir la rotura de uno o varios tubos de la pared de agua, existen variaciones de parámetros que pueden ser leves o demasiado bruscas dependiendo de la magnitud de la falla. (CFE, 2013)

Los parámetros indicativos, en el caso de que la fuga sea mínima, son los siguientes:

- Ligero incremento del flujo de agua de alimentación y de agua de reposición al ciclo.
- Disminución de la concentración de químicos en la caldera.

Los parámetros indicativos, en el caso de que la fuga sea grande, son los siguientes:

- Caída de presión de vapor y como consecuencia pérdida de carga.
- Pérdida de nivel en el domo de vapor.
- Incremento en los flujos de agua de alimentación y agua de reposición al ciclo
- Inestabilidad de la flama.
- Incremento en el flujo de combustible.
- Incremento en el flujo de aire.
- Incremento en la presión del hogar.

La falla puede ser de tal magnitud, que llegue a apagar los fuegos del generador de vapor, ocasionando una condición peligrosa, ya que podría provocar una explosión en el hogar por ignición secundaria.

Localmente la falla se puede detectar por el ruido que produce la fuga, salida de vapor por la chimenea y escurrimientos de agua al exterior. La fuga puede dañar tubos adyacentes. (CFE, 2013)

### ***Acciones a tomar.***

Si la falla es tal que el nivel del domo puede mantenerse, el generador de vapor puede quedar en servicio y programar su paro con procedimiento

normal, para efectuar las reparaciones necesarias; de esta forma el equipo no está sujeto a cambios bruscos de temperatura.

Si el nivel del domo se pierde debido a la magnitud de la falla y no es posible recuperarlo se deberá efectuar las siguientes medidas:

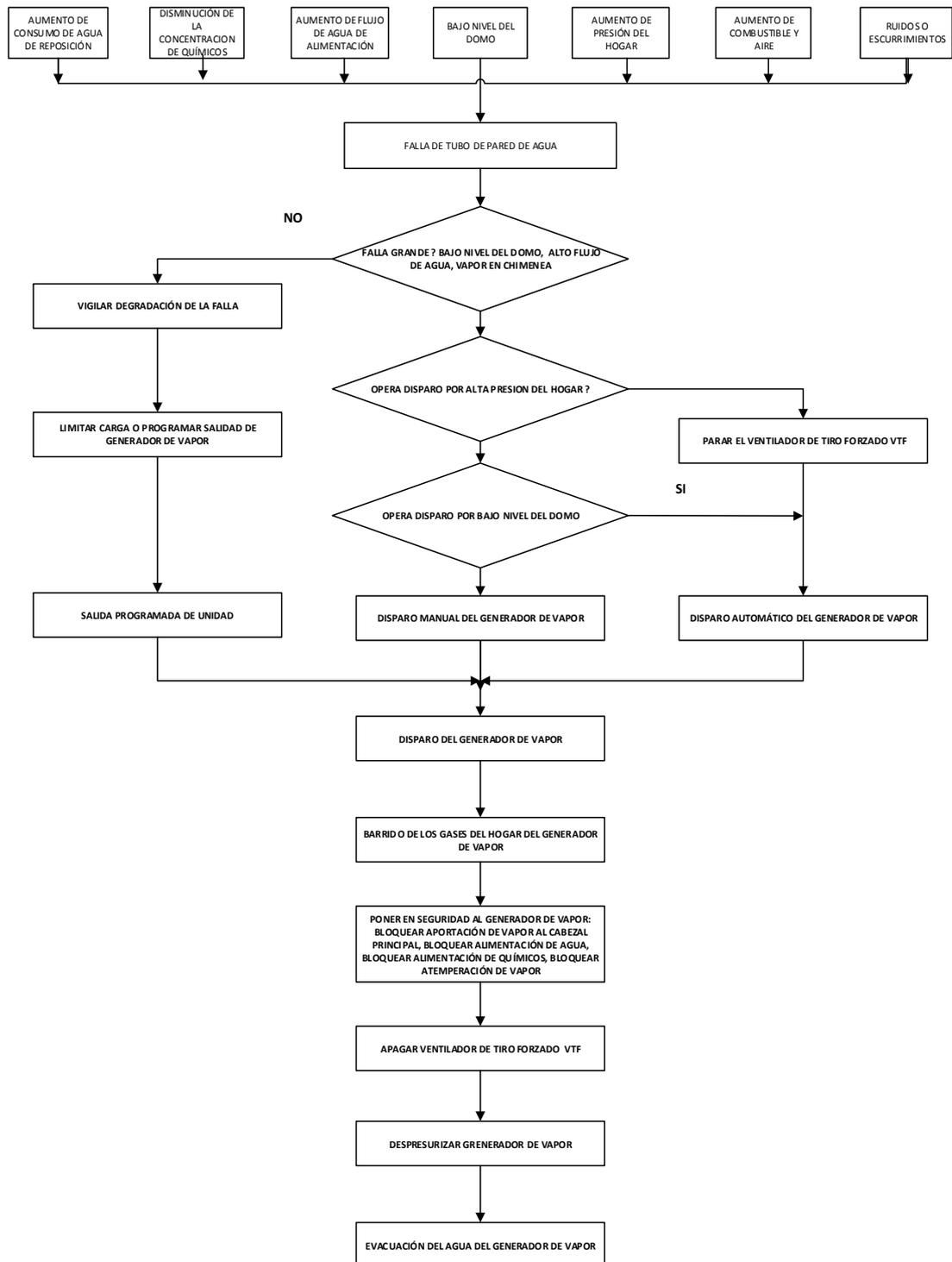
1. Disparo del generador de vapor.
2. Efectuar el barrido de los gases del hogar para desalojar la mezcla explosiva de los gases.
3. Proceder a poner en seguridad el generador de vapor:
  - Cerrar aportación de vapor al cabezal principal de vapor.
  - Bloquear aportación de agua hacia el generador de vapor.
  - Cerrar la alimentación de químicos al domo de vapor.
  - Aislar la atemperación de vapor.
4. Apagar el Ventilador de tiro forzado.
5. Proceder a despresurizar el generador de vapor abriendo el venteo de la salida del sobrecalentador secundario.
6. Proceder a evacuar lentamente el agua del generador de vapor para evitar la formación de ácido sulfúrico en el hogar o ductos de gases. (CFE, 2013)

#### ***Medidas preventivas.***

1. Efectuar los encendidos del generador de vapor cumpliendo estrictamente con la curva de encendido especificada por el fabricante.
2. Vigilar que exista un control adecuado del tratamiento químico del agua de alimentación para reducir formación de incrustaciones y eliminar la corrosión.
3. Evitar los cambios bruscos de carga fuera de los límites tolerables de operación.

4. Operar con buena combustión para evitar los gases corrosivos.
5. Evitar las sobrepresiones para que no se acumulen los esfuerzos mecánicos en los elementos del generador de vapor. (CFE, 2013)

**DIAGRAMA DE FLUJO DE FALLA DE TUBO DE PARED DE AGUA EN UN GENERADOR DE VAPOR.**



### 3.3.1.2. Rotura de tubos en sobrecalentador del generador de vapor.

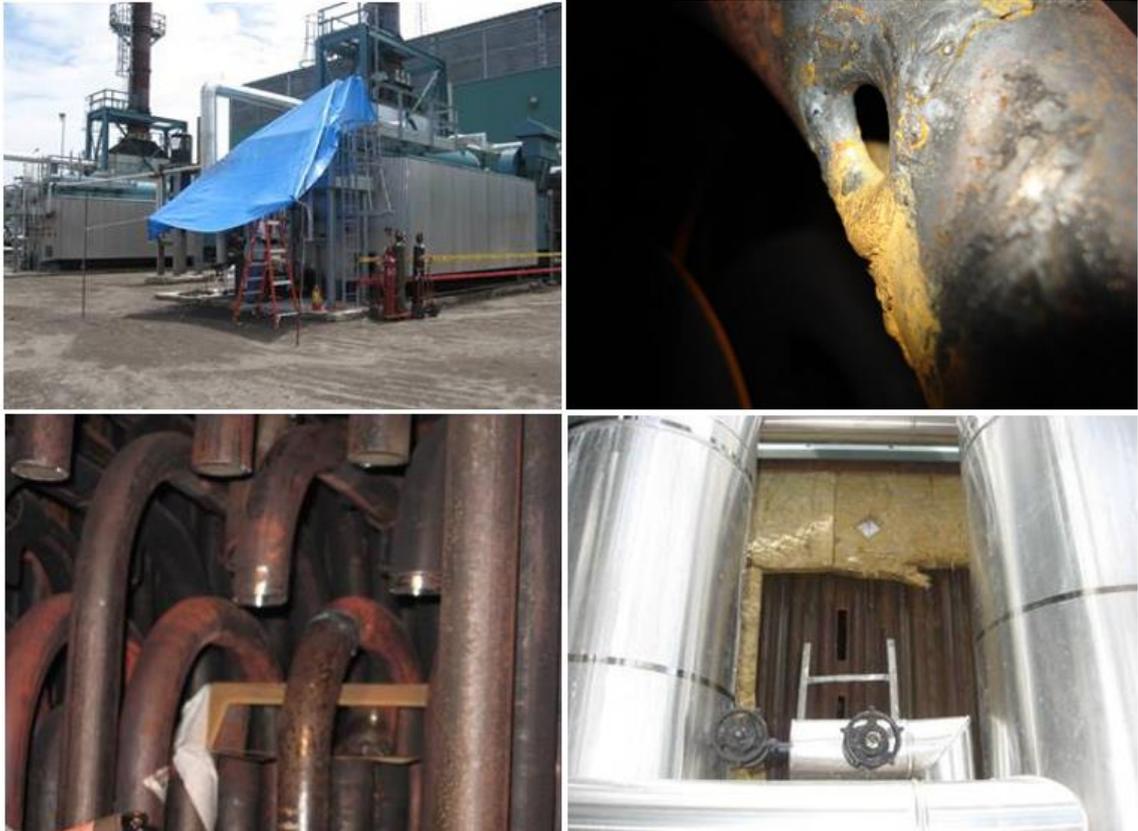


Figura 3. 12: *Rotura de Tubo en Sobrecalentador.*

Fuente: (Petroamazonas, Planta de Generación Eléctrica de Vapor, 2016)

#### ***Causas de falla.***

Las causas por las que se puede presentar una falla en tuberías del sobrecalentador pueden ser las siguientes:

- Defecto de diseño.
- Defecto de soldadura durante la construcción.
- Defecto del material.
- Erosión externa (soplado de hollín o paso de gases)
- Corrosión externa.
- Esfuerzo mecánico (vibración en los tubos)
- Incrustaciones interna en el tubo (disminución del flujo a través del tubo)
- Esfuerzo térmicos.
- Choque directo con la flama (solo para generadores radiantes)

(CFE, 2013)

### ***Disturbios producidos por la falla.***

Al ocurrir la rotura de uno o varios tubos del sobrecalentador existen variaciones de varios parámetros, estas pueden ser leves o demasiado bruscas dependiendo de la magnitud de la falla.

Los parámetros indicativos son los siguientes:

- Incremento en los flujos de agua de alimentación y de reposición del ciclo.
- Inestabilidad en el nivel del domo de vapor.
- Incremento en el flujo de combustible.
- Incremento en el flujo de aire de combustión.
- Disminución en la presión del vapor dependiendo de la magnitud de la falla. Como consecuencia ocasionará pérdida de carga.
- Incremento en la temperatura de vapor sobrecalentado ocasionado por la reducción del flujo a través del sobrecalentador. Como consecuencia se incrementa el flujo de atemperación.

Localmente puede detectarse la falla por el ruido que produce la fuga de vapor. (CFE, 2013)

### ***Acciones a tomar.***

Las indicaciones siguientes son de carácter general, se entiende que las condiciones pueden cambiar en cada caso por lo que se requiere la experiencia y el buen criterio de los que operan el generador de vapor.

En caso de una falla de tubo, la cual permita continuar en operación el generador de vapor, este se podrá sacar de servicio según el procedimiento normal.

En caso de una falla de tubo que obligue a sacar inmediatamente el generador de vapor, proceder de la siguiente forma:

1. Disparo del generador de vapor.
2. Efectuar el barrido de los gases del hogar para desalojar la mezcla explosiva de los gases.

3. Proceder a poner en seguridad el generador de vapor:
  - Cerrar aportación de vapor al cabezal principal de vapor.
  - Bloquear aportación de agua hacia el generador de vapor.
  - Cerrar la alimentación de químicos al domo de vapor.
  - Aislar la atemperación de vapor.
4. Apagar el Ventilador de tiro forzado.
5. Proceder a despresurizar el generador de vapor .
6. Proceder a restablecer condiciones normales del nivel del domo.

(CFE, 2013)

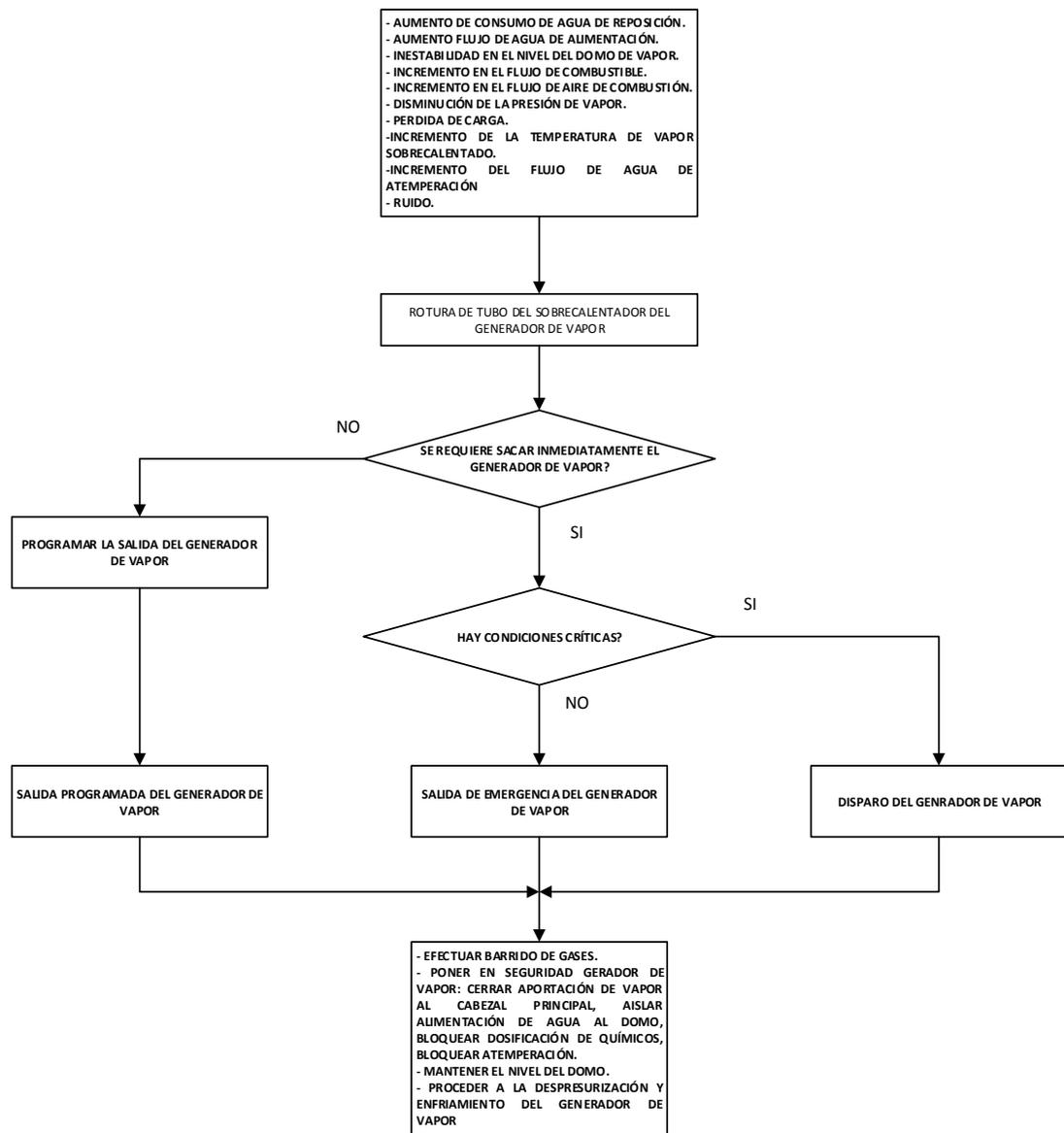
#### ***Medidas preventivas.***

1. Efectuar los calentamientos del generador de vapor cumpliendo estrictamente con la curva de encendido especificada por el fabricante correspondiente.
2. Vigilar durante los procesos de encendido y calentamiento, que el incremento de temperatura del metal de los elementos de vaporización y sobrecalentamiento permanezcan dentro de los límites establecidos.
3. Asegurar que exista un flujo uniforme de vapor a través de los elementos del sobrecalentador mediante la operación adecuada de los drenajes según especificaciones del fabricante.
4. Vigilar que exista un control adecuado del tratamiento químico del agua de alimentación para reducir formaciones de incrustaciones y eliminar la corrosión.
5. Evitar cambios bruscos de carga fuera de los límites tolerables de operación con el fin de evitar variaciones fuertes de temperatura en los elementos del sobrecalentador.

6. Evitar la operación prolongada de la unidad en cargas debajo de las mínimas recomendadas por el fabricante.
7. Operar con buena combustión para evitar la formación de gases corrosivos.
8. Durante la operación normal mantener la temperatura de los metales de los elementos del sobrecalentador, dentro de los valores recomendados.

(CFE, 2013)

**DIAGRAMA DE FLUJO DE FALLA EN TUBO DE SOBRECALENTADOR  
DEL GENERADOR DE VAPOR.**



### 3.3.1.3. Rotura de tubo en el economizador del generador de vapor.



Figura 3. 13: *Rotura de Tubo del Economizador por Erosión Externa.*  
Fuente: (Petroamazonas, Planta de Generación Eléctrica de Vapor, 2016)

#### ***Causas de la falla.***

Las causas por las que se puede presentar una falla en tuberías del economizador pueden ser las siguientes:

- Defecto de diseño.
- Defecto de la soldadura durante la construcción.
- Defecto de material.
- Erosión externa. (soplado de hollín)
- Corrosión externa.

- Esfuerzos mecánicos. (ondas de presión)
- Incrustaciones internas en el tubo.
- Esfuerzos térmicos. (falta de refrigeración)

(CFE, 2013)

### ***Disturbios producido por la falla.***

Cuando se produce la ruptura de uno o varios tubos del economizador existen variaciones en los siguientes parámetros:

- Incremento del flujo de agua de alimentación y reposición del ciclo.
- Inestabilidad en el nivel del domo. (disminuye)
- Disminución de la temperatura de los gases de salida.
- Incremento en el exceso de oxígeno.
- Incremento de la presión del hogar.
- Salida de vapor por la chimenea, ruido y escurrimiento de agua.

(CFE, 2013)

### ***Acciones a tomar.***

En el caso de la ruptura del tubo del economizador para que nos permita mantener el generador de vapor en operación, este se deberá sacar fuera de servicio de acuerdo al procedimiento normal.

En caso de que la falla obligue a sacar de servicio el generador de vapor de manera emergente se procederá de la siguiente forma:

1. Disparo del generador de vapor.
2. Efectuar el barrido de los gases del hogar para desalojar la mezcla explosiva de los gases.
3. Proceder a poner en seguridad el generador de vapor:

- Cerrar aportación de vapor al cabezal principal de vapor.
  - Bloquear aportación de agua hacia el generador de vapor.
  - Cerrar la alimentación de químicos al domo de vapor.
  - Aislar la atemperación de vapor.
4. Proceder a realizar un by-pass en el economizador y drenar su contenido de agua.
  5. Apagar el Ventilador de tiro forzado.
  6. Proceder a despresurizar y enfriar el generador de vapor.

(CFE, 2013)

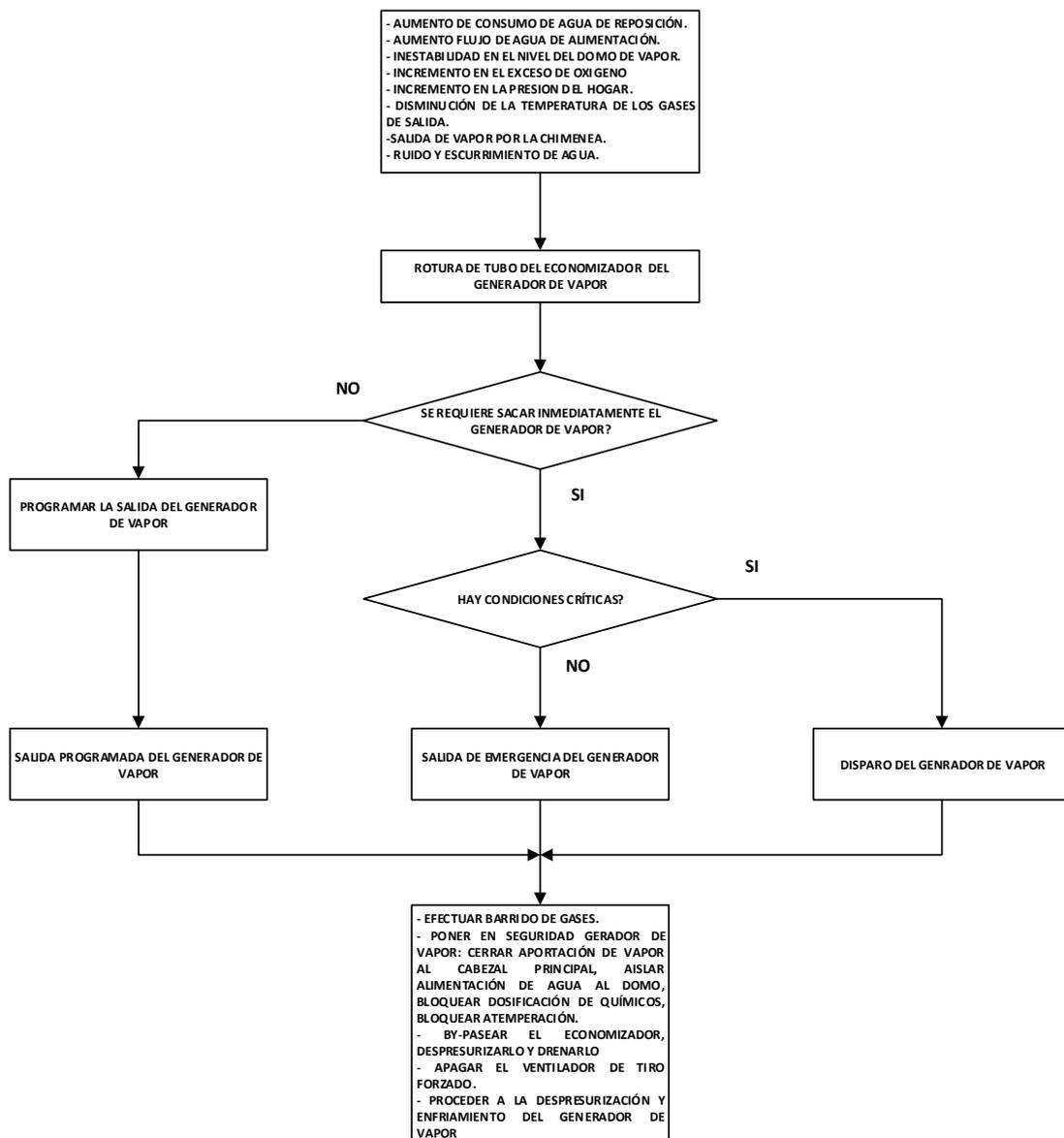
#### ***Medidas preventivas.***

1. Efectuar los calentamientos del generador de vapor cumpliendo estrictamente con la curva de encendido especificada por el fabricante correspondiente.
2. Vigilar durante los procesos de encendido y calentamiento, que el incremento de temperatura del metal del economizador permanezcan dentro de los límites establecidos.
3. Asegurar que exista un flujo mínimo uniforme de agua a través de los elementos del economizador mediante la operación adecuada para evitar el sobrecalentamiento del tubo.
4. Vigilar que exista un control adecuado del tratamiento químico del agua de alimentación para reducir formaciones de incrustaciones y eliminar la corrosión.
5. Evitar cambios bruscos de carga fuera de los límites tolerables de operación con el fin de evitar variaciones fuertes de temperatura en los elementos del economizador.

6. Evitar la operación prolongada de la unidad en cargas debajo de las mínimas recomendadas por el fabricante.
7. Operar con buena combustión para evitar la formación de gases corrosivos.
8. Durante la operación normal mantener la temperatura de los metales de los elementos del economizador, dentro de los valores recomendados.

(CFE, 2013)

### **DIAGRAMA DE FLUJO DE FALLA DE TUBO DE ECONOMIZADOR DE UN GENERADOR DE VAPOR**



### 3.3.1.4. Falla del ventilador de tiro forzado.

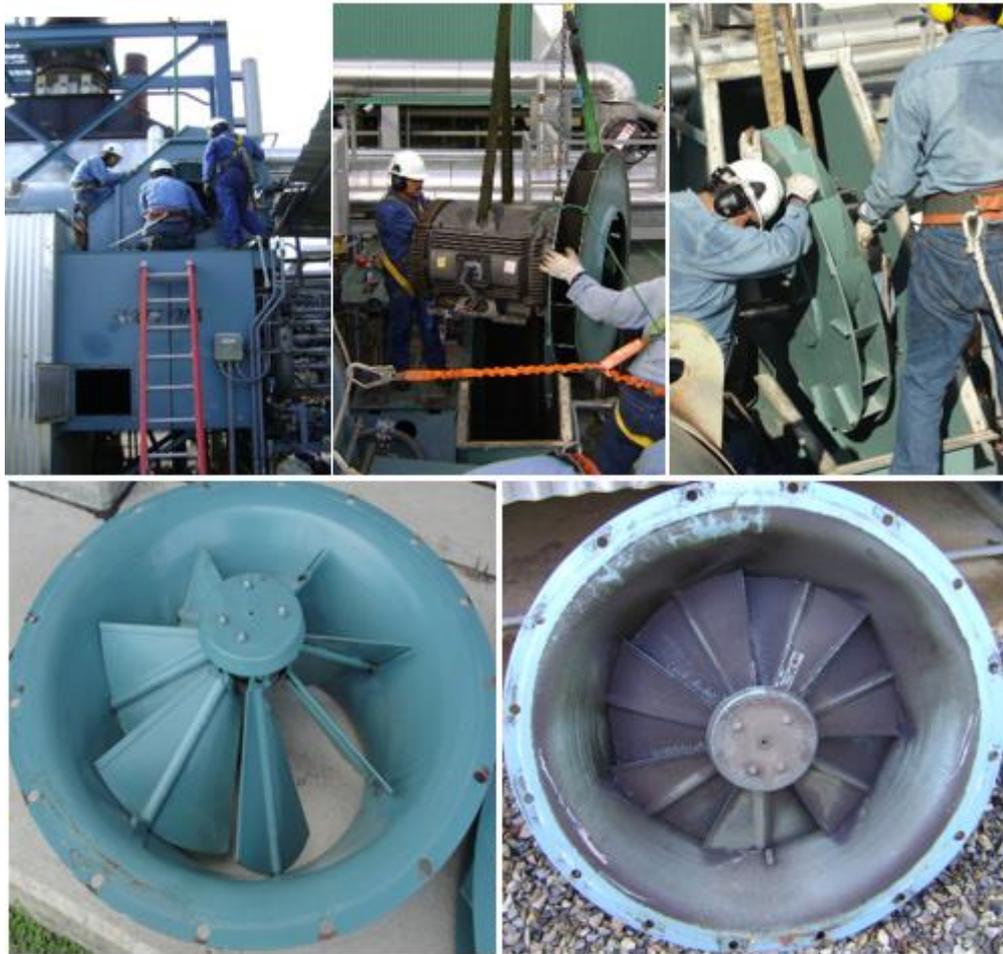


Figura 3. 14: *Falla del Ventilador de Tiro Forzado.*  
Fuente: (Petroamazonas, Planta de Generación Eléctrica de Vapor, 2016)

#### ***Causas de la falla.***

La falla en el ventilador de tiro forzado contempla las siguientes causas:

- Paro manual de emergencia por:
  - Daños internos.
  - Altas vibraciones.
  - Falla en chumaceras.
  - Daño del acople.
- Atascamiento o cierre de compuertas:

- Falla del servomotor o suministro de aire.
- Falla de varillaje de compuerta.
- Falla del sistema lógico.

(CFE, 2013)

### ***Disturbios producidos por la falla.***

Los disturbios producidos por los eventos antes descritos son:

- Disminución de la corriente del motor.
- Atascamiento o cierre de compuertas.
- Disminuye flujo de aire.
- Disminuye presión del hogar.
- Disminuye exceso de oxígeno.
- Mala combustión.

(CFE, 2013)

### ***Acciones a tomar.***

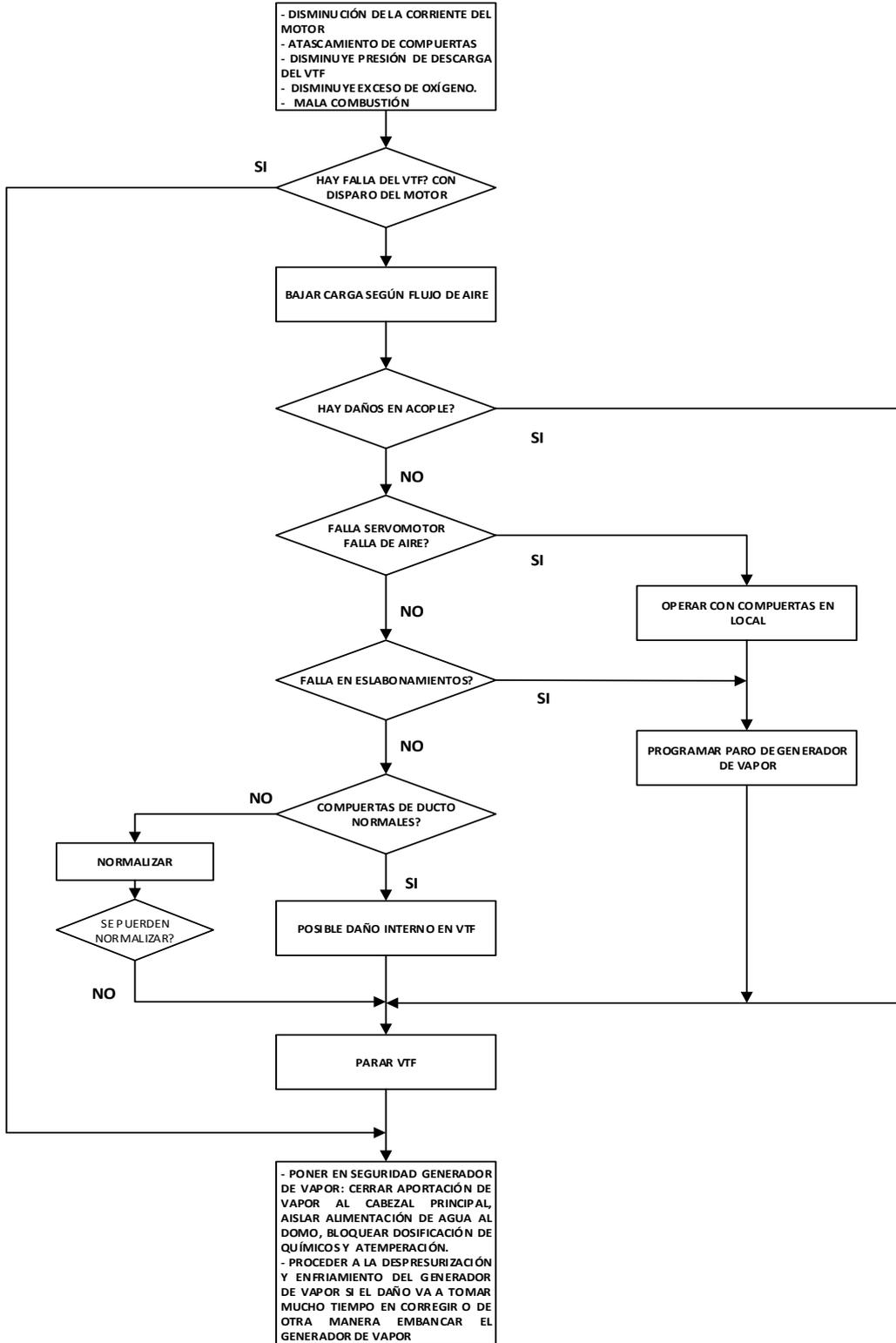
1. En el caso de una falla del Ventilador inmediatamente bajar carga al valor permitido por el flujo de aire.
2. Revisar las compuertas de los ductos y si alguna esta incorrectamente cerrada, normalizarla.
3. Inspeccionar localmente el ventilador para determinar la posible falla en:
  - Acoplamiento.
  - Servomotor.
  - Suministro de aire.

- Eslabonamiento de compuertas.
  - Compuertas.
  - Posible falla interna.
4. Si la falla está en el servomotor, operar las compuertas en forma local para bajar carga y sacar fuera de servicio el generador de vapor
  5. Cuando se tiene una situación crítica poner fuera de servicio el ventilador de tiro forzado y disparar el Generador de vapor.
  6. Proceder a poner en seguridad el generador de vapor:
    - Cerrar aportación de vapor al cabezal principal de vapor.
    - Bloquear aportación de agua hacia el generador de vapor.
    - Cerrar la alimentación de químicos al domo de vapor.
    - Aislar la atemperación de vapor.
  7. Proceder a despresurizar y enfriar el generador de vapor si la falla tomara mucho tiempo en corregir o embancar si la falla se corrige en poco tiempo. (CFE, 2013)

### ***Medidas preventivas.***

1. Realizar tomas y registros rutinarios de la corriente del motor.
2. Verificar rutinariamente niveles de aceite y temperaturas de chumaceras.
3. Realizar tomas y registros periódicos de vibraciones de chumaceras.
4. Establecer programa de engrasado de eslabonamiento de control.
5. Establecer programas de lavado de agua del rotor del ventilador durante el mantenimiento.
6. Limpieza de objetos extraños en la succión de aire del ventilador.

**DIAGRAMA DE FLUJO DE FALLA DEL VENTILADOR DE TIRO  
FORZADO DE UN GENERADOR DE VAPOR.**



### 3.3.1.5. Falla en bombas de agua de alimentación al generador de vapor.



Figura 3. 15: *Bombas de Agua de Alimentación de Calderas.*  
Fuente: (Petroamazonas, Planta de Generación Eléctrica de Vapor, 2016)

#### ***Causas de la falla.***

Las causas por las que puede ocurrir una falla en las bombas de agua de alimentación al generador de vapor pueden ser las siguientes:

- Disparo del motor por falla eléctrica.
- Disparo del motor por sobrecarga (falla mecánica).
- Alta presión diferencial en filtro de succión de las bombas.
- Paro manual de emergencia por:
  - Ruido anormal.
  - Altas vibraciones.
  - Falla de chumaceras.
  - Daños de sellos mecánicos.
  - Daños internos.

(CFE, 2013)

### ***Disturbios producido por la falla.***

Al ocurrir el disparo o dar la señal de paro se tiene los siguientes eventos:

- Alarma de disparo de la bomba de agua de alimentación.
- Luz indicadora del motor cambia a rojo en HMI.

De inmediato se tiene variación en los siguientes parámetros.

Flujo de agua de alimentación hacia los generadores de vapor disminuye.

1. Nivel del domo de vapor baja.
2. Nivel del desareador sube.
3. Flujo de agua de atemperación disminuye.
4. Temperatura del vapor sobrecalentado aumenta.

Como consecuencia, empiezan a actuar los siguientes controles.

- Control de agua de alimentación aumenta el flujo sobrecargando la otra bomba.
- Control de temperatura de vapor sobrecalentado aumenta flujo de atemperación.

El automatismo de las bombas de alimentación, cuando está implementado y se cumple los permisos (disparo de motor o baja presión de descarga de agua de alimentación) arranca la bomba de reserva.

Si el nivel del domo baja excesivamente o hay un incremento excesivo de la temperatura del vapor sobrecalentado (810°F), se produce el disparo de los generadores de vapor. (CFE, 2013)

### ***Acciones a tomar.***

El operador debe saber de antemano cuando tiene disponible la bomba de reserva. Cuando no está disponible la bomba de reserva, la única acción a

tomar es bajar la carga inmediatamente para tratar de evitar el disparo del generador de vapor por bajo nivel del domo o muy alta temperatura de vapor sobrecalentado hasta aproximadamente 40% a 50% de carga de los generadores de vapor.

Cuando se cuenta con la bomba de reserva, se realizaran las siguientes acciones:

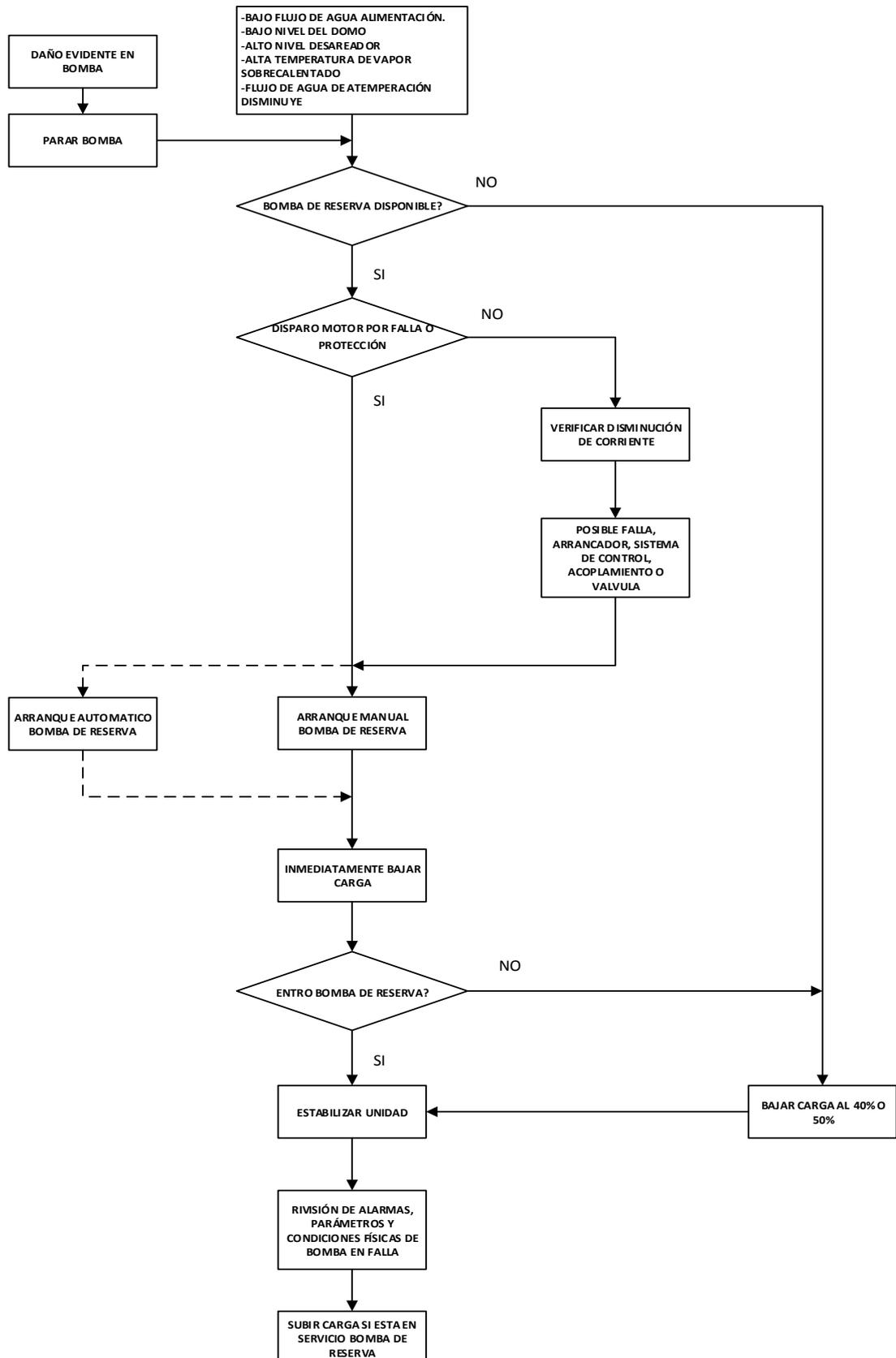
1. Verificar disparo del motor por el cambio de luz a rojo en el HMI y también verificar en el CCM la corriente en el indicador (0 amperios).
2. Arranque automático de bomba de reserva, al mismo tiempo iniciar la bajada de carga de los generadores de vapor.
3. Si la bomba de reserva no arranca automáticamente, realizar un arranque en manual y continuar bajando carga hasta estabilizar parámetros (entre el 40% y 50% de la carga). (CFE, 2013)

***Medidas preventivas.***

1. Realizar la lectura y registro rutinario de la corriente del motor.
2. Mantener niveles de aceite del acople motor-bomba
3. Realizar la limpieza de filtros de succión rutinariamente.
4. Tomar lectura y registro periódico de vibraciones.
5. Tener siempre disponible y en automatismo la bomba de reserva.

(CFE, 2013)

**DIAGRAMA DE FLUJO DE FALLA DE LAS BOMBAS DE AGUA DE ALIMENTACIÓN A LOS GENERADORES DE VAPOR.**



### 3.3.2. Fallas operativas en una turbina de vapor.

En las turbinas de vapor, se realizará el análisis y descripción de las posibles acciones a tomar en caso de falla, en forma normal o de emergencia, en los siguientes casos a tratar:

1. Falla de la chumacera de empuje.
2. Falla de bomba de agua de condensado.
3. Falla de rotura de tubos en el condensador. (CFE, 2013)

#### 3.3.2.1. Falla de la chumacera de empuje de una turbina a vapor.

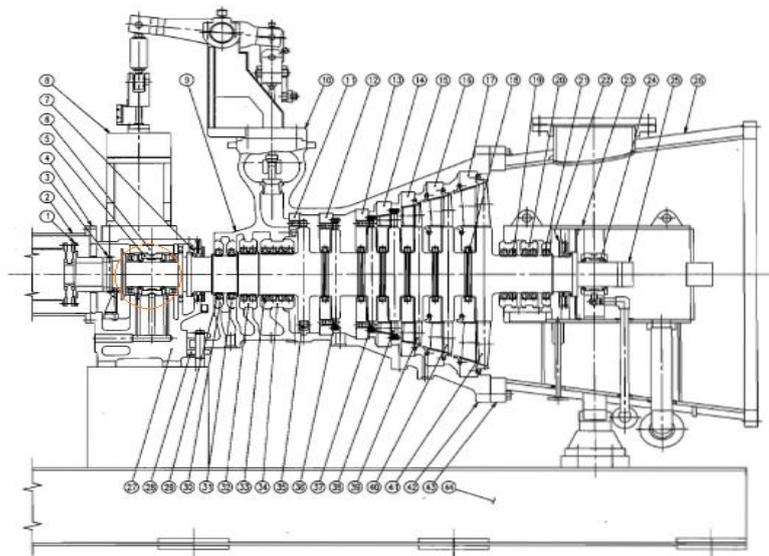


Figura 3. 16: *Disposición General de la Turbina Shin Nippon.*

Fuente: (Petroamazonas, Planta de Generación Eléctrica de Vapor, 2016)

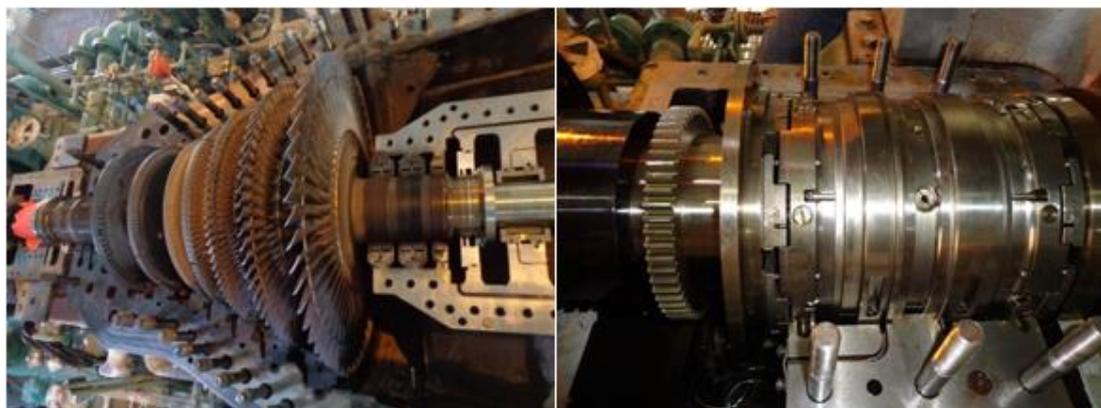


Figura 3. 17: *Sección del cojinete de empuje y cojinete frontal.*

Fuente: (Petroamazonas, Planta de Generación Eléctrica de Vapor, 2016)

### ***Causas de falla.***

La falla de la chumacera de empuje de una turbina a vapor contempla las siguientes causas:

- Inducción de agua en vapor principal.
- Alta presión en el primer paso de la turbina.
- Presiones de vapor sobrecalentado anormales (altas).
- Huelgos incorrectos.
- Alta temperatura de aceite lubricante.
- Lubricación inadecuada.

(CFE, 2013)

### ***Disturbios producidos por fallas.***

Los parámetros indicativos del desgaste o falla de la chumacera de empuje son:

- Posición del rotor, fuera del límite establecido.
- Temperatura del metal de la chumacera aumenta.
- Temperatura de aceite de la chumacera aumenta.

Esta falla puede presentarse como resultado de un empuje excesivo que desplace al rotor más allá de la tolerancia establecida por la chumacera de empuje. También puede producirse como consecuencia de problemas en el sistema de lubricación.

El primer caso se manifiesta con empujes anormales que afectan la posición del rotor de tal forma que pueda llegar a desgastar la chumacera.

El segundo caso se manifiesta en aumentos de temperatura y desgaste de la chumacera que ocasiona el desplazamiento del rotor.

En ambos casos, debido al desplazamiento del rotor que excede los valores de ajuste permitidos, opera una alarma y posteriormente el disparo de la turbina, actuando el dispositivo de protección. (CFE, 2013)

***Acciones a tomar.***

1. Al sonar la alarma deberá observarse los siguientes parámetros y tomar medidas correctivas si es posible:
  - Posición del rotor.
  - Presión de vapor del primer paso.
  - Temperatura de metales de la chumacera.
  - Temperatura de aceite de la chumacera.
  - Presión de vapor sobrecalentado.
2. Bajar carga.
3. Si no se puede corregir las anormalidades, disparar la turbina.

Cuando opera el disparo del dispositivo protector, significa que hay daño en la chumacera por lo que se deberá:

- Verificar el disparo del generador eléctrico.
- Verificar la descarga del generador de vapor.
- Romper el vacío para frenar el rotor.
- No operar el tornaflecha (virador).

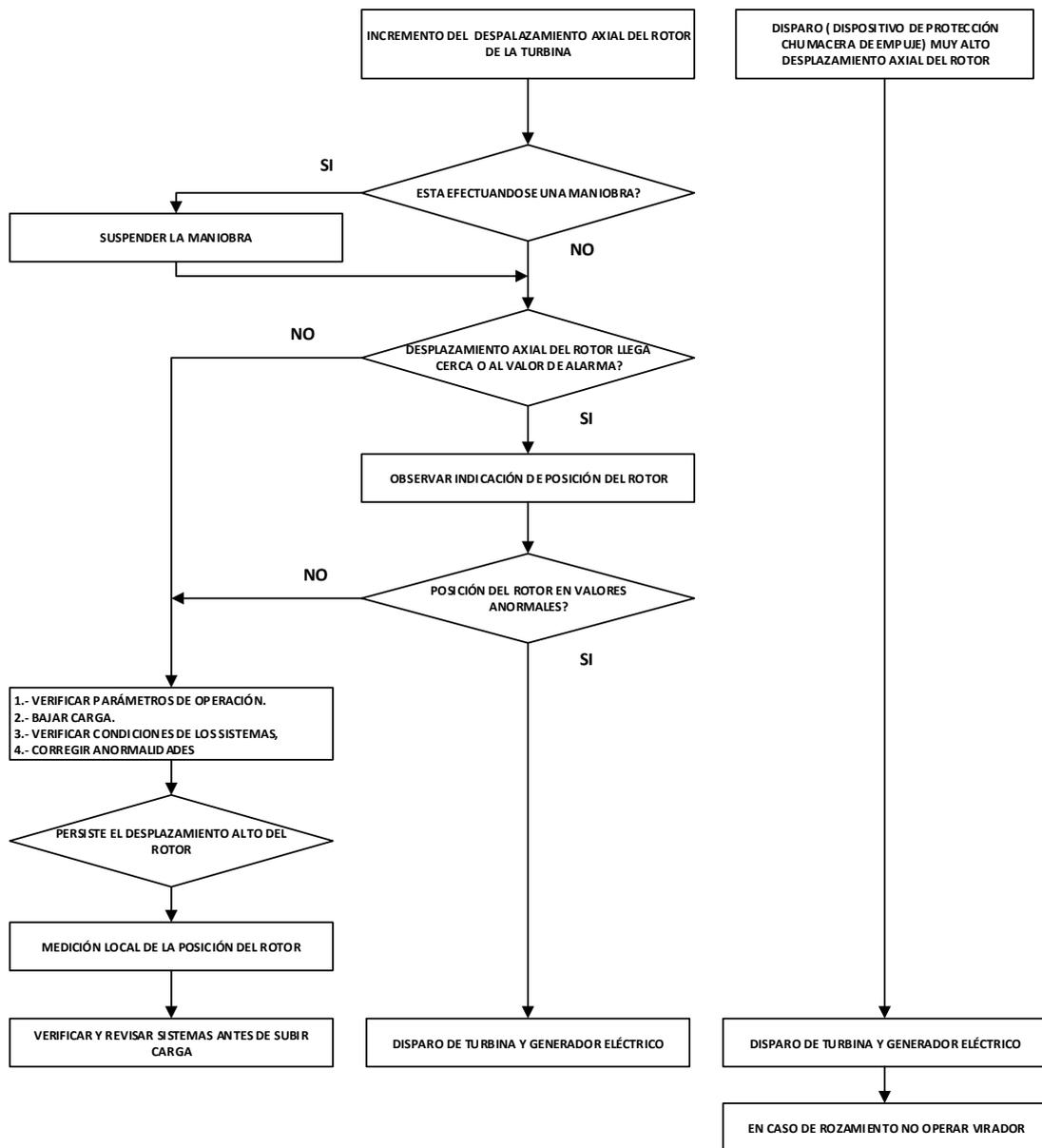
(CFE, 2013)

***Medidas preventivas.***

1. Observar y mantener dentro de los valores normales las temperaturas de vapor en los arranques y paros.

2. Evitar los altos contenidos de sílice en el vapor ya que producen depósitos en los álabes del rotor y como consecuencia un empuje hacia la chumacera de empuje.
3. Operar siempre con presiones dentro de los límites especificados por el fabricante.
4. Evitar altas temperaturas de aceite de lubricación.
5. Vigilar la calidad y propiedades del aceite.
6. Verificación de huelgos durante los mantenimientos. (CFE, 2013)

## DIAGRAMA DE FLUJO DE FALLA DE LA CHUMACERA DE EMPUJE DE UNA TURBINA A VAPOR.



### 3.3.2.2. Falla de bomba de agua de condensado.



Figura 3. 18: *Bombas de agua de condensado.*

Fuente: (Petroamazonas, Planta de Generación Eléctrica de Vapor, 2016)

#### ***Causas de la falla.***

1. Falla eléctrica.
2. Sobrecarga por falla mecánica en las bombas de:
  - Chumaceras.
  - Prensaestopas.
  - Daño interno en impulsores.
3. Protecciones de la bomba:
  - Bajo nivel del condensador.
4. Paro de emergencia:
  - Ruidos anormales.
  - Alta temperatura de rodamientos.
5. Baja presión de descarga de la bomba.

- Daño de acoplamiento motor-bomba.
- Taponamiento en filtro de succión.

(CFE, 2013)

### ***Disturbios producidos por la falla.***

Al ocurrir el disparo o dar la señal de paro, se tiene los siguientes eventos:

1. Alarma de paro o disparo de bomba de condensado.
2. Luz indicadora del motor cambió a color rojo.

De inmediato se tiene variación de los siguientes parámetros:

1. Presión de descarga de bomba se pierde súbitamente.
2. Flujo de agua de condensado se pierde.
3. Nivel del desareador baja.
4. Nivel del condensador sube.
5. Vacío del condensador se pierde.

(CFE, 2013)

### ***Acciones a tomar.***

El operador debe conocer cuando tiene disponible la bomba de reserva. Este hecho permite tomar diferentes acciones en cada caso. Cuando se tiene disponible la bomba de reserva, la primera acción a tomar es verificar si arrancó automáticamente o intentar arrancarla manualmente.

En caso del disparo por falla eléctrica, sobrecarga mecánica o protección de la bomba, se verificará:

- El arranque automático de la bomba de reserva, luego se realizará el cambio de bomba líder; arrancar manualmente si no está activado el automatismo.

- Si se logra el arranque de la bomba de reserva, estabilizar el nivel del condensador; y si no se logra el arranque de la bomba de reserva, tratar de restablecer la falla que disparó la bomba que se encontraba en servicio para arrancarla; pero si esta no arranca proceder a sacar fuera de servicio el turbogruppo (turbina -generador eléctrico).

Por paro de emergencia:

- Arranque automáticamente la bomba de reserva realizando el cambio de bomba líder o arrancar manualmente si no está activado el automatismo; cuando se detecta la situación crítica o se recibe el aviso por el personal de campo de parar inmediatamente la bomba.
- Si no arranca la bomba de reserva, repetir los intentos sobre esta última, nunca intente otro arranque de la bomba con falla.
- Si se logra el arranque de la bomba de reserva, estabilizar el nivel del condensador; y si no se logra el arranque de la bomba de reserva, restablecer la falla que disparó la bomba que se encontraba en servicio para arrancarla, pero si esta no arranca proceder a sacar fuera de servicio el turbogruppo (turbina-generador eléctrico).

Por baja presión de condensado:

- Arranque automáticamente de la bomba de reserva realizando el cambio de bomba líder o arrancar manualmente si no está activado el automatismo.
- Si la bomba de reserva arranca y se restablece la presión, estabilizar el nivel del condensador.
- Si la bomba de reserva no arranca o arranca pero no se restablece la presión, bajar carga hasta estabilizar el nivel del condensador; en el caso extremo de que no se pueda controlar el nivel del condensador, proceder a sacar fuera de servicio el turbogruppo (turbina-generador eléctrico).

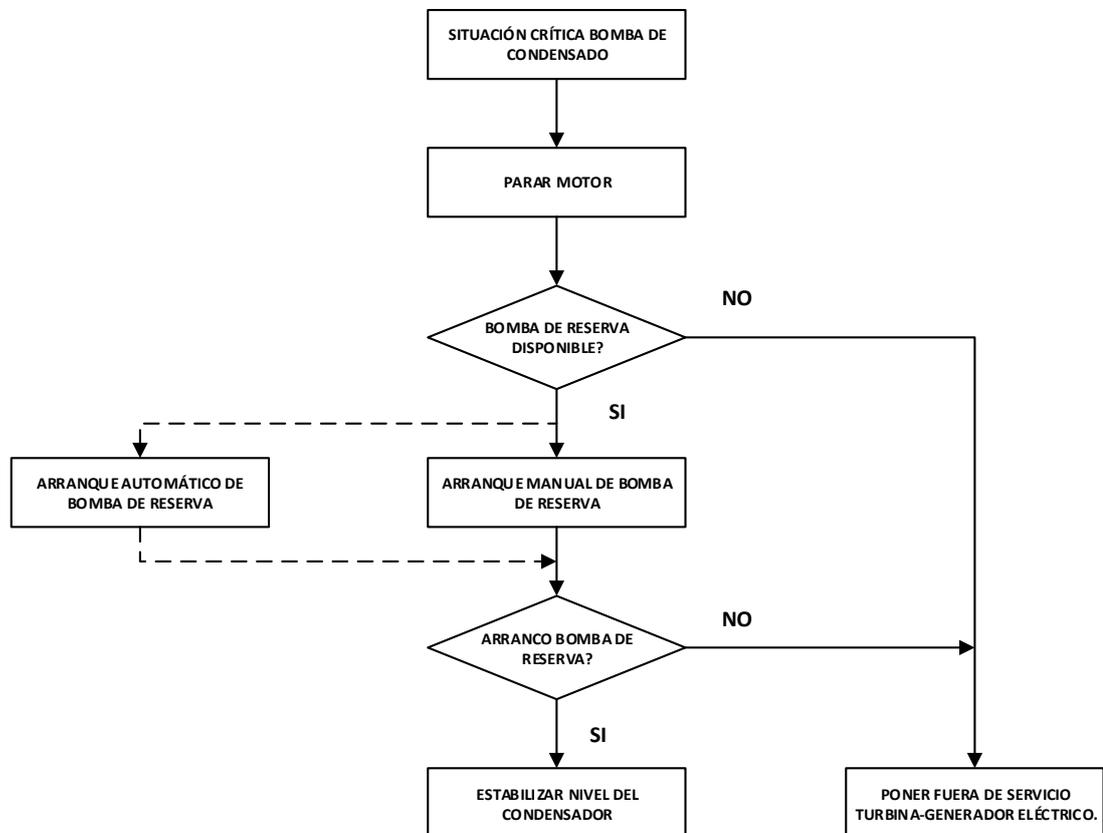
(CFE, 2013)

### **Medidas preventivas.**

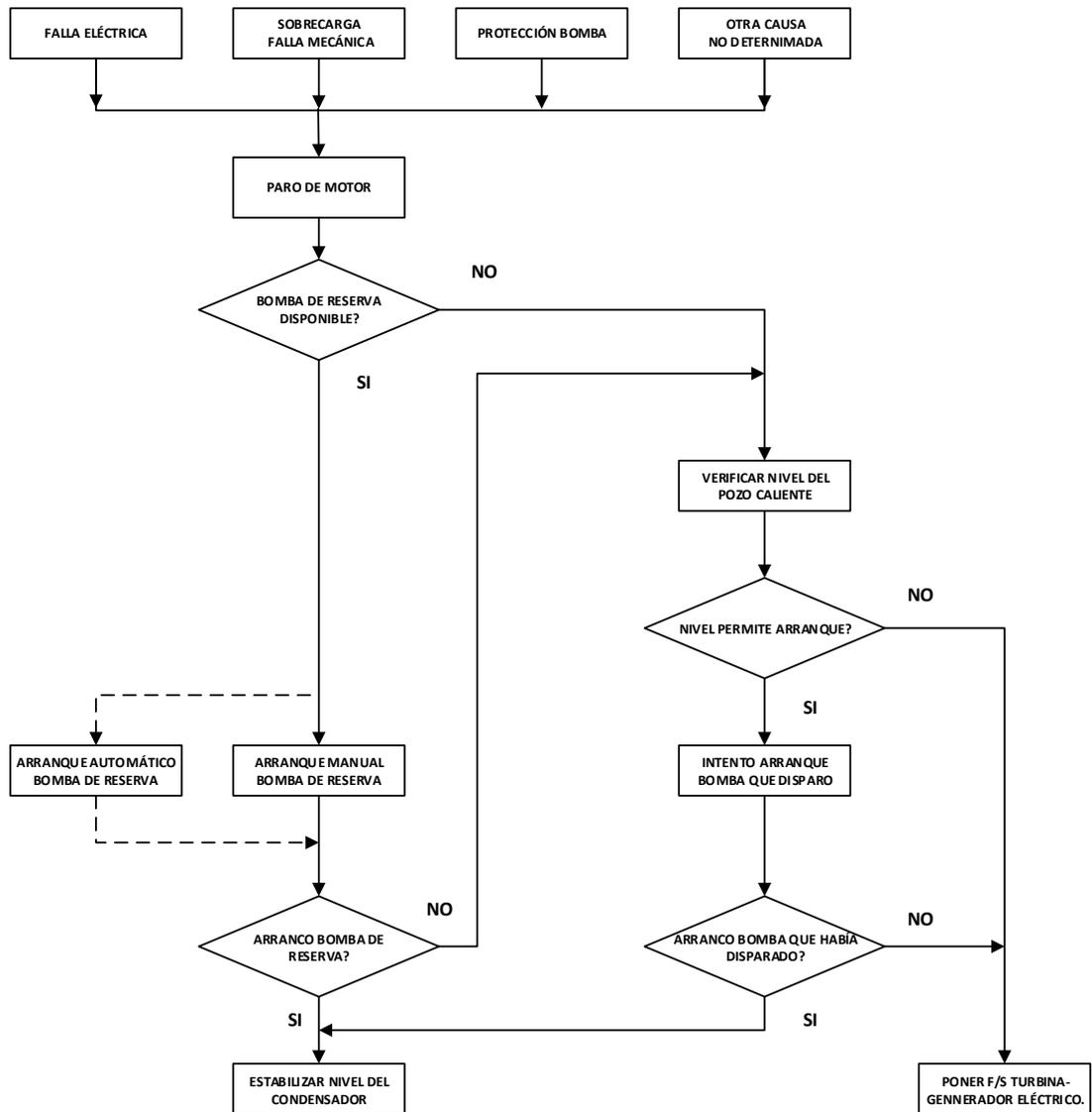
1. Realizar chequeo y registro rutinario de la corriente del motor de la bomba.
2. Tomar lectura y registro rutinario de la presión de descarga de la bomba de condensado.
3. Chequeo y mantenimiento rutinario del acople motor-bomba.
4. Medición y registro periódico de vibraciones.
5. Establecer programas rutinarios de engrase de los rodamientos del motor
6. Chequeo y verificación del sello mecánico de la bomba.
7. Mantener disponible y en automático la bomba de condensado de reserva.

(CFE, 2013)

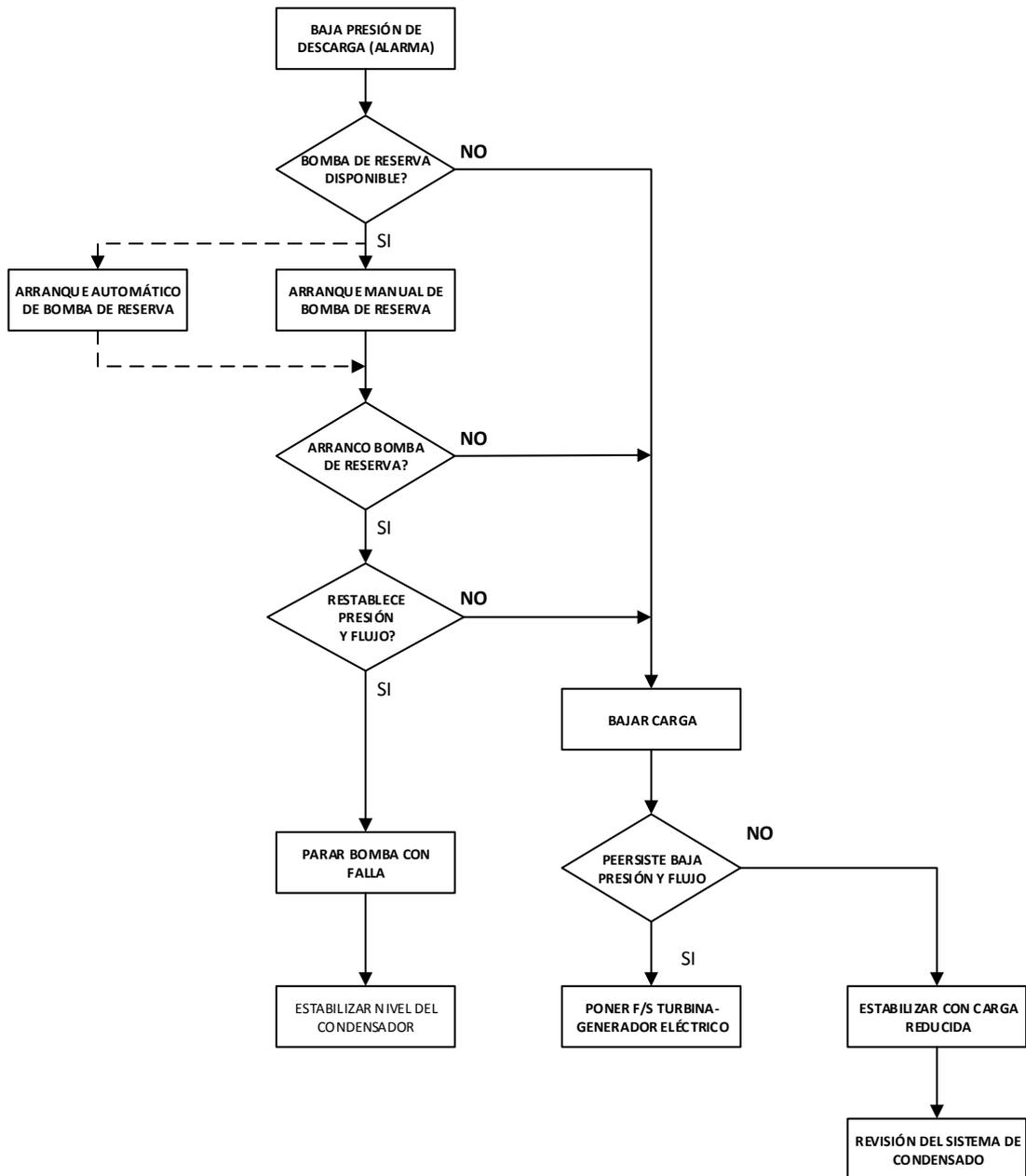
### **DIAGRAMA DE FLUJO PARO DE EMERGENCIA BOMBA DE CONDENSADO.**



**DIAGRAMA DE FLUJO DE FALLA DE BOMBA DE CONDENSADO.**



# DIAGRAMA DE FLUJO BAJA PRESIÓN DE BOMBA DE CONDENSADO.



### 3.3.2.3. Falla de rotura de tubos en el condensador.



Figura 3. 19: *Rotura de Tubos en el Condensador.*

Fuente: (Petroamazonas, Planta de Generación Eléctrica de Vapor, 2016)

#### ***Causas de la falla.***

Esta falla consiste en la rotura de uno o más tubos del condensador que provoca la contaminación del agua de condensado con agua de circulación, se origina por:

- Inadecuado tratamiento químico del agua de circulación.
- Arrastre de sólidos y partículas abrasivas en el agua de circulación.

Esfuerzos mecánicos por:

- Vibración de los tubos en los soportes.

- Choque violento de agua de circulación (al arrancar las bombas de circulación)

### ***Disturbios producidos por la falla.***

Cuando se produce la falla, dependiendo de la magnitud de esta, se alterarán los siguientes parámetros indicativos:

➤ Inmediatos:

1. Conductividad de agua de condensado en pozo caliente aumenta.
2. Incremento de la sílice en el agua de condensado en pozo caliente aumenta.
3. Nivel del pozo caliente aumenta.

➤ Posteriores:

4. Conductividad de agua de generador de vapor aumenta.
  5. PH de agua del generador de vapor baja.
  6. Incremento de la sílice en el agua del generador de vapor.
- A largo plazo pueden tener los siguientes efectos:
    7. Arrastre de sólidos en el vapor.
    8. Depósitos en sobrecalentadores y turbina. (CFE, 2013)

### ***Acciones a tomar.***

Al detectarse la contaminación (por aumento de conductividad o sílice) proceder de la siguiente forma:

1. Observación continua de conductividad y sílice del condensador, desareador y generador de vapor.
2. Purgar el sistema de agua de condensado en las descargas de la bomba de condensado según análisis.

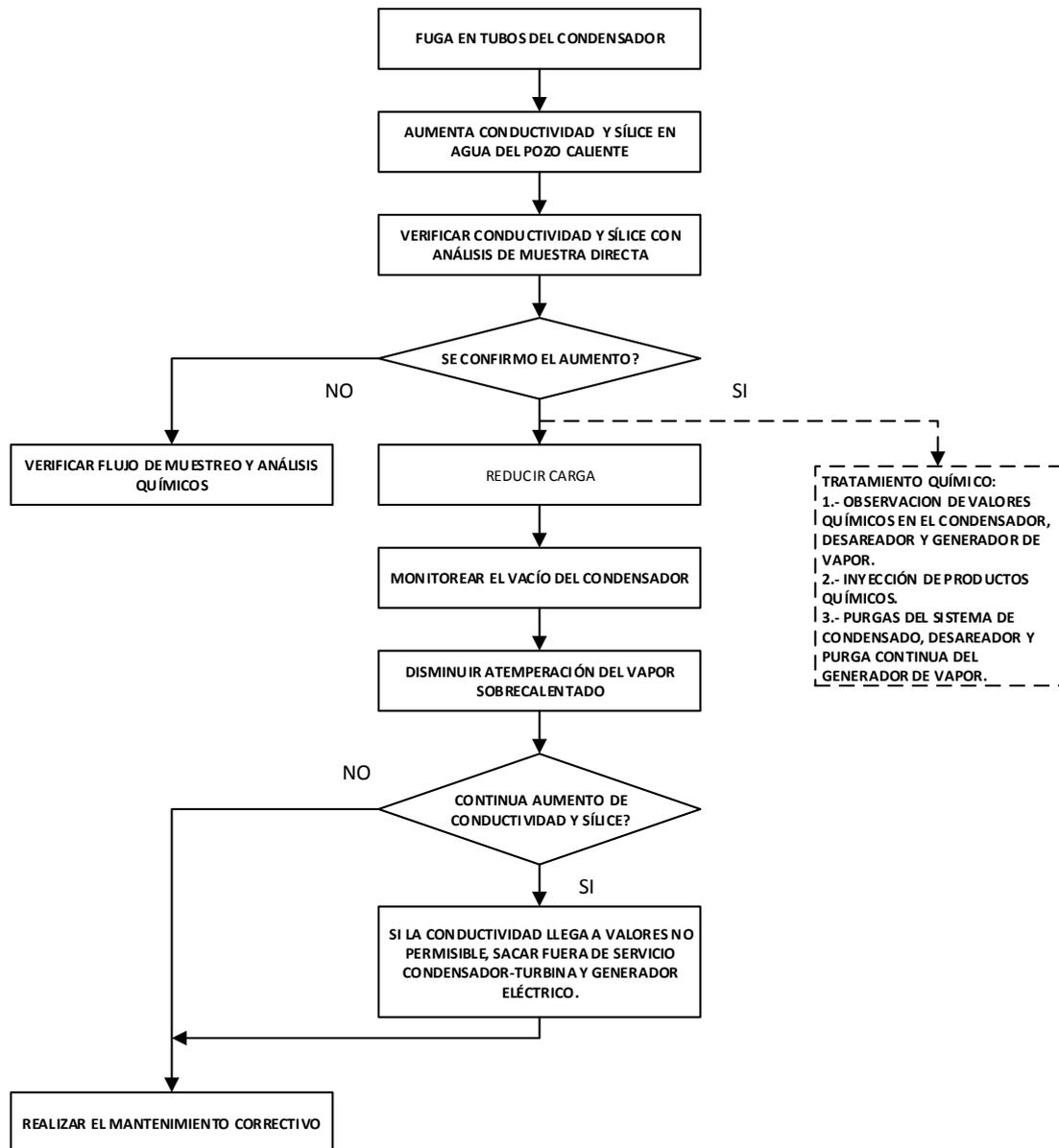
3. Realizar purga del desareador y purga continua del generador de vapor según análisis.
4. Inyectar químicos al desareador y los generadores de vapor en caso de ser necesario.
5. Disminuir la atemperación del vapor sobrecalentado.
6. Observar el vacío del condensador, si este se pierde bajar la carga de la turbina.
7. Si la conductividad y la sílice permanece alta, sacar fuera de servicio el condensador para el respectivo mantenimiento. (CFE, 2013)

***Medidas preventivas.***

1. Realizar control químico dentro de los valores establecidos.
2. Realizar el control químico del agua de la piscina de las torres de enfriamiento.
3. Realizar el control de secuestrante de O<sub>2</sub> en los generadores de vapor y de CO<sub>2</sub> en el pozo caliente.

(CFE, 2013)

### DIAGRAMA DE FLUJO FALLA DE TUBOS DEL CONDENSADOR.



### 3.3.3. Falla operativa en un generador eléctrico.

La falla operativa en un generador eléctrico, a la que se ha realizado el análisis sobre su posible ocurrencia y que nos permita establecer algunos criterios generalizados sobre las acciones a tomar en forma normal o de emergencia, es la siguiente:

- Falla de motorización del generador eléctrico.

### 3.3.3.1. Falta de motorización del generador eléctrico.



Figura 3. 20: *Motorización del Generador Eléctrico.*

Fuente: (Petroamazonas, Planta de Generación Eléctrica de Vapor, 2016)

#### ***Causas de la falla.***

Las causas por las que se puede presentar la motorización en un generador eléctrico, son las siguientes:

1. Sincronización del generador sin toma de carga.
2. Secuencia de disparo incompleta.
3. Bajada de carga a menos de cero.
4. Bajo flujo de vapor con o sin excitación (flujo menor del mínimo necesario para tomar carga).
5. Energización accidental estando a baja velocidad o en reposo.

(CFE, 2013)

### ***Disturbios producidos por la fallas.***

Al ocurrir la motorización del generador eléctrico se pueden presentar las siguientes condiciones:

1. Asumiendo que la excitación es adecuada, el generador operará como motor síncrono y girando a la turbina.

El generador no será dañado por motorización síncrona, pero si ésta ocurre como resultado de falla en la secuencia completa de disparo, entonces la protección de la falla que originó el disparo, se pierde y la turbina puede ser dañada por sobrecalentamiento durante la motorización.

2. Si la excitación del campo del generador se pierde junto con el flujo de vapor, el generador eléctrico operará como un motor de inducción girando a la turbina.

Además de un posible daño en la turbina, el generador producirá corrientes de desplazamiento en el rotor, pudiendo causarle sobrecalentamiento al mantenerse por tiempo prolongado.

3. Un tercer tipo de motorización ocurre cuando el generador es accidentalmente energizado estando a baja velocidad. En este caso se comportará y acelerará como motor de inducción, durante este período de aceleración, se inducirán altas corrientes al rotor y el tiempo para daño del generador, es del orden de pocos segundos.
4. Una indicación de que el generador esta motorizado, se puede obtener del indicador de potencia reactiva (MVAR), los cuales en este caso serán reactivos entrando. (CFE, 2013)

### ***Acciones a tomar.***

1. Cuando la motorización es debido a una sincronización sin toma de carga, se deberá abrir las válvulas de control de vapor de la turbina, hasta alcanzar aproximadamente el 5% (300Kw) de la carga nominal del

generador. Verificar que la temperatura en el escape de la turbina, se mantenga dentro de valores normales. Revisar también la operación automática del rocío al escape de la turbina.

2. Cuando el generador está sincronizado con el generador de vapor disparado y ya no sea posible suministrar vapor para tomar carga, se deberá abrir inmediatamente el interruptor de máquina, de no ser posible esta maniobra por algún desperfecto en dicho elemento, se deberá aislar el bus completo a donde está conectada la unidad en cuestión, según sea el arreglo de la subestación. Tratando en primer término de proteger la unidad motorizada, pero cuidando de no disparar unidades que puedan ser cambiadas de bus, con el fin de provocar los menos disturbios posibles al sistema.
3. Cuando la motorización sea por energización accidental, deberá de abrirse inmediatamente el interruptor de máquina, se revisarán los valores de temperatura en el generador, especialmente en el rotor, si se encuentra valores fuera del límite de operación, se deberá sacar de servicio el generador para revisión.
4. Cuando la motorización se deba a pérdida súbita de excitación, el generador deberá desconectarse del sistema inmediatamente y revisar temperaturas en el generador para detectar cualquier posible daño, procediendo como en el punto anterior. (CFE, 2013)

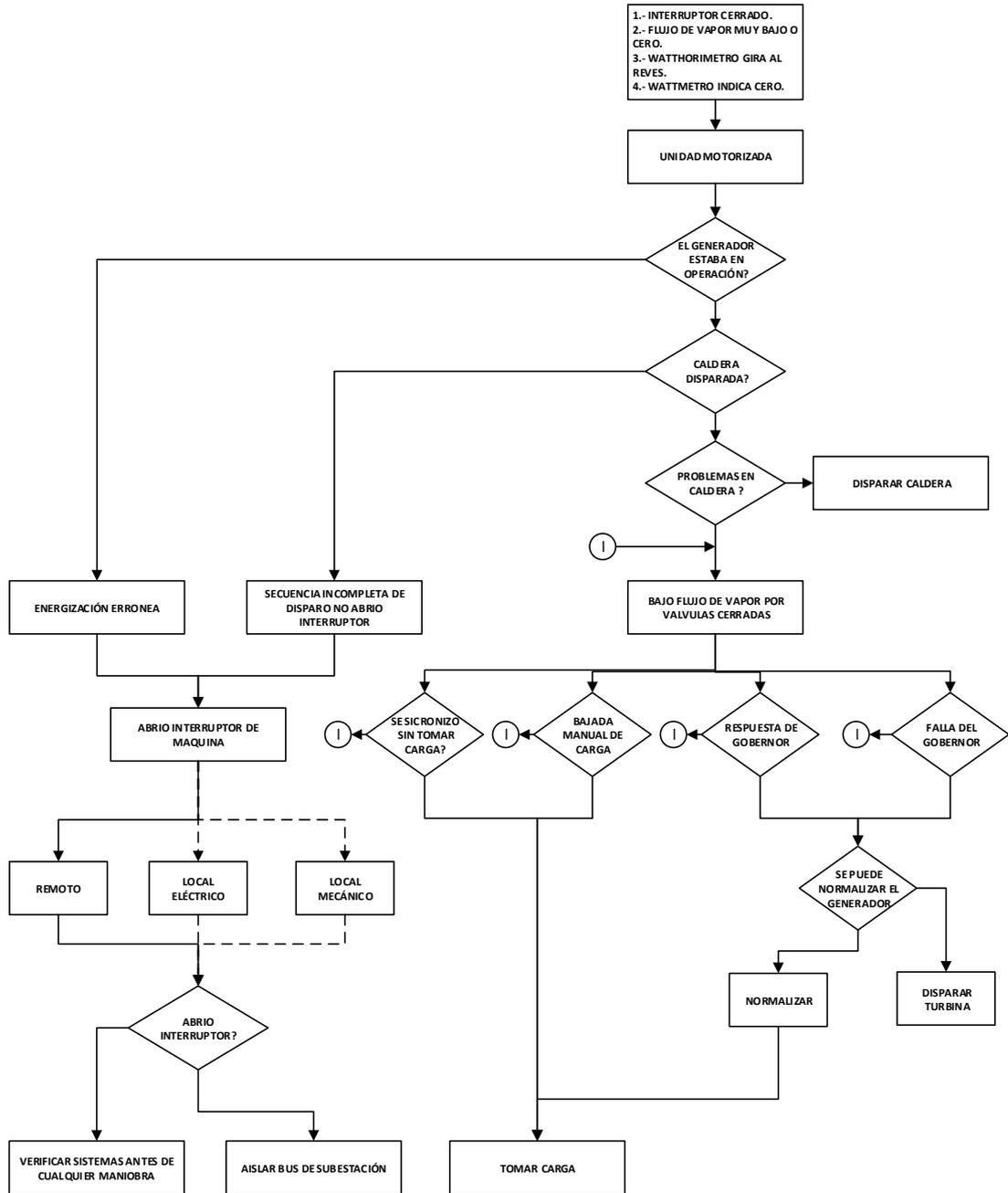
### ***Medidas preventivas.***

1. Contar con procedimientos de sincronización y desincronización de la o las unidades en la sala de control y supervisar que se cumplan.

Cuando en la unidad se está bajando carga para ponerla fuera de servicio, se deberá observar cuidadosamente el indicador de MW (Potencia activa) y al momento de llegar a cero MW, observar el vatímetro, hasta que este se detenga o bajar la potencia hasta tener una carga pequeña 2% de la carga nominal (120Kw), proceder a abrir el interruptor de máquina.

2. Contar con el relé de protección de potencia inversa, calibrados y probados adecuada y sistemáticamente.
3. Instalar relé de protección por falla de apertura de interruptor. El cual funciona a raíz de detectar falla en la apertura de una o varias fases del interruptor de línea o de máquina después de haber recibido esta señal de disparo, y de transcurrir un tiempo razonable. Mandando a su vez señal de disparo a todos los interruptores del bus que puedan alimentar corriente eléctrica al generador a través del interruptor con falla.
4. El sistema de voltaje de corriente directa, deberá ser supervisado con especial atención por los departamentos de mantenimiento y operación, ya que la falla de este sistema pone en peligro la integridad de la planta, pues en ese caso no se contaría con alarmas, señalización de equipos, algunas señales de control y los elementos como interruptores que se operen a control remoto, sería imposible manejarlos de la sala de control
5. Mientras la unidad esté fuera de servicio y hasta antes de sincronizarla, se deberá tener extraído el interruptor de máquina con el fin de evitar una energización accidental. (CFE, 2013)

## DIAGRAMA DE FLUJO DE FALLA MOTORIZACIÓN DEL GENERADOR ELÉCTRICO.



## **CAPÍTULO 4: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **4.1. Conclusiones.**

Luego del análisis de las fallas operativas en el generador de vapor expuestas en este trabajo de titulación se debe observar las siguientes conclusiones para evitar que estas sean recurrentes :

1. El procedimiento de encendido del generador de vapor se debe realizar cumpliendo con lo establecido por el fabricante.
2. Durante los procesos de encendido y calentamiento del generador de vapor; el incremento de temperatura del metal de los elementos de vaporización y sobrecalentamiento deben permanecer dentro de los límites establecidos.
3. Siempre deberá haber un flujo uniforme de vapor a través de los elementos del sobrecalentador , ya que los refrigera y evita que se fatigen.
4. Realizar un control adecuado del tratamiento químico del agua de alimentación para evitar incrustaciones y eliminar la corrosión.
5. Tratar de realizar una operación con buena combustión para evitar la formación de incombustos y gases corrosivos.
6. En lo posible controlar las sobrepresiones para que no se acumulen los esfuerzos mecánicos en los elementos del generador de vapor.
7. Evitar la operación prolongada de la unidad en cargas debajo de las mínimas recomendadas.
8. Mantener un flujo mínimo uniforme de agua a través del economizador en el arranque y calentamiento del generador de vapor, mediante la operación adecuada para evitar el sobrecalentamiento del tubo.
9. Realizar monitoreos y registros periódicos de parámetros eléctricos del motor del ventilador de tiro forzado y bomba de agua de alimentación.
10. Realizar monitoreos y registros periódicos de vibraciones de la bomba de agua de alimentación y ventilador de tiro forzado.

11. Mantener siempre disponible el automatismo de la bomba de reserva de agua de alimentación.

En la turbina después de realizar el análisis de las fallas operativas expuestas en el trabajo de titulación se concluye que se debe observar las siguientes conclusiones para evitar que estas sean recurrentes:

1. Mantener dentro de los valores operativos la temperatura y la presión de vapor en los arranques y paradas de turbina.
2. Llevar un control químico adecuado del vapor de entrada a la turbina a fin de evitar los altos contenidos de sílice, los que producen depósitos en los álabes del rotor y como consecuencia un desplazamiento hacia la chumacera de empuje de este.
3. Operar siempre con presiones dentro de los límites especificados por el fabricante.
4. No operar con altas temperaturas de aceite de lubricación, ya que esto produce el desgaste acelerado de los cojinetes.
5. Realizar monitoreo y registro rutinario de los parámetros eléctricos del motor de la bomba de condensado
6. Realizar medición y registro periódico de vibraciones de la turbina y bombas de condensado.
7. Mantener siempre disponible el automático la bomba de condensado de reserva.
8. Realizar control químico del agua de condensado y mantener los parámetros dentro de los valores establecidos.
9. Realizar el control químico del agua de la piscina de las torres de enfriamiento (sistema de circulación).

Y finalmente en el generador eléctrico después del análisis de la falla operativa expuesta en el trabajo de titulación se concluye que se debe observar:

1. Contar con procedimientos específicos de sincronización y salida de paralelismo con la red de la o las unidades en la sala de control y supervisar que se cumplan.
2. Contar con que los relés de protección de potencia inversa, se encuentren calibrados y probados adecuada y sistemáticamente.
3. Habilitar relé de protección por falla de apertura de interruptor.
4. Llevar el monitoreo sistemático de tensión segura y de corriente directa para control, ya que la falla de este sistema pone en peligro la integridad de la planta, pues en ese caso no se contaría con alarmas, señalización de equipos, algunas señales de control y los elementos como interruptores que se operen a control remoto, sería imposible manejarlos de la sala de control
5. Mientras la unidad esté fuera de servicio en mantenimiento y hasta antes de sincronizarla, se deberá tener extraído el interruptor de máquina con el fin de evitar una energización accidental.

## **4.2. Recomendaciones.**

- a. Capacitación específica para el personal de operación de la planta de generación eléctrica a vapor.
- b. Mejoramiento continuo de los procedimientos operativos aplicados en el manejo de los equipos principales y sus auxiliares.
- c. Realizar el análisis de las fallas que en un futuro se llegaran a presentar y socializarlas entre el personal de operación.
- d. Llevar un archivo histórico de las fallas que se vayan presentando para su estudio y mejoramiento de procedimientos.
- e. Realizar diariamente el análisis y las tendencias de los principales parámetros operativos de la planta de generación eléctrica de vapor.
- f. Efectivizar el mantenimiento preventivo de los equipos y sistemas auxiliares de la planta de generación .
- g. Tener un stock adecuado de repuestos de los equipos principales y sus auxiliares para evitar paradas de tiempo extenso de la planta de generación eléctrica.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- CFE, C. d. (Feb de 2012). *Introducción a Centrales Termoeléctricas*. México. Obtenido de <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/8477>
- CFE, C. d. (2013). *Análisis y Descripción de Fallas*. México.
- CICA, R. A.-M. (2010). *Centrales Eléctricas*. Obtenido de <https://thales.cica.es/rd/Recursos/rd99/ed99-0226-01/capitulo7.html>
- ENDESA. (2012). *Generadores Eléctricos*. Obtenido de [http://www.endesaeduca.com/Endesa\\_educa/recursos-interactivos/conceptos-basicos/v.-funcionamiento-basico-de-generadores](http://www.endesaeduca.com/Endesa_educa/recursos-interactivos/conceptos-basicos/v.-funcionamiento-basico-de-generadores)
- Petroamazonas. (2012). *Planta de Generación Eléctrica de Vapor*. El Coca. Obtenido de <http://ing.unne.edu.ar/pub/fisica3/170308/teo/teo7.pdf>
- Petroamazonas. (2015). *Planta de Generación Eléctrica de Vapor*. El Coca.
- Petroamazonas. (2016). *Filosofía de operación y control de una planta de generacion*. El coca. Obtenido de [http://cms.colegiomedico.cl/Magazine%5C2004%5C44%5C4%5C44\\_4\\_5.pdf](http://cms.colegiomedico.cl/Magazine%5C2004%5C44%5C4%5C44_4_5.pdf)
- Petroamazonas. (2016). *Planta de Generación Eléctrica de Vapor*. El Coca.
- RENOVETEC. (2013). *Turbinas de Vapor*. Obtenido de <http://www.turbinasdevapor.com/index.php/component/content/category/1-1-tipos-y-elementos-turbinas>
- Slideshare-ErickJimenez. (10 de Junio de 2011). *Slideshare-Cabon y Petroleo*. Obtenido de <http://image.slidesharecdn.com/carbonypetroleo-110610020023-phpapp01/95/carbon-y-petroleo-11-728.jpg?cb=1307671317>
- TEXTLAB, M. G. (2011). *TEXTLAB*. Obtenido de <http://textlab.io/doc/4927468/cd-3811.pdf>
- UCSG, A. V. (2014). *Repositorio UCSG*. Obtenido de <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/1771/1/T-UCSG-PRE-TEC-IEM-18.pdf>



## DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Navarrete Carpio, Iván Andrés**, con C.C: # 0927148783 autor/a del trabajo de titulación: **“Análisis de fallas operativas en los principales equipos en el proceso de generación de una central termoeléctrica”** previo a la obtención del título de **INGENIERO EN ELÉCTRICO MECÁNICA** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, 16 de Septiembre del 2016

f. \_\_\_\_\_

Nombre: Navarrete Carpio, Iván Andrés

C.C: 0927148783



## REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

### FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

<b>TÍTULO Y SUBTÍTULO:</b>	Análisis de fallas operativas en los principales equipos en el proceso de generación de una central termoeléctrica.		
<b>AUTOR(ES)</b> (apellidos/nombres):	Navarrete Carpio, Iván Andrés		
<b>REVISOR(ES)/TUTOR(ES)</b> (apellidos/nombres):	Hidalgo Aguilar, Jaime Rafael		
<b>INSTITUCIÓN:</b>	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
<b>FACULTAD:</b>	Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo		
<b>CARRERA:</b>	Ingeniería en Eléctrico Mecánica		
<b>TÍTULO OBTENIDO:</b>	Ingeniero en Eléctrico Mecánica		
<b>FECHA DE PUBLICACIÓN:</b>	16 de septiembre del 2016	<b>No. DE PÁGINAS:</b>	84
<b>ÁREAS TEMÁTICAS:</b>	Centrales Termoeléctricas, Análisis de fallas, Procesas de Generación		
<b>PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:</b>	CALDERAS, TURBINAS, GENERADORES ELÉCTRICOS, FALLAS OPERATIVAS, PROCESOS DE GENERACIÓN, CAUSAS DE FALLAS		
<b>RESUMEN/ABSTRACT</b> (150-250 palabras):			
<p>En el presente trabajo de investigación se explica de forma minuciosa los diferentes tipos de fallas que pueden presentarse en los principales equipos de una central termoeléctrica debido a la mala ejecución de procedimientos y maniobras en la operación de los equipos al realizar el proceso de generación ya que estas fallas por mala operación pueden llegar a generar pérdidas económicas. Se efectuó una visita a la central de generación termoeléctrica del Bloque 18 Palo Azul (El Coca-Ecuador), quienes están encargados de realizar el proceso de generación cuyo objetivo es entregar un flujo de energía eléctrica de forma continua para los diversos procesos que se realizan dentro del Bloque 18 Palo Azul (El Coca-Ecuador), en el recorrido a la central termoeléctrica logré evidenciar los problemas que causan las fallas en la mala operación de los equipos y las medidas que se deben de tomar cuando se presentan las fallas. Para el desarrollo del tema y con la ayuda de personal especializado de la central termoeléctrica Bloque 18 Palo Azul (El Coca-Ecuador) logré identificar las fallas más comunes en los elementos que conforman la caldera, turbina y generador eléctrico para así realizar un análisis de las causas de las fallas, los disturbios producidos por las fallas, las medidas preventivas y las acciones que debemos tomar para no causar paros en los equipos y evitar pérdidas económicas.</p>			
<b>ADJUNTO PDF:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
<b>CONTACTO CON AUTOR/ES:</b>	<b>Teléfono:</b> +593-4-4505635 / 0988723129	E-mail: <a href="mailto:ivan.navarrete@cu.ucsg.edu.ec">ivan.navarrete@cu.ucsg.edu.ec</a> / <a href="mailto:ianc_87@hotmail.com">ianc_87@hotmail.com</a>	
<b>CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN: COORDINADOR DEL PROCESO DE UTE</b>	<b>Nombre:</b> Philco Asqui, Luis Orlando		
	<b>Teléfono:</b> 0980960875		
	E-mail: <a href="mailto:orlando.philco@cu.ucsg.edu.ec">orlando.philco@cu.ucsg.edu.ec</a>		

### SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA

<b>Nº. DE REGISTRO (en base a datos):</b>	
<b>Nº. DE CLASIFICACIÓN:</b>	
<b>DIRECCIÓN URL (tesis en la web):</b>	