



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Mecánica

**MONTAJE DE UN TURBOGENERADOR DE CONTRAPRESIÓN DE 22 MW PARA  
ASEGURAR LA CONTINUIDAD DE OPERACIÓN DEL INGENIO LA UNIÓN**

**Amilcar Estuardo Velásquez Alonzo**

Asesorado por el Ing. Carlos Aníbal Chicojay Coloma

Guatemala, febrero de 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**MONTAJE DE UN TURBOGENERADOR DE CONTRAPRESIÓN DE 22 MW PARA  
ASEGURAR LA CONTINUIDAD DE OPERACIÓN DEL INGENIO LA UNIÓN**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**AMILCAR ESTUARDO VELÁSQUEZ ALONZO**  
ASESORADO POR EL ING. CARLOS ANÍBAL CHICOJAY COLOMA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO MECÁNICO**

GUATEMALA, FEBRERO DE 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodriguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Narda Lucía Pacay Barrientos
VOCAL V	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Carlos Aníbal Chicojay Coloma
EXAMINADOR	Ing. Byron Geovanni Palacios Colindres
EXAMINADOR	Ing. Carlos Humberto Figueroa Vásquez
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

### **MONTAJE DE UN TURBOGENERADOR DE CONTRAPRESIÓN DE 22 MW PARA ASEGURAR LA CONTINUIDAD DE OPERACIÓN DEL INGENIO LA UNIÓN**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha 04 de octubre de 2013.

**Amilcar Estuardo Velásquez Alonzo**



Guatemala, 17 de noviembre de 2014  
REF.EPS.DOC.1138.11.14.

Ing. Silvio José Rodríguez Serrano  
Director Unidad de EPS  
Facultad de Ingeniería  
Presente

Estimado Ingeniero Rodríguez Serrano.

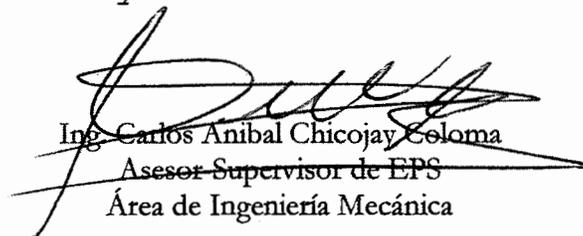
Por este medio atentamente le informo que como Asesor-Supervisor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), del estudiante universitario **Amilcar Estuardo Velásquez Alonzo** de la Carrera de Ingeniería Mecánica, con carné No. 200714532, procedí a revisar el informe final, cuyo título es **MONTAJE DE UN TURBOGENERADOR DE CONTRAPRESIÓN DE 22 MW PARA ASEGURAR LA CONTINUIDAD DE OPERACIÓN DEL INGENIO LA UNIÓN.**

En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"

  
Ing. Carlos Anibal Chicojay Coloma  
Asesor-Supervisor de EPS  
Área de Ingeniería Mecánica

c.c. Archivo  
CACC/ra





Guatemala, 17 de noviembre de 2014  
REF.EPS.D.680.11.14

Ing. Julio César Campos Paiz  
Director Escuela de Ingeniería Mecánica  
Facultad de Ingeniería  
Presente

Estimado Ingeniero Campos Paiz:

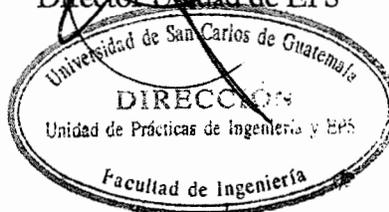
Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado: **MONTAJE DE UN TURBOGENERADOR DE CONTRAPRESIÓN DE 22 MW PARA ASEGURAR LA CONTINUIDAD DE OPERACIÓN DEL INGENIO LA UNIÓN**, que fue desarrollado por el estudiante universitario **Amilcar Estuardo Velásquez Alonzo** quien fue debidamente asesorado y supervisado por el Ingeniero Carlos Anibal Chicojay Coloma.

Por lo que habiendo cumplido con los objetivos y requisitos de ley del referido trabajo y existiendo la aprobación del mismo por parte del Asesor - Supervisor de EPS, en mi calidad de Director apruebo su contenido solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,  
"Id y Enseñad a Todos"

Ing. Silvio José Rodríguez Serrano  
Director Unidad de EPS



SJRS/ra



**USAC**

TRICENTENARIA

Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.E.I.Mecanica.045.2015

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Supervisor, con la aprobación del Director del Departamento de EPS, del trabajo de graduación titulado **MONTAJE DE UN TURBOGENERADOR DE CONTRAPRESIÓN DE 22 MW PARA ASEGURAR LA CONTINUIDAD DE OPERACIÓN DEL INGENIO LA UNIÓN**. Del estudiante **Amilcar Estuardo Velásquez Alonzo**, procede a la autorización del mismo.

*"Id y Enseñad a Todos"*

MA. Ing. Julio Cesar Campos Paiz  
Director  
Escuela de Ingeniería Mecánica

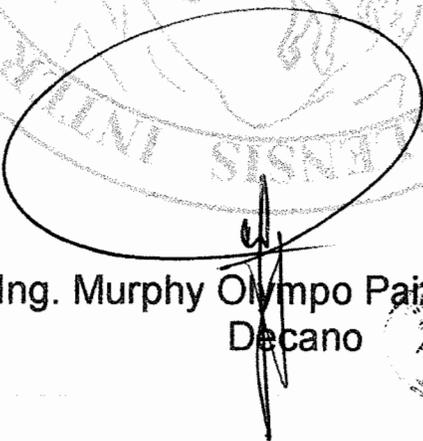


Guatemala, febrero de 2015.



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, al trabajo de graduación titulado: **MONTAJE DE UN TURBOGENERADOR DE CONTRAPRESIÓN DE 22 MW PARA ASEGURAR LA CONTINUIDAD DE OPERACIÓN DEL INGENIO LA UNIÓN**, presentado por el estudiante universitario: **Amilcar Estuardo Velásquez Alonzo**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

  
Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos  
Decano



Guatemala, febrero de 2015

/cc

## **ACTO QUE DEDICO A:**

- Dios** Por sus bendiciones, su infinito amor, luz y fortaleza en el tiempo que me ha concedido de vida.
- Mis padres** José Amílcar Velásquez y Vicky Alonzo de Velásquez, por todo su amor, su apoyo, consejos, ayuda y enseñanzas brindadas para poder alcanzar esta meta.
- Mis hermanos** Pablo José Velásquez Alonzo y Carlos Alberto, por los momentos en los que han estado a mi lado, y toda su ayuda y colaboración en todas las etapas de mi vida.
- Mi novia** Por su amor, apoyo y comprensión durante el tiempo que hemos compartido y disfrutado juntos.
- Mi familia** Mis abuelos y abuelas, tíos, tías y primos, por su apoyo, consejos, colaboración y ayuda a lo largo del camino de mi vida.

**Mis amigos y  
compañeros**

Por todas las experiencias, tanto académicas  
como fraternales en los años que compartimos  
en las aulas.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

**Universidad de San  
Carlos de Guatemala**

Por ser mi casa alma máter de formación académica y abrirme las puertas en el área profesional.

**Facultad de Ingeniería**

Por ser la casa de estudios que me brindó todos los conocimientos adquiridos durante mi carrera.

**Ingenio La Unión**

Por brindarme la oportunidad de realizar con éxito todas las actividades que fueron necesarias para realizar este trabajo de graduación.

**Jefes del Área de  
Cogeneración**

Por el apoyo logístico, académico y económico que me brindaron durante el tiempo que estuve en sus instalaciones.

**Colaboradores del Área  
de Cogeneración**

Por compartir conmigo sus experiencias laborales y conocimientos técnicos en cada una de sus áreas específicas.

**Colaboradores que  
participaron en el  
montaje del equipo**

Por la ayuda proporcionada en todas las actividades que llevaron a concluir con éxito el montaje del nuevo turbogenerador.

**Ingeniero Carlos  
Chicojay**

Por su ayuda y asesoramiento en la realización  
de este trabajo de graduación.



	2.1.3.1.	Selección del lugar .....	15
	2.1.3.2.	Fabricación de la base.....	16
	2.1.3.3.	Ubicación y capacidad de la grúa .....	16
	2.1.3.4.	Ubicación de los equipos .....	17
	2.1.4.	Descripción del cálculo de una cimentación .....	17
2.2.		Turbinas de vapor .....	21
	2.2.1.	Principio de funcionamiento de una turbina de vapor .....	21
	2.2.2.	Partes de una turbina de vapor.....	22
	2.2.2.1.	Partes principales .....	22
	2.2.2.2.	Equipo auxiliar de una turbina de vapor .....	22
	2.2.3.	Tipos de turbinas de vapor .....	27
	2.2.4.	Usos de las turbinas de vapor .....	30
2.3.		Generadores eléctricos .....	34
	2.3.1.	Funcionamiento de un generador eléctrico.....	34
	2.3.2.	Partes de un generador eléctrico.....	35
	2.3.3.	Tipos de generadores eléctricos.....	37
	2.3.4.	Usos de un generador eléctrico .....	39
2.4.		Definición de una unidad de turbogenerador .....	39
2.5.		Usos de un turbogenerador.....	40
3.		FASE DE INVESTIGACIÓN.....	41
	3.1.	Análisis de la situación energética actual .....	41
	3.1.1.	Análisis del uso del vapor .....	41
	3.1.2.	Análisis del uso de la energía eléctrica.....	42
	3.1.3.	Análisis del uso del agua .....	43
	3.1.3.1.	Agua de imbibición .....	43
	3.1.3.2.	Agua de lavado.....	43

3.1.3.3.	Agua de enfriamiento del turbogenerador.....	44
3.2.	Análisis del ahorro en el consumo de energía eléctrica turbogenerador 7 <i>versus</i> turbogeneradores 3 y 5 .....	45
3.3.	Descripción del problema .....	49
3.4.	Inducción a las actividades de mantenimiento .....	50
3.4.1.	Mantenimiento de los turbogeneradores .....	50
4.	FASE DE SERVICIO TÉCNICO PROFESIONAL.....	53
4.1.	Montaje de un turbogenerador.....	53
4.1.1.	Preparación del terreno para la cimentación .....	53
4.1.1.1.	Selección del terreno.....	53
4.1.1.2.	Excavación y acciones previas a la cimentación.....	54
4.1.2.	Construcción de la base del turbogenerador.....	57
4.1.3.	Montaje de la turbina.....	61
4.1.3.1.	Actividades previas al montaje .....	61
4.1.3.2.	Montaje del bancazo con la turbina .....	65
4.1.4.	Montaje de la caja reductora .....	68
4.1.4.1.	Actividades previas al montaje de la caja reductora .....	68
4.1.4.2.	Montaje de la caja reductora sobre su base .....	70
4.1.5.	Montaje del generador .....	71
4.1.5.1.	Actividades previas al montaje del generador.....	71
4.1.5.2.	Montaje del bancazo del generador .....	72
4.1.6.	Montaje del sistema de lubricación del turbogenerador .....	73

4.1.7.	Montaje del condensador <i>gland condenser</i> .....	79
4.1.8.	Instalación y fabricación de tuberías del sistema de enfriamiento.....	80
4.1.9.	Instalación y fabricación de tuberías del condensador.....	81
4.2.	Alineación entre turbina-reductor.....	82
4.3.	Alineación entre reductor-generador .....	84
4.4.	Acoplamiento del sistema turbina generador.....	86
4.5.	Pruebas del sistema de lubricación .....	87
4.6.	Soplado de la línea de admisión de vapor .....	90
4.7.	Instalación de la válvula de emergencia <i>stop valve</i> .....	95
5.	FASE DE DOCENCIA.....	97
5.1.	Inducción a las actividades de operación del sistema turbina generador.....	97
5.1.1.	Inducción al proceso de arranque.....	97
5.1.2.	Inducción a las actividades y controles en operación .....	100
5.1.3.	Inducción a las diferentes alertas de los sistemas de protección.....	101
5.2.	Inducción a las actividades de mantenimiento.....	105
5.2.1.	Mantenimiento de la turbina .....	105
5.2.1.1.	Mantenimiento de los sistemas y equipos auxiliares .....	105
5.2.1.2.	Mantenimiento del sistema de lubricación .....	107
5.2.1.3.	Mantenimiento del rotor de la turbina .	109
5.2.1.4.	Mantenimiento del sistema de entrada y salida de vapor.....	111

5.2.1.5.	Mantenimiento del bancazo de la turbina .....	112
5.2.2.	Mantenimiento del generador.....	113
5.2.2.1.	Mantenimiento del estator .....	113
5.2.2.2.	Mantenimiento del rotor.....	114
5.2.2.3.	Mantenimiento de los componentes auxiliares .....	116
5.2.2.4.	Mantenimiento de los sistemas de control y monitoreo.....	118
5.2.2.5.	Mantenimiento del bancazo del generador.....	118
5.2.2.6.	Mantenimiento del sistema de refrigeración del generador .....	119
CONCLUSIONES .....		121
RECOMENDACIONES.....		123
BIBLIOGRAFÍA.....		125



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Organigrama generación.....	5
2.	Gráfico de plasticidad para el SUCS .....	14
3.	Excavación del terreno .....	55
4.	Aplicación de la capa de rocas y arena volcánica .....	55
5.	Compactado del selecto y nivelación .....	56
6.	Fundición de la primera etapa de la base.....	58
7.	Elaboración de la segunda etapa de la base.....	59
8.	Vista de la base del reductor y generador, respectivamente .....	60
9.	Superficie de la base de la turbina después del <i>chipping</i> .....	61
10.	Platina de la turbina con sus tres placas de apoyo .....	62
11.	Nivelación de las platinas empleando un nivel óptico y un estadal .....	64
12.	Base de la turbina con sus platinas fundidas con el <i>grout</i> .....	65
13.	Bancazo de la turbina, sobre dos platina de alineación al momento de colocar el tornillo de anclaje .....	67
14.	Instante en el que la caja reductora es trasladada a su base .....	69
15.	Nivelación de las platinas del generador .....	72
16.	Generador eléctrico al momento de apoyarlo sobre su base.....	73
17.	Ubicación de las plantillas del tanque de aceite sobre su base .....	74
18.	Tubería de lubricación del aceite de retorno con sus cargadores .....	77
19.	Brida de la tubería de lubricación, después de haber sido rematada.....	78
20.	Vista del <i>gland condenser</i> situado sobre su base.....	79
21.	Fabricación de la tubería de agua de enfriamiento .....	80

22.	Varilla calibrada y micrómetro para interiores .....	83
23.	Medición de la excentricidad entre reductor y generador, con el comparador ubicado en posición horizontal .....	85
24.	Apriete de los tornillos de las bridas entre generador y reductor, con su respectivo torquímetro ya calibrado .....	87
25.	Filtro provisional de aceite, utilizado en la limpieza del sistema de lubricación .....	89
26.	Apertura de la válvula principal de vapor de admisión .....	91
27.	Cambio del testigo en la tubería de soplado .....	92
28.	Comparación de los primeros seis soplados .....	94
29.	Testigo número 65, aprobado por el técnico de <i>shin nippon</i> .....	94
30.	Instalación de la válvula de emergencia <i>stop valve</i> .....	95

## TABLAS

I.	Sistema unificado de clasificación de los suelos SUCS .....	13
II.	Equipos auxiliares del turbogenerador 7 .....	46
III.	Equipos auxiliares de los turbogeneradores 3 y 5.....	46
IV.	Consumo de energía eléctrica de los elementos auxiliares del turbogenerador 7 .....	47
V.	Consumo de energía eléctrica de los elementos auxiliares de los turbogeneradores 3 y 5.....	48
VI.	Ahorro en el consumo de energía eléctrica.....	49
VII.	Temperatura y resistencia eléctrica del aislamiento del generador ....	113

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>A</b>	Amperios
<b>AC</b>	Corriente alterna
<b>DC</b>	Corriente directa
<b>fem</b>	Fuerza electromotriz
<b>GΩ</b>	Giga ohmios
<b>IJT</b>	Isgec John Thompson, fabricante de calderas
<b>Kpa</b>	Kilo pascales
<b>KW</b>	Kilowatts
<b>KW/tc</b>	Kilowatts por tonelada de caña
<b>lb</b>	Libras
<b>lb/h</b>	Libras por hora
<b>psia</b>	Libras por pulgada cuadrada absoluta
<b>Psig</b>	Libras por pulgada cuadrada relativa
<b>MW</b>	Mega watts
<b>No</b>	Número
<b>TIG</b>	Soldadura de tungsteno y gas inerte
<b>Ton</b>	Tonelada
<b>TG</b>	Turbogenerador
<b>TG5</b>	Turbogenerador cinco
<b>TG4</b>	Turbogenerador cuatro
<b>TG2</b>	Turbogenerador dos
<b>TG6</b>	Turbogenerador seis
<b>TG7</b>	Turbogenerador siete

**TG3**

Turbogenerador tres

**TG1**

Turbogenerador uno

**V**

Voltio

## GLOSARIO

<b>Bancazo</b>	Estructura que contiene al estator y al rotor de una turbina, entre otros equipos auxiliares instalados en la turbina.
<b><i>Chipping</i></b>	Proceso en el cual se remueve la capa superficial que presenta una fundición del concreto, con el fin de poder colocar otros elementos que serán integrados junto con la fundición original.
<b><i>Coupling</i></b>	Brida que se encuentra en los lados de acople entre la turbina y la caja reductora, y entre el generador y la caja reductora, sirve también como referencia para los rotores de la turbina y el generador.
<b>Disparo</b>	Acción de protección del sistema del turbogenerador, que realiza deteniendo la función normal de este, regularmente cerrando la válvula de emergencia, evitando que se dañe el equipo.
<b><i>Grout</i></b>	Mortero especial que no tiene contracción positiva o negativa, utilizado en la industria de generación de energía eléctrica para fijar las platinas base de un turbogenerador.

<b><i>Isgec John Thompson</i></b>	Fabricante de calderas acuatubulares de vapor, cuya sede se encuentra en India.
<b><i>Mesh</i></b>	Tamaño del espacio por donde pasan las partículas en el tamiz.
<b>Reloj comparador</b>	Instrumento utilizado para medir la diferencia en la elevación, que existe entre dos puntos, uno fijo donde se apoya este instrumento y el punto móvil que consiste en una punta esférica al final de la carátula del instrumento.
<b>Soplado</b>	Proceso empleado para limpiar la tubería de admisión de vapor que consiste en hacer circular vapor con alta temperatura y presión, a gran velocidad a lo largo de la tubería de admisión de vapor.
<b><i>Stop valve</i></b>	Válvula de emergencia, también llamada de cierre rápido, que protege a la turbina de condiciones adversas para su funcionamiento.
<b>Testigo</b>	Sección de lámina de diferentes metales, que se coloca en la salida de la tubería de soplado, cuya función es evaluar el estado de la limpieza de la tubería, revisando la cantidad de impactos producidos por las partículas que el soplado arrastra.

***Turning gear***

Elemento de la turbina ubicado en la caja reductora, el cual, al ser accionado, permite que el turbogenerador gire lentamente.



## RESUMEN

Para el montaje de un turbogenerador desde que su base ya fuese creada, se debe tener en consideración aspectos como la existencia de una grúa que sea capaz de tolerar el peso, la accesibilidad de la base en donde ira el equipo, más las consideraciones de seguridad que conlleva la tarea de izar un equipo de este tamaño y peso.

Antes de izar y colocar los equipos se deben preparar y alinear todos los puntos donde se colocará posteriormente, nivelándolos según la altura que se indique en los planos o manuales del fabricante, ya nivelados se fijan, y así izar el equipo hacia su base.

Situado el turbogenerador sobre sus bases, hay que fijarlo en su lugar, para luego centrarlo y nivelarlo. Y así comenzar a dejar fijos los tres componentes de mayor relevancia por su ubicación física. Se deben tomar las acciones adecuadas para que los equipos no se desplacen de su posición de trabajo.

Con el equipo casi fijo se deben iniciar las tareas de alineación entre los tres componentes del turbogenerador: turbina, caja reductora, generador. Con estos componentes alineados correctamente, se pueden dejar completamente fijos los elementos previamente mencionados.

Al instalar todos los sistemas auxiliares de un turbogenerador, como los sistemas de lubricación y enfriamiento, estos deben de ser fabricados o modificados en el lugar donde se instalarán, debido a las diferentes longitudes entre cada uno de sus elementos.

Las acciones del montaje en sí concluyen con el acoplamiento de la turbina con la caja reductora y esta con el generador, teniendo en cuenta las sugerencias del fabricante para el espacio y el apriete de los pernos, y la instalación de las fundas de protección y lubricación que necesitan estos acoples.

Para iniciar con la fase de pruebas es necesario limpiar todas las tuberías del turbogenerador, haciendo circular flujo a través de ellas, con eso se arrastran todas las partículas contaminantes a lo largo de ellas. En todos los casos se necesitó de un elemento que indicase el estado de la limpieza.

La última etapa del montaje fueron las pruebas, en estas se determinó el estado de los diferentes sistemas de protección y los sistemas de control, ajustando estos últimos según fuese necesario. Con las pruebas concluidas con éxito se inició el arranque. Una vez que el turbogenerador alcanzó su velocidad de trabajo se sincronizó, concluyendo así el montaje de esta unidad.

## **OBJETIVOS**

### **General**

Incrementar la eficiencia energética del Ingenio La Unión mediante el montaje de un turbogenerador, del tipo contrapresión de 22 MW, para asegurar la continuidad de operación en el proceso de fabricación de los diferentes tipos de azúcar y mieles, y cubrir las nuevas necesidades de energía eléctrica procedentes del incremento en refinería.

### **Específicos**

1. Reducir el consumo de bunker en un ochenta por ciento en comparación con los galones consumidos en la zafra 2012-2013.
2. Reducir el consumo de energía eléctrica en un 40 por ciento con la puesta en marcha del turbogenerador de 22 MW.
3. Evitar paros innecesarios durante el tiempo de zafra debido a la edad de los equipos que actualmente se encuentran en operación.
4. Contar con equipo de respaldo en caso de que los turbogeneradores que se encuentren en operación tengan que ser detenidos por alguna emergencia.



## INTRODUCCIÓN

Las necesidades energéticas en el Ingenio La Unión, procedentes de la expansión de la fábrica, estaban rebasando la capacidad energética con la que se contaba, debido a ello surgió la necesidad de renovar la maquinaria existente, ya que la misma ha funcionado por muchos años y temporadas de zafra.

Una de las formas más efectivas de garantizar la matriz energética nueva, es con la incorporación de un equipo nuevo, el cual garantizará por un largo tiempo que el Ingenio continúe con sus operaciones en la producción de edulcorantes y energía eléctrica.

Para poder contar con un equipo nuevo es necesario seguir cuidadosamente los pasos para que el montaje sea exitoso, asegurando con esto la vida útil por largos años del turbogenerador, y también la vida de las personas que trabajarán en su operación o en los procesos que dependan de que este funcione adecuadamente.

El montaje en sí es un proceso, el cual debe seguirse cuidadosamente, ya que puede causar pérdidas materiales y humanas, una vez concluido el mismo se debe procurar extender la operación eficiente del turbogenerador prestándole la debida importancia a las tareas de su operación y mantenimiento.



# **1. INFORMACIÓN GENERAL DE LA FUENTE DE PRÁCTICA**

## **1.1. Nombre de la empresa**

Ingenio La Unión. S. A.

## **1.2. Ubicación**

Kilómetro 101,5 carretera a Cerro Colorado, finca Belén, Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla, Guatemala.

## **1.3. Historia**

El 24 de abril de 1950 se compró la finca Los Tarros y su anexo Las Marías, por José García Paniagua y su esposa Ana María Cottone, dedicándose a la producción de café pergamino, caña y panela, además de contar con ganado bovino. La finca Los Tarros, en su primera zafra, produjo en los años de 1958-1959 la cantidad de 12 000 quintales de azúcar. En la zafra posterior, 1959-1960 se produjeron 50 000 quintales de azúcar.

El Ingenio La Unión inició operaciones en los años de 1969-1970, en la finca Belén bajo el nombre de Rafael Minondo. En su primera zafra se produjeron 11 500 quintales de azúcar. En 1975 La Unión amplió sus operaciones tanto en campo como en las áreas de fábrica. En esa época los dos ingenios producían juntos un total de 1 millón de quintales de azúcar.

El sistema de transportación de caña denominado a granel fue programado, este consistió en llevar el producto en jaulas, cargadas por medio de grúas. La carretera pública de Santa Lucía a Los Tarros y dos carreteras internas hacia La Unión fueron asfaltadas. Cuando concluyó la zafra 1976-77, La Unión había superado en producción a Los Tarros, por 86 000 quintales.

En 1990, La Unión inició el Programa Comercial de Generación Eléctrica, con el propósito de producir electricidad para servicio público. Este incluyó el montaje de la planta eléctrica y la adaptación de la fábrica de azúcar para producir bagazo de caña, eficientemente.

Un nuevo registro histórico se logró durante la zafra 1991-92, cuando La Unión superó los dos millones de quintales de azúcar. En 1992, Los Tarros obtuvo un récord nacional de 229 libras de azúcar por tonelada de caña.

El 24 de abril de 1994, la Empresa Eléctrica de Guatemala (EEGSA) y el Ingenio La Unión firmaron un contrato de compraventa de energía eléctrica, mediante el sistema de cogeneración, que se basa en la quema de bagazo de caña como principal combustible para las calderas. La energía generada se transforma en energía mecánica y eléctrica por medio de turbogeneradores. La última es llevada a una subestación, donde se interconecta con la EEGSA.

En 1995 se inició esta cogeneración. La electricidad generada para la venta equivalía a la décima parte de la producción de la hidroeléctrica Chixoy, que era de 300 megavatios por hora.

La zafra 1994-95 significó para La Unión un nuevo hito histórico, al sobrepasar los 3,1 millones de quintales de azúcar producidos. En esa zafra, La Unión produjo y molió 12 por ciento de la caña de Guatemala, y fabricó 13,5 por ciento del total de azúcar del país, lo que le significó el primer lugar de rendimiento a nivel nacional.

La molienda alcanzó 1,4 millones de toneladas. Estos logros coincidieron con otro récord de productividad, pues se necesitaron solo 121 días para moler un millón de toneladas de caña. También, en 1995 se decidió suspender definitivamente el cultivo de café en la finca Los Tarros y fue ampliado el Ingenio La Unión, como parte del Plan Estratégico 1995-2000.

En la zafra 1996-97, La Unión rompió sus récords de caña molida y azúcar producida, que databan de la zafra 1994-95, al moler 1,7 millones de toneladas de caña y producir 3,7 millones de quintales de azúcar. En la zafra 1997-98, La Unión y Los Tarros produjeron, en conjunto, 5 millones de quintales, la mayor producción en su historia.

En 2001, La Unión empezó a administrar Los Tarros de tal forma, que ambos ingenios constituyeron administrativamente una sola empresa. Fue asfaltada por segunda vez la carretera interna de La Unión, vecina a la finca Tesalia, para transportar caña. Además, dio inicio un programa para aumentar la productividad en el área de agricultura fina.

En la zafra 2002-03, La Unión y Los Tarros produjeron en conjunto 4,6 millones de quintales de azúcar y molieron más de 2 millones de toneladas de caña, con un rendimiento promedio de 230,79 libras de azúcar por tonelada de caña.

Esta producción fue, en su momento, la tercera más alta en la historia de la empresa. En 2004, La Unión rompió todos sus récords de producción y logró su mejor y más grande zafra. De acuerdo con la calificación de CIASA, La Unión obtuvo el primer lugar entre los ingenios azucareros del país.

#### **1.4. Visión**

“Ser líderes en caña, azúcar y energía, trabajando en unión con excelencia para trascender al desarrollo de un mundo mejor”<sup>1</sup>.

#### **1.5. Misión**

“Somos una empresa agroindustrial comprometida a generar valor agregado para nuestros accionistas, colaboradores, clientes y demás grupos con quienes interactuamos. Creamos riqueza económica, social, laboral y ambiental para contribuir con un país más próspero y desarrollado”<sup>2</sup>.

#### **1.6. Valores**

- Responsabilidad
- Integridad
- Compromiso
- Respeto
- Trabajo en equipo
- Superación

---

<sup>1</sup> Ingenio La Unión.

<sup>2</sup> Ibid.





## **2. MARCO TEÓRICO**

### **2.1. Generalidades del montaje de equipo**

Para realizar un montaje exitoso debe conocerse qué tipo de suelo existe en el área seleccionada, con esta información se selecciona el tipo de cimentación adecuado, para realizar los cálculos necesarios y construir la cimentación donde el equipo montado.

#### **2.1.1. Tipos de suelo**

Existe una gran cantidad de suelos que se presentan naturalmente, debido a esto ha surgido la necesidad de desarrollar diversos métodos para clasificar los mismos, ya que según sean los diferentes puntos de vista y necesidades así serán sus sistemas de clasificación.

Lo fundamental en la clasificación de los suelos, desde el punto de vista de la ingeniería civil, es clasificar los mismos según sus propiedades mecánicas, ya que estas son fundamentales en las variadas aplicaciones de la ingeniería.

En el país se emplean los métodos que a continuación se indican: el sistema clasificación de los suelos American Association of State High-way and Transportation Officials (AASHTO), este sistema no se aplica en la construcción de cimentaciones, por lo cual se desarrollara únicamente el Sistema Unificado de Clasificación de los Suelos SUCS o USCS (Unified Soil Classification System), también denominado sistema de clasificación ASTM.

### **2.1.1.1. Sistema unificado de clasificación de los suelos SUCS**

Arthur Casagrande desarrolló la clasificación original en 1942, como herramienta para las construcciones diseñadas por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de Estados Unidos durante la Segunda Guerra Mundial. En 1952, junto con el U.S. Bureau Reclamation, revisó el sistema creado, y aun hoy es el sistema más utilizado por los ingenieros en la clasificación de los suelos.

La clasificación está basada en las propiedades de plasticidad y en el tamaño de grano, según este último, el sistema divide el suelo en dos categorías:

- Suelos de grano grueso (granulares): son aquellos materiales en los cuales el porcentaje retenido en la malla No. 200 es superior al 50 por ciento. Dentro de ellos están las fracciones de arena y grava, en estos suelos las propiedades físico-mecánicas son influenciadas notablemente por la distribución y tamaño del grano. El símbolo de cada grupo está formado por dos letras mayúsculas, que son las iniciales de los nombres ingleses de los suelos más comunes de este grupo. Como se especifica a continuación:
  - G: del término inglés *gravel*, fracción de suelo más grueso o de tamaño grava.
  - S: del término inglés *sand*, fracción del suelo con tamaño de grano comprendido entre malla No. 4 y No. 200.

Estos grupos se subdividen en cuatro tipos:

- Materiales prácticamente limpios de finos, bien gradados
  - ✓ W: del término inglés *well*, buena gradación del suelo, o sea que dentro de la masa del suelo existe mayoritariamente un tamaño de grano. En combinación con los símbolos anteriores se obtienen los grupos GW Y SW.
  
- Materiales prácticamente limpios de finos, mal gradados
  - ✓ P: del término inglés *poorly*, mala gradación. Significa que dentro de la masa de suelo existe una variedad en el tamaño de grano, aun cuando haya predominado uno de ellos, da lugar a los grupos GP y SP.
  
- Materiales con cantidad apreciable de finos no plásticos
  - ✓ M: del término sueco *mo*, fracción fina del suelo que no posee propiedades de plasticidad, o de tener, es muy baja. Da lugar a los grupos GM y SM.
  
- Materiales con cantidad apreciable de finos plásticos
  - ✓ C: del término inglés *clay*, fracción fina del suelo que posee propiedades de plasticidad. Da lugar a los grupos GC y SC.

- Suelos de grano fino: en este caso el sistema considera a los suelos agrupados, formándose el símbolo de cada grupo por dos letras mayúsculas, elegidas con un criterio similar al usado para los suelos gruesos y dando lugar a las siguientes divisiones:
  - Limos inorgánicos
    - M: del término sueco *mo*, fracción fina del suelo que no posee propiedades de plasticidad, o de tener, es muy baja.
  - Arcillas inorgánicas
    - C: del término inglés *clay*, fracción fina del suelo que posee propiedades de plasticidad.
  - Limos y arcillas orgánicas
    - O: del término inglés *organic*, define a los suelos que tiene propiedades orgánicas como turba. Suelos no aptos para ingeniería.

De estos tres tipos existen subdivisiones para cada uno de ellos, según su límite líquido, en dos grupos. Si este es menor al 50 por ciento, es decir de baja o media compresibilidad, se le agrega el símbolo genérico:

- ✓ L: del término inglés *low*, suelos con baja plasticidad, estos son aquellos donde  $LL < 50$ . De esta combinación se obtienen los grupos ML, CL Y OL.

Cuando los suelos son finos con un límite líquido mayor al 50 por ciento esto quiere decir de alta compresibilidad, llevan tras el símbolo genérico:

- ✓ H: del término inglés *high*, suelos con plasticidad alta, son donde  $LL > 50$ . Obteniéndose así los grupos MH, CH y OH.

Hay que notar que las letras L y H no se refieren su plasticidad, ya sea alta o baja, porque esta característica de los suelos se expresa en función de dos parámetros (IP Y LL), en este caso interviene únicamente el valor del límite líquido. En la tabla I se presentan los factores a considerar en la clasificación de un suelo de acuerdo con el Sistema Unificado de Clasificación de los Suelos (SUCS).

- Gravas o arenas son: GW, GP SW o SP, cuando menos del 5 por ciento del material pasa a través del tamiz No 200.
- Gravas y arenas son: GM, GC, SM o SC, si más del 12 por ciento del material pasa a través del tamiz No 200. Para designarlo limo o arcilla se determina luego de obtener los valores de los límites líquido y plástico de la parte más pequeña al tamiz No. 40. y utilizando los criterios de la carta de plasticidad de la figura 2.
- La clasificación para las gravas y arenas puede darse de la siguiente forma:

GW-GC	SW-SC	GP-GC	SP-SC
GW-GM	SW-SM	GP-GM	SP-SM

Si entre el 5 y 12 por ciento del material pasa a través del tamiz No. 200.(revise y así se encuentra en la fuente)

- Los suelos de grano fino (más del 50 por ciento pasa a través del tamiz No. 200) son, ML, OL o CL. Si los límites líquidos son menores al 50 por ciento.
- Los suelos de grano fino son: MH, OH o CH, si los límites líquidos son mayores al 50 por ciento. Los límites plástico y líquido se determinan sobre el material que corresponde a la fracción menor del tamiz No. 40 de todos los suelos, incluyendo arenas, gravas y suelos finos, usando procedimientos del ensayo del límite líquido y plástico. Estos límites son utilizados conjuntamente con la carta de plasticidad, determinando así el prefijo M, C, O, dependiendo de sus coordenadas de plasticidad del suelo dentro de la carta.

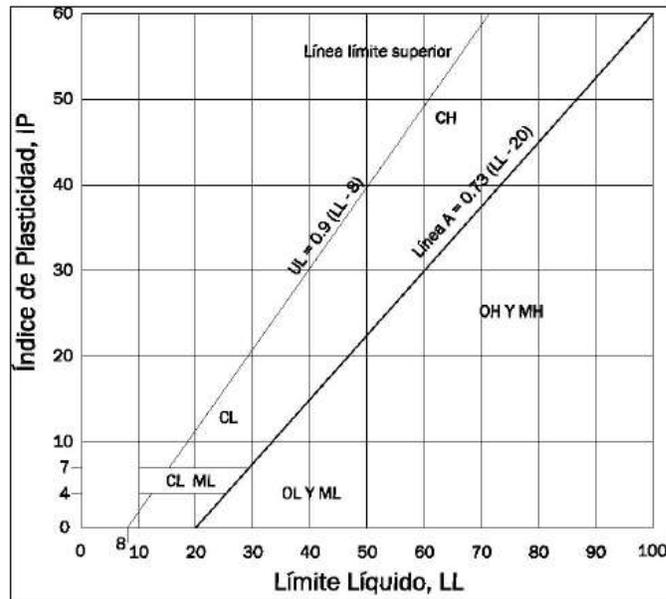
Para una descripción visual del suelo tiene que incluirse siempre el símbolo unificado, completando así la clasificación al igual que para el sistema de clasificación AASHTO. En la figura 2 se presenta la carta de plasticidad para el SUCS, este cuadro es contribución de Casagrande, a este sistema y la línea A encontrada en él, es conocida como la línea A de Casagrande. Debido a que no se han encontrado suelos con coordenadas superiores a las determinadas por la línea límite superior según las sugerencias del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos.

Tabla I. Sistema unificado de clasificación de los suelos SUCS

Divisiones Mayores		Simbolo de Grupo	Nombres Típicos	Criterios de clasificación para suelos granulares		
Suelos de grano grueso Si menos del 50% del material pasa el tamiz No. 200	Gravas Si menos del 50% de la fricción gruesa pasa por el tamiz No. 4)	GW	Gravas bien gradadas, mezclas gravosas, pocos o ningún fino	$C_u = D_{60}/D_{10} > 4$ $C_c = 1 < D_{30}^2/D_{10} \times D_{60} < 3$		
		GP	Gravas pobremente gradadas, mezclas grava-arena, pocos o ningún fino	No cumplir todos los requisitos de gradación para GW		
		GM	Gravas limosas, mezclas grava-arena-limo	Límites de Atterberg por debajo de la línea A o $IP < 4$	A los materiales sobre la línea A con $4 < IP < 7$ se considera de frontera y se les asigna doble símbolo	
	GC	Gravas arcillosas, mezclas grava-arena-arcillosas				Límites de Atterberg por encima de la línea A o $IP > 7$
	Arenas (Si más del 50% de la fricción gruesa pasa por el tamiz No. 4)	Arenas limpias (pocos o ningún fino)	SW	Arenas bien gradadas, arenas gravosas, pocos o ningún fino	$C_u = D_{60}/D_{10} > 6$ $C_c = 1 < D_{30}^2/D_{10} \times D_{60} < 3$	
			SP	Arenas pobremente gradadas, arenas gravosas, pocos o ningún fino	No cumplir todos los requisitos de gradación para SW	
Arenas con finos (cantidad apreciable de finos)		SM	Arenas limosas, mezclas arena-limo	Límites de Atterberg por debajo de la línea A o $IP < 4$	Si el material está en la zona sombreada con $4 \leq IP \leq 7$ se considera de frontera y se le asigna doble símbolo	
SC	Arenas arcillosas, mezclas arena-arcilla	Límites de Atterberg por encima de la línea A o $IP > 7$				
Suelos de grano fino Si más del 50% del material pasa el tamiz No. 200	Limos y arcillas (Límite Líquido $LL < 50$ )	ML	Limos inorgánicos y arenas muy finas, polvo de roca, arenas finas limosas o arcillosas, o limos arcillosos con poca plasticidad	1. Determinar el porcentaje de arenas y gravas de la curva de granulometría. 2. Dependiendo del porcentaje de finos (fracción menor que el tamiz No. 200) los suelos gruesos se clasifican como sigue: Menos del 5% -- GW, GP, SW, SP Más del 12% -- GM, GC, SM, SC De 5 a 12% -- Casos de frontera que requieren doble símbolo		
		CL	Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, arcillas gravosas, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas magras			
		OL	Limos orgánicos, arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad			
	Limos y arcillas (Límite Líquido $LL > 50$ )	MH	Limos inorgánicos, suelos limosos o arenosos finos micáceos o diatomáceos, suelos elásticos			
		CH	Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas grasas			
		OH	Arcillas orgánicas de plasticidad media a alta, limos orgánicos			
	Suelos altamente orgánicos	Pt	Turba y otros suelos altamente orgánicos			

Fuente: BOWLES. Joseph E. *Manual de laboratorio de suelos en ingeniería civil*. p. 74.

Figura 2. **Gráfico de plasticidad para el SUCS**



Fuente: BOWLES, Joseph E. *Manual de laboratorio de suelos en ingeniería civil*. p. 75.

## 2.1.2. Tipos de cimentaciones

En parámetros generales, las cimentaciones pueden ser clasificadas en dos grupos: cimentación directa y cimentación indirecta

### 2.1.2.1. Cimentación directa

Esta se caracteriza en que los elementos verticales de la superestructura se prolongan hasta el terreno de la cimentación, descansan sobre este por medio de su sección transversal ensanchada, de esta forma se logra reducir el esfuerzo unitario que se transmite al suelo. En este tipo de cimentación se puede agrupar a: las zapatas aisladas, las conectadas, las ligadas, cimentaciones por trabes y lozas de cimentación.

### **2.1.2.2. Cimentación indirecta**

Esta es la que se realiza por elementos intermedios como los pilotes, cilindros y cajones de cimentación, ya que el suelo resistente se encuentra a una gran profundidad.

### **2.1.3. Variables que influyen en el proceso del montaje de equipo**

Montaje es el proceso mediante el cual se emplaza cada elemento en su posición definitiva dentro de una estructura. Estas piezas pueden ser de diferentes materiales y tamaños. Suele desarrollarse en condiciones geográficas complejas o debe conectarse la nueva estructura con una ya existente, y con plazos bastante restringidos por los elevados montos de inversión comprometidos.

En el montaje de equipo influyen una serie de elementos, y estos varían según el tipo de equipo que se esté situando en su posición de trabajo, entre estos elementos se pueden mencionar los más generales:

#### **2.1.3.1. Selección del lugar**

Es la primera actividad que debe realizarse, ya que de esta dependen las demás, en esta se selecciona el terreno donde posteriormente se construirá la base, cuidando que este reúna las condiciones necesarias para que soporte el peso de la cimentación y la maquinaria. De no reunir las condiciones necesarias hay escoger otro terreno, si es posible; sino hay que reforzar el terreno disponible.

Además de contar con el espacio necesario para poder instalar todos los equipos y sus sistemas auxiliares, de contar con ellos, también es necesario que el acceso sea el adecuado para poder transportar lo que se va a instalar y posteriormente darle mantenimiento.

### **2.1.3.2. Fabricación de la base**

Estas actividades pueden ser consideradas desde la excavación para los cimientos, hasta la fundición del concreto. Posteriormente a la excavación se le aplica una primera capa de refuerzo con materiales más resistentes y sobre esta una segunda capa con materiales de grano fino. Luego se ensambla la estructura con acero corrugado, se hacen las columnas y las losas vertiendo concreto, y dejándolo fraguar.

Se debe considerar que las alturas de las mismas coincidan con las que se tengan en los planos, para evitar futuros problemas por una mala alineación entre los elementos de un equipo. Otro elemento de vital importancia es la ubicación adecuada de las líneas centrales de la base en conjunto así como de cada uno de sus elementos más pequeños.

### **2.1.3.3. Ubicación y capacidad de la grúa**

La grúa es el elemento encargado de ubicar el equipo que se desea montar desde el nivel donde se encuentra hasta el nivel en donde este mismo será ubicado, para la adecuada selección de una grúa hay que tener en cuenta el peso de las máquinas que esta moverá, y el espacio donde esta será ubicada, para que puede desplazarse libremente y con seguridad.

Existen elementos que conectan el extremo de la grúa que tiene el gancho con el equipo, estos elementos se denominan eslingas. Al igual que en la grúa hay que prestar atención en la capacidad de soportar fuerzas de tensión de estas para asegurarse una correcta instalación del equipo.

#### **2.1.3.4. Ubicación de los equipos**

Esta consiste en situar los equipos en la posición, que operarán, con la ayuda de la grúa, serán colocados cuidadosamente sobre sus bases, una vez que el equipo apenas se apoye sobre estas, se debe alinear las líneas centrales de este con las líneas centrales de su base. Ya alineado con sus líneas centrales, se procede a fijarlo con sus pernos de anclaje, teniendo en cuenta que el apriete tiene que ser el justo para evitar descentrarlo, pero que permita que se mueva según sea necesario para alinearlo correctamente. El paso final es el acople de todos los accesorios de la maquinaria que se ha montado.

#### **2.1.4. Descripción del cálculo de una cimentación**

El cálculo para una cimentación que soportará maquinaria trabajando, no se realiza de una única forma, existen diversas maneras de calcular las cimentaciones, entre ellas está la siguiente:

- Primero se utilizan las siguientes ecuaciones:

Estimación del peso del cimiento=1,5 (peso de la maquinaria (ton))

$$A_c = \frac{20 (1+k)v_p * p}{f_s}$$

Donde:

$A_c$  = área de la cimentación estimada ( $m^2$ )

$k$  = coeficiente de restitución

$v_p$  = velocidad de percusión ( $m/s$ )

$p$  = peso de las partes que caen (ton)

$f_s$  = presión permisible en el suelo ( $ton/m^2$ )

- Ya con los valores de  $A_c$  y el peso estimado del cimientado de las ecuaciones anteriores, se calculan:

$$v_q = \frac{v_p(1+k)*p}{p+G}$$

Donde:

$v_q$  = velocidad de cimentación ( $m/s$ )

$G$  = peso propio de la maquinaria más el peso de la cimentación (ton).

$$h = \frac{\text{estimacion del peso del cimientado}}{2,65 * A_c}$$

Donde:

$h$  = espesor del cimientado (m)

2,65 es el peso específico del concreto en  $ton/m^3$

- Para calcular el verdadero peso del cimientto se tiene:

$$\text{verdadero peso del cimientto} = 2.65 * A_c * h$$

- Ahora se efectúan los cálculos de los desplazamientos:
  - Por compresión en el terreno, debido al peso de la máquina más el de la cimentación.

$$\rho = \frac{G}{C_u * A_c}, \quad \rho = (\text{m})$$

Donde:

$C_u$  = coeficiente de compresión elástica uniforme del terreno ( $\text{ton}/\text{m}^3$ )

- Debido a la fuerza p.

$$\delta = v_q \sqrt{\frac{\rho}{9.81 \text{m}/\text{s}^2}}, \quad \delta = (\text{m})$$

- Por la capa de material elástico entre la base y el cimientto.

$$\lambda = \frac{G' * t}{A_m * E}, \quad \lambda = (\text{m})$$

Donde:

$G'$  = peso de la máquina más la fuerza de impacto (ton)

$A_m$  = área de la máquina (m)

$E$  = módulo de elasticidad ( $\text{ton}/\text{m}^2$ )

$t$  = espesor del material elástico (m)

- Se calcula este desplazamiento únicamente si existe  $t$ .
- Se suman los tres desplazamientos:

$$\text{Desplazamiento total} = \rho + \delta + \lambda \quad (\text{m})$$

$\Delta t$  = desplazamiento total < desplazamiento permisible

- De no ser así se calcula nuevamente con área  $A_c$  mayor.
- Calculando el coeficiente de vibración.

$$Y = \frac{V_q(\text{m/s})}{\sqrt{9,81 (\text{m/s}^2) * \Delta t(\text{m})}} \quad (\text{ton})$$

- Calculando una  $p$  equivalente:

$$P_{\text{equivalente}} = Y * \Psi * G \quad (\text{ton})$$

Donde:

$\Psi$ =coeficiente de tensión.

- Calculando  $\sigma$

$$\sigma = \frac{G + p_{\text{equivalente}}}{A_c} \text{ ton/m}^2$$

- Si  $\sigma < f_s$  entonces la cimentación está calculada adecuadamente en cuanto a sus dimensiones, de no ser así, se calcula desde el principio con una  $A_c$  mayor que la obtenida en las primeras ecuaciones.

## 2.2. Turbinas de vapor

A continuación se describirán el funcionamiento, partes, tipos y usos de estas turbo máquinas que funcionan con vapor de agua.

### 2.2.1. Principio de funcionamiento de una turbina de vapor

Las turbinas son máquinas en las cuales el vapor se expansiona en las toberas, hasta alcanzar una caída en la presión de entrada a la misma. Este descenso de presión hace que la velocidad del flujo de vapor se incremente. La energía cinética de este flujo es cedida a los álabes de la turbina. En la misma forma que el chorro de agua cede su energía a los cangilones de una rueda hidráulica.

Para aumentar la velocidad del vapor, gradualmente, las turbinas tienen más de un conjunto tobera-álabe denominado etapa, esto con el fin de aprovechar mejor la energía cinética del vapor, la cual al existir una sola etapa haría que la velocidad tangencial del rotor generara una fuerza centrífuga muy grande, causando así una falla en la turbina.

## **2.2.2. Partes de una turbina de vapor**

Como toda máquina, una turbina puede dividirse en diferentes elementos, además de necesitar equipos auxiliares para que todo el sistema de este tipo de máquinas funciones eficientemente.

### **2.2.2.1. Partes principales**

- Rotor: parte móvil que lleva montadas las ruedas con paletas o las toberas móviles.
- Toberas fijas: transforman la presión del vapor en velocidad.
- Carcasa: cubierta o envolvente en donde van montadas las toberas fijas.

### **2.2.2.2. Equipo auxiliar de una turbina de vapor**

- Bomba de lubricación AC-DC: es la que provee el aceite a presión para lubricación y control durante los períodos de arranque y parada, durante el arranque debe salir de servicio al momento en que la bomba principal ha levantado presión suficiente, debiéndose asegurar que esto se realiza sin interrupción de presión, durante la parada de la turbina deberá entrar

en servicio al descender la presión de la bomba principal. Puede ser de corriente alterna o directa: AC-DC.

- Bomba de lubricación principal: es la bomba que provee el aceite a presión para lubricación y control en la operación normal, es accionada mecánicamente por la turbina. Debe controlarse la uniformidad de su presión de descarga para detectar posibles deterioros.
- Bomba de vacío: es la utilizada en las turbinas de condensación para producir vacío en el escape de la turbina antes de ponerla en rotación con vapor.
- Eyectores de vacío: estos cumplen la misma función de la bomba, pero realizándola con el uso del mismo vapor que acciona la turbina.
- Sistema de purgas en la turbina de vapor: en la entrada del vapor a la turbina debe existir una estación de purgas que permitan extraer el vapor condensado que se acumula antes de las válvulas de entrada a la turbina, para evitar que entre agua a la misma, lo que produciría daños severos en los componentes de la turbina; en la operación normal el condensado que se forma con cierta periodicidad debe ser desalojado en igual forma mediante una trampa de vapor convenientemente dimensionada.
- Enfriador de aceite: es un intercambiador de calor instalado en la línea de aceite con el objetivo de mantener el lubricante a una temperatura constante, especificada por el fabricante, del equipo que no altere las características originales.

Para controlar un buen funcionamiento debe tomarse en cuenta la presión y temperatura, tanto del agua como del aceite, en la entrada y salida del enfriador.

- Filtros de aceite: estos tienen y recogen todas las impurezas con las que se puede contaminar el aceite, de preferencia no debe tolerar partículas iguales o mayores al grueso de la película de aceite en los cojinetes.
- Motor de volteo: es el dispositivo utilizado para girar el rotor de la turbina del generador después de entrar en reposo al salir de servicios, con el objetivo de que tenga un enfriamiento lento que no introduzca deformaciones permanentes que provoquen vibración al poner la máquina en servicio nuevamente.
- Calentador de la turbina para paros largos: el calentador es un ventilador de aire caliente que evita la condensación de agua que provoca corrosión en las partes internas de la turbina, en algunos casos es conveniente utilizar algún tipo de compuesto químico que preserve la turbina.
- Sistema de regulación o gobierno: la función de los reguladores en las turbinas es la de mantener constante la velocidad de rotación de la misma al variar la carga. Es decir mantener la condición de operación.

Para el caso de los generadores de corriente alterna se exige una frecuencia constante, para lo cual debe mantenerse con mucha exactitud la velocidad de giro de la turbina. En general existen dos tipos de reguladores:

- Regulador centrífugo o de bolas: como su nombre lo indica, el regulador centrífugo está compuesto por unos contrapesos adheridos a la flecha, que se mueven hacia adentro o hacia fuera dependiendo de la velocidad de la turbina.

Este movimiento de balanceo se aprovecha para que, por medio de un mecanismo, se abra o se cierre la válvula de admisión a la turbina manteniendo la velocidad constante.

- Regulador hidráulico: operan mediante bombas centrífugas o de engranes montados directamente sobre la flecha de la turbina. Estas bombas trabajan con el aceite lubricante de la propia máquina, y tienen dos funciones que desempeñar: lubricar las chumaceras de la máquina y servir como gobierno de la misma.
- Cojinetes o chumaceras: hay dos tipos de cojinetes en las turbinas de vapor, los cuales se conocen como cojinetes principales o de carga y el cojinete de empuje.
  - Los cojinetes de carga soportan el peso del rotor de la turbina, impidiendo cualquier movimiento del mismo en una dirección vertical. Sin embargo, si el rotor no está perfectamente balanceado, los cojinetes estarán sometidos a vibraciones considerables que puedan sobrecargarlos.

Están lubricados por aceite forzado a presión que no solamente tiene por objeto su lubricación, sino mantenerlos a la temperatura de operación correcta.

- El cojinete de empuje tiene como función absorber los empujes axiales a lo largo del eje y mantener el rotor en su posición correcta con respecto a las partes fijas de la turbina.
- Pistón de equilibrio: en todas las turbinas de reacción existe un empuje axial, que tiende a desplazar el rotor hacia el sentido del flujo de vapor. En la zona de entrada de vapor a la turbina de alta presión, el rotor está configurado para formar un pistón de equilibrio o émbolo de compensación el cual está diseñado para producir el empuje hacia la terminal de entrada de vapor a la turbina, estando en condiciones normales.
- Sistema de sellado: en las partes del eje o rotor que salen de la envolvente, se requiere la instalación necesaria de empaquetaduras, ya que en el lado de alta presión no permiten fugas de vapor hacia la atmósfera y ya en el lado de baja presión para evitar la entrada de aire, con la consiguiente pérdida de vacío en el condensador.

Los sellos o empaquetaduras se utilizan también en las carcassas y rotores entre los álabes fijos y los móviles. Los sellos son laberintos, donde el vapor se va estrangulando en los diferentes pasos hasta reducir su presión. Para evitar fugas de vapor por los claros que quedan entre la carcasa de la turbina y la flecha se han ensayado varios sistemas de sellos, pero el más usual, y que se ha popularizado más por su sencillez, es el que está constituido por anillos de carbón.

Están formados por varias secciones sostenidas en su periferia por un resorte de acero. Es importante que las superficies de unión sean esmeriladas perfectamente y solamente se coloca entre ellas un material

sellante plástico, cuya característica principal debe ser su resistencia a las altas temperaturas, es decir, que no debe endurecerse y tornarse quebradizo.

- Válvula centinela: es de seguridad, pequeña, instalada en la parte superior de la carcasa y su función es la de operar una alarma cuando la presión en la caja de la turbina alcanza valores peligrosos, avisando en esta forma que hay algo anormal en la operación de la turbina.
- Válvula de relevo atmosférica: es de seguridad, se instala entre la brida de escape de la turbina y la primera válvula de bloqueo en la línea de escape, y su función es la de proteger la carcasa de la turbina.

Esta válvula deberá ser de un tamaño suficiente que permita el paso de la cantidad máxima de vapor que pasa por la turbina, sin que se eleve la presión arriba de valores permisibles.

### **2.2.3. Tipos de turbinas de vapor**

- Clasificación desde varios puntos de vista.
  - Según las condiciones de suministro y escape del vapor, por ejemplo: con condensación, sin condensación, con extracción automática, con presiones mixtas (en las que el vapor se suministra desde varias fuentes a distintas presiones), con extracción regenerativa, con recalentamiento, entre otros.

- Según la disposición de las carcacas, por ejemplo, de una sola carcaca, *compound en tandem* (dos o más carcacas con los árboles acoplados en línea), *compound cruzado* (dos o más carcacas no en línea, con frecuencias a distintas rpm).
- Según el número de etapas de escape en paralelo, en cuanto al flujo de vapor, por ejemplo: de flujo doble, triple, de seis flujos.
- Según la dirección del flujo del vapor dentro de la turbina, por ejemplo, flujo axial, flujo radial, flujo tangencial.
- Según sean de expansión simple o de expansiones múltiples. Las turbinas pequeñas, o las que se diseñan para la caída pequeña de energía, pueden tener una sola expansión; las unidades más grandes siempre son de expansiones múltiples.
- Según el tipo de aparato impulsado, por ejemplo: impulsión de un generador eléctrico, un dispositivo mecánico, un barco, etcétera.
- Según su forma de operar o el lugar donde se realice la expansión del vapor:
  - Turbinas de acción: las turbinas que con el flujo de vapor mueven sus álabes se denominan turbinas de acción, estas además tienen la característica que la tobera se encuentra fija.

En este tipo de turbinas existe poca o nula caída de presión a través de sus álabes alcanzando una velocidad elevada, para después fluir hacia los álabes móviles sin que el vapor se expanda

demasiado. La energía contenida en los chorros de vapor es transferida en su totalidad al rotor por medio de los álabes móviles.

Ya que, teóricamente, no se tiene caída de presión a través de los álabes móviles (y, por tanto, no hay reacción), los intersticios internos son grandes y no se necesita émbolo compensador. Estas características hacen que la turbina de acción sea una máquina robusta y durable que puede soportar el servicio pesado de las aplicaciones de propulsión mecánica actual.

- Turbinas de reacción: en las turbinas de reacción, los espacios comprendidos entre los álabes actúan como toberas, la reacción ejercida por el flujo de vapor en las toberas hace que el rodete de la turbina gire en sentido opuesto al del chorro de vapor.

Para operar eficientemente, la turbina de reacción se debe diseñar para minimizar las fugas en torno a los álabes móviles.

Esto se logra al hacer la mayor parte de los intersticios internos relativamente pequeños.

Este tipo de turbina requiere un émbolo compensador (semejante a los utilizados en compresores centrífugos de gran tamaño), ya que está sometida a grandes cargas de empuje.

- Según el salto térmico se clasifican en:
  - Turbinas de condensación: son las de mayor tamaño, utilizadas en centrales térmicas. La presión de descarga puede ser inferior a la atmosférica debido a la condensación del vapor de salida.
  - Turbinas de descarga atmosférica: son generalmente de baja potencia, antieconómicas si utilizan agua tratada. No utilizan condensador de salida.
  - Turbinas de contrapresión o de escape: se utilizan para expandir, y de esta forma reducir la presión del vapor generando, y al mismo tiempo la energía mecánica y luego descargan el vapor a una presión aún elevada, para ser utilizado en procesos industriales.

#### **2.2.4. Usos de las turbinas de vapor**

Las turbinas de capacidad limitada son usadas en aplicaciones como en un cuarto de motores auxiliares y pequeños equipos de generación. Usualmente tienen una única unidad de turbina. Con una eficiencia menor a la de un motor recíprocante, son usadas, ya que son compactas y no requieren lubricación interna.

El vapor de escape se puede utilizar en otros procesos, ya que está libre de contaminación. Son usadas generalmente con cajas reductoras acopladas a los equipos motrices.

Las turbinas de contrapresión son usadas en procesos de calentamiento, y el trabajo de la turbina puede ser un subproducto. Si todo el vapor es condensado en un intercambiador de calor y regresado al sistema, puede hacer el sistema más eficiente térmicamente.

Una aplicación de estas es la superposición de un sistema de alta presión en equipos de baja presión, con estos dispositivos, una generadora de energía con mucho tiempo de funcionamiento puede recuperarse e incrementar su capacidad.

Existen dos métodos de operación: uno con presión constante cuando las unidades de baja presión son operadas también con calderas de baja presión, y el otro con presión variable cuando las unidades de baja presión reciben el vapor solo de la turbina.

Las turbinas también tienen un amplio uso en bombas de alimentación de las calderas de alta presión, especialmente en aquellas de gran tamaño, y donde se necesite alta presión con una capacidad del cuatro por ciento de las necesidades de la planta en cuanto al agua de alimentación, y para las centrales nucleares.

El uso más común, actualmente, son las turbinas sin extracción o de condensación, es de alimentar con vapor en el rango de 150 a 200 psia (1 a 1,4 KPa) obtenido del escape de las secciones intermedias en las turbinas que funcionan con combustibles fósiles, o de las entradas de baja presión en las centrales nucleares.

Estas turbinas tienen, normalmente, una conexión con la alimentación principal de arranque y cuando se opera con baja carga la planta industrial. Algunas turbinas son utilizadas en ventiladores de tiro forzado para centrales térmicas de gran capacidad.

En las turbinas con extracción, parte del vapor expandido es extraído para procesos externos en otros puntos de la fábrica, estas turbinas pueden ser tanto de condensación como de contrapresión.

Están diseñadas usualmente, para sustentar la potencia nominal completa, con o sin extracción, y están provistas de dispositivos mecánicos de regulación, para enviar el vapor a presión constante, como lo permita su carga.

El uso de estas turbinas se ha multiplicado, particularmente aquellas con presión inicial alta en conexión con muchos procesos industriales, que requieren vapor de baja presión, resultando frecuentemente en una alta eficiencia en la producción.

También existen turbinas usadas para controlar la alta potencia o donde se necesite controlar de manera precisa la velocidad. Una aplicación típica es en la industria de fabricación de papel y en la conducción de fluidos en los compresores de una planta petroquímica.

Existen varios tipos y tamaños según su aplicación, son construidas en tamaños que van desde aquellas con pocos caballos de fuerza hasta aquellas que tienen miles.

En el caso de que la velocidad de operación sea baja, es necesario, la instalación de una caja reductora, con el fin de reducir el costo de operación de la turbina, mejorando así su eficiencia.

En la industria marítima la aplicación de las turbinas se da en la propulsión de motores marinos, en la década de los setentas existían turbinas de gas derivadas con aire, de bajo peso, gran capacidad y de eficiencia aceptable, liderando el uso para la propulsión de las embarcaciones que queman combustibles fósiles.

Las turbinas de vapor continuaron usándose en embarcaciones nucleares. Las turbinas marinas son básicamente las mismas que una de uso industrial, exceptuando que la turbina es dividida en elementos de alta y baja presión. Ambos enganchados por medio de un engranaje de baja velocidad al eje de la hélice.

La ventaja de esta configuración es que dos piñones de alta velocidad dividen la carga a un engranaje común de baja velocidad. Reduciendo así el peso en comparación con una turbina común.

La turbina de alta presión puede fabricarse de una velocidad más alta que la sección de baja presión, y está mejor adaptada a un flujo bajo. Cada turbina puede tener un eje rígido corto, y ambas turbinas pueden impulsar el barco en caso de emergencia.

Las turbinas dentadas requieren un elemento reversible para operar el buque. Esta es una turbina de impulso de dos etapas con dos filas de hileras de dientes de dos, o con una fila de dientes de dos y una de una, las etapas de

velocidad esta configuradas en el espacio de escape en el lado de baja presión delante de la turbina. Para poder operarla en vacío en condiciones normales.

La pérdida por rotación de la turbina es alrededor de 0,5 por ciento en las condiciones previamente descritas. Estando acoplada directamente con la hélice propulsora.

Las turbinas marinas deben actuar a velocidades variables, los gobernadores de sobre velocidad no son requeridos, pero a veces son usados como medida de precaución. Los controles son por medio de válvulas secuenciales en forma de boquillas.

## **2.3. Generadores eléctricos**

Este dispositivo es el encargado de convertir energía mecánica en energía eléctrica, existen tanto de corriente alterna como directa, siendo este último el menos utilizado en la industria.

### **2.3.1. Funcionamiento de un generador eléctrico**

El principio de funcionamiento de los generadores se basa en el fenómeno de inducción electromagnética, la Ley de Faraday. Esta dice que el voltaje inducido en un circuito es directamente proporcional al cambio del flujo magnético en un conductor o espira.

En otras palabras, se tiene un campo magnético generando un flujo magnético, es necesaria una espira por donde circule una corriente para lograr que se genere la fuerza electromotriz (fem).

Cuando dentro de un campo magnético se tiene una espira por donde fluye una corriente eléctrica, aparecen un par de fuerzas que provocan que la espira gire alrededor de su eje. De esta misma manera, si dentro de un campo magnético se introduce una espira y se le hace girar se provocará la corriente inducida. Este tipo de corriente es la responsable de la fem y cambiará, en función de la posición de la espira y el campo magnético.

La cantidad de corriente inducida o fem dependerá de la cantidad de flujo magnético (también llamado líneas) que la espira pueda cortar, cuanto mayor sea el número, mayor variación de flujo generará y por lo tanto mayor fuerza electromotriz.

Al hacer girar la espira dentro del imán se consigue una tensión que variará en función del tiempo. Esta tensión tendrá una forma alterna, puesto que de  $180^\circ$  a  $360^\circ$  los polos estarán invertidos y el valor de la tensión será negativo.

El principio de funcionamiento del alternador y del dínamo se basa en que el alternador mantiene la corriente alterna mientras la dínamo convierte la corriente alterna en corriente continua.

### **2.3.2. Partes de un generador eléctrico**

- Calentadores del generador: son utilizados todo el tiempo que el generador no está produciendo energía eléctrica, con el objetivo de mantener al aislamiento en valores seguros, ya que existe la posibilidad de condensación de agua.

- Excitatriz: los generadores necesitan una fuente de corriente continua para alimentar los electroimanes (devanados) que forman el sistema inductor. Por eso, en el interior del rotor se incorpora la excitatriz.

La excitatriz es la máquina encargada de suministrar la corriente de excitación a las bobinas del estator, parte donde se genera el campo magnético. Según la forma de producir el flujo magnético inductor se puede hablar de:

- Excitación independiente: la corriente eléctrica proviene de una fuente exterior.
  - Excitación en serie: la corriente de excitación se obtiene conectando las bobinas inductoras en serie con el inducido. Toda la corriente inducida a las bobinas del rotor pasa por las bobinas del estator.
  - Excitación *shunt* o derivación: la corriente de excitación se obtiene conectando las bobinas del estator en paralelo con el inducido. Solo pasa por las bobinas del estator una parte de la corriente inducida.
  - Excitación *compound*: en este caso las bobinas del estator están conectadas tanto en serie como en paralelo con el inducido.
- Rotor: 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.

- Estator: parte fija exterior de la máquina. El estator está formado por una carcasa metálica que sirve de soporte. En su interior se encuentra el núcleo del inducido, con forma de corona y ranuras longitudinales, donde se alojan los conductores del enrollamiento inducido.
- Enfriador del generador: el generador está ventilado por la circulación de aire entre la capa del generador. Un ventilador o varios deben ser montados en el rotor del generador para que provea la circulación del aire. Los enfriadores de aire están montados adentro del generador con provisiones para las conexiones de agua externas.

Los enfriadores son de un tamaño y número suficiente para que la unidad pueda operar a 2/3 de la capacidad fijada con un enfriador fuera de servicio, las cabezas o cajas del agua del enfriador son diseñadas para permitir la limpieza sin tener que parar el turbogenerador.

### **2.3.3. Tipos de generadores eléctricos**

- Generador síncrono: en un generador síncrono se le aplica al devanado del rotor una corriente directa que crea un campo magnético en el rotor. En este momento el rotor del generador gira por medio de un motor primario, que produce un campo magnético giratorio dentro de la máquina. Este campo magnético giratorio induce una serie de voltajes de tres fases dentro de los devanados del estator.

El rotor de este tipo de generadores es, en esencia, un electroimán grande, los polos magnéticos del rotor pueden ser tanto salientes como no salientes, en los rotores de polos salientes, estos están proyectados

hacia afuera del rotor, y en los polos no salientes estos están integrados al rotor.

- Generador de corriente directa: en este tipo de generadores el campo se encuentra en el estator y la armadura sobre el rotor, si una armadura gira entre dos polos de campos fijos, la corriente en la armadura se mueve en una dirección durante la mitad de cada revolución, y en la dirección opuesta durante la otra mitad de la revolución.

Para crear un flujo constante de corriente en una sola dirección, es necesario disponer de un medio para invertir el flujo de corriente fuera del generador una vez para cada revolución. Esta corriente tiene que pasar a través del conmutador y las escobillas.

Los generadores de corriente continua funcionan a voltajes bastante bajos para evitar chispas que se producen entre las escobillas y el conmutador a voltajes altos. El voltaje más alto desarrollado por este tipo de generadores suele ser de 150 V.

- Generador de imanes permanentes: opera similarmente a las máquinas síncronas, pero estas máquinas son controladas asincrónicamente, es decir generalmente no son conectados directamente a la red.

La potencia producida por el generador es variable al principio por el voltaje y la frecuencia en corriente alterna, esta corriente es rectificadas inmediatamente a corriente continua. Y de allí es dirigida a cargas o almacenada en baterías, mientras que la otra parte es invertida a corriente alterna, con voltaje y frecuencia fija.

- Generador de pasos: son esencialmente las máquinas síncronas de diseño especial. Cuya diferencia principal, respecto a las máquinas estándar, es que estas son construidas con un número suficiente de polos para que el rotor del generador pueda girar a la misma velocidad que el rotor de una turbina de viento. Debido al alto número de polos, el diámetro del generador es relativamente grande.

#### **2.3.4. Usos de un generador eléctrico**

- Turbinas eólicas: el generador de imán permanente ha sido utilizado con mayor frecuencia en aplicaciones con turbinas de viento. En la actualidad es la mejor opción a la mayoría de los pequeños generadores de turbina de viento, generando hasta 10 KW.
- Máquinas de vapor: se acoplan directamente al alternador. Generan una velocidad de giro baja y necesitan un volante de inercia para generar una rotación uniforme.
- Motores de combustión interna: se acoplan directamente, y las características son similares al caso anterior.
- Turbinas hidráulicas: la velocidad de funcionamiento tiene un rango muy amplio. Estos alternadores están diseñados para funcionar bien hasta el doble de su velocidad de régimen.

#### **2.4. Definición de una unidad de turbogenerador**

Es una máquina que se compone de una turbina de vapor y un generador. La turbina es el elemento que transforma la energía termodinámica de un flujo

de vapor de agua en energía mecánica. El generador que va acoplado con la turbina es el encargado de transformar la energía mecánica en energía eléctrica. En algunos casos es necesario emplear una caja reductora entre el generador y la turbina para reducir la velocidad de esta a la velocidad de funcionamiento de un turbogenerador.

## **2.5. Usos de un turbogenerador**

El uso principal de un turbo-generador es en las centrales térmicas o hidráulicas, que aprovechan la velocidad de un fluido que circula a través de los álabes de la turbina para transformar energía térmica en el caso de las centrales a vapor, o energía hidráulica en las hidroeléctricas, en energía mecánica que se transmite desde el rotor de la turbina, hasta el rotor del generador donde la misma es transformada en energía eléctrica.

### **3. FASE DE INVESTIGACIÓN**

#### **3.1. Análisis de la situación energética actual**

Previo al montaje fue necesario realizar un análisis del flujo energético del ingenio, para encontrar las áreas donde, debido a la expansión, el consumo de energía eléctrica y térmica se incrementó; y con esto tomar las acciones necesarias para cubrir satisfactoriamente la nueva demanda energética.

##### **3.1.1. Análisis del uso del vapor**

Para su adecuada operación, el Ingenio La Unión requiere de 825 libras de vapor por cada tonelada de caña, esto equivale 618 750 libras de vapor por hora.

En la actualidad, el ingenio cuenta con siete calderas acuatubulares en funcionamiento, de estas seis son utilizadas en la producción del vapor para los turbogeneradores de contrapresión y una para el vapor de la planta de condensación. Se encuentra en fase de construcción la caldera ocho.

Las calderas número: 4, 5,7 con una presión de operación nominal de 600 psi, producen unas 450 000 lb/h de vapor. La caldera 3 con una presión de operación de 400 psi, produce un flujo de vapor de 140 000 lb/h. y las calderas 1 y 2 con una presión de operación de 200 psi y producción de vapor de 29 000 lb/h. La caldera 8 con una presión de 1550 psi, que producirá 373 763 lb/h de vapor.

Estas son las encargadas de enviar vapor a los cuatro turbogeneradores de contrapresión para producir energía eléctrica, luego de pasar por ese proceso el vapor remanente que son 7 892 lb/h, aun con energía térmica es enviado a la fábrica, para la producción de edulcorantes.

Con la introducción del nuevo turbogeneradores de contrapresión y operando la nueva caldera IJT habría un incremento, desde las 7 892 lb/h de vapor, hasta unas 19 038 lb/h de vapor utilizando únicamente, el turbogenerador 6 de 20 MW ya existente y el nuevo turbogenerador 7 de 22 MW.

### **3.1.2. Análisis del uso de la energía eléctrica**

La demanda de energía eléctrica en la temporada de zafra en el Ingenio La Unión es de 30 kW por tonelada de caña, la cual equivale a 22.5 MW.

Para cubrir esta demanda de energía eléctrica el Ingenio utiliza los turbogeneradores de contrapresión, ya que el de condensación es empleado en la venta de energía eléctrica al AMM. Las unidades con las que cuenta el Ingenio son las siguientes: turbogenerador 1 de 2,5 MW, turbogenerador 2 de 5 MW, turbogenerador 3 de 7,5 MW, turbogenerador 5 de 10 MW, turbogenerador 6 de 20 MW, además del turbogenerador 7 que es de 22 MW, este último es el turbogenerador cuyo montaje se describe en el presente trabajo.

El turbogenerador 4, de condensación, con una capacidad de 26 MW, junto con los de contrapresión, y sin el uso de la caldera IJt y el turbogenerador 7, actualmente producen 39,89 KW/tc con 29 918,98 KW, mientras que con el uso los turbogeneradores 6,7 y 4, además de la caldera IJT.

Se prevé una producción para la venta de: 45,03 KW/tc y de 33 775 KW en horarios de demanda media y máxima. Mientras que será de 32,40 KW/tc y 24 302 KW en la demanda mínima.

### **3.1.3. Análisis del uso del agua**

El montaje del nuevo turbogenerador de 22 MW, afectará dos procesos adicionales en el ingenio que emplean agua, ya que permitirá usar este elemento más eficientemente.

#### **3.1.3.1. Agua de imbibición**

Para la producción de los diferentes tipos de azúcares, es necesario agregarles agua, en uno de estos procesos se le denomina agua de imbibición, esto indica que para cierto número de toneladas de caña molida se utiliza un porcentaje de la cantidad registrada como agua de imbibición.

Para la temporada azucarera, que va desde noviembre hasta mayo, se emplearon unos 198 millones de galones de agua de imbibición, para la producción de los edulcorantes en esta zafra. El montaje del turbogenerador de 22 MW permitirá reducir las pérdidas que se han registrado.

#### **3.1.3.2. Agua de lavado**

Es otro proceso en el que se le añade agua a los jugos de la caña para producir azúcar, al igual que con el agua de imbibición, indica un porcentaje del total de agua utilizada en la temporada de zafra.

En la zafra azucarera 2013-2014 fueron necesarios casi 21 millones de galones de agua de lavado en más de 170 días que duró este período de cosecha, molienda y producción de los diversos tipos de edulcorantes. Debido al incremento en las actividades de refinería existieron perdidas en el agua de lavado, las cuales al estar en funcionamiento el nuevo turbogenerador serán reducidas a porcentajes aceptables, registrados en zafras anteriores.

### **3.1.3.3. Agua de enfriamiento del turbogenerador**

Para que el turbogenerador funcione adecuadamente necesitan ser refrigerados el aceite lubricante, y el generador; para esto es necesario hacer pasar agua por los enfriadores que son intercambiadores de concha y tubos en ambos casos, esto quiere decir que el agua al pasar a través de los tubos enfría el aceite, y después de transferir su temperatura al agua, es enviado de nuevo al tanque de aceite.

En el caso del condensador, que también es un intercambiador de concha y tubos, donde a diferencia del enfriador de aceite este hace el intercambio entre el vapor y el agua. Para el generador el agua es enviada a su enfriador donde el intercambio ocurre entre esta y el aire que circula dentro del mismo.

Para que este sistema se refrigere adecuadamente se necesitan 352 GPM para el enfriador de aceite, 616 GPM para el generador y 88 GPM para el condensador. Finalizada la circulación del agua de enfriamiento esta es enviada a las torres de enfriamiento para poder reutilizarla.

### **3.2. Análisis del ahorro en el consumo de energía eléctrica turbogenerador 7 versus turbogeneradores 3 y 5**

Los equipos que han operado desde hace varias temporadas de producción de edulcorantes, proporcionando tanto energía eléctrica como vapor de escape a la fábrica, empiezan a disminuir su eficiencia debido a la cantidad de tiempo desde que se pusieron en marcha por primera vez, esto hace que muchos de sus equipos auxiliares necesiten motores eléctricos, desde el arranque de los mismos hasta que se encuentran en operación normal.

Estas circunstancias generan una alta demanda en el consumo de energía eléctrica, por lo tanto la incorporación del nuevo turbogenerador de contrapresión con tecnología más actualizada y eficiente que la que ya se encuentra instalada, buscará reducir este consumo.

Tomando en cuenta que el proceso de arranque no supera las 8 horas que conforman un turno laboral, de tres diarios, sino dura un promedio de 2 horas, y que se busca trabajar con operación continua durante cada uno de los 176 días que dura la zafra. Se ha efectuado un análisis comparativo entre los equipos auxiliares del turbogenerador 7, y los equipos auxiliares de los turbogenerador 3 y turbogenerador 5, siendo estos últimos dos los que quedaran fuera de línea al momento de que el turbogenerador 7 esté disponible para su operación normal.

En la tabla II y III se describen tanto los equipos auxiliares como la potencia del motor eléctrico que acciona estos equipos. La potencia de los motores, que es el parámetro de referencia y comparación para calcular el consumo de energía eléctrica y por ende el ahorro de la misma.

Tabla II. **Equipos auxiliares del turbogenerador 7**

Equipos TG7	Potencia KW
Motor bomba aux de lubricación TG7 **	22
Motor bomba dc TG7 * **	2,2
Motor de levante generador TG7 **	4,55
Motor 1 bomba control gobernación	11
Motor 2 bomba control gobernación *	0
Motor extractor de vapor TG7	0,4
Motor de turning gear del TG7 **	5,5
Motor gases no condensables TG7	1,5
** equipos que funcionan únicamente durante el arranque; * equipos que funcionan únicamente en caso de emergencia.	

Fuente: elaboración propia.

Tabla III. **Equipos auxiliares de los turbogeneradores 3 y 5**

Equipos TG3 y TG5	Potencia KW
Motor bomba auxiliar lubricación TG3	18,65
Motor bomba dc lubricación TG3 *	0
Motor extractor vapor TG5	2238
Motor bomba auxiliar 1 lubricación TG5	22,38
Motor bomba dc lubricación TG5 *	0
Motor turning gear TG5	1 119
Motor extractor vapor TG3	1 492
Motor excitador dinámico TG5 *	55
** equipos que funcionan únicamente durante el arranque; * equipos que funcionan únicamente en caso de emergencia.	

Fuente: elaboración propia.

Con la potencia en KW de los equipos auxiliares, se calcula el consumo de energía eléctrica según el tiempo que operaran estos. El consumo de los motores eléctricos de los equipos auxiliares del turbogenerador 7, durante el proceso de arranque, operación diaria y el total de los 176 días de zafra, se describe en la tabla IV. Mientras que el consumo de energía eléctrica de los dispositivos auxiliares de los turbogeneradores 3 y 5 se describe en la tabla V.

**Tabla IV. Consumo de energía eléctrica de los elementos auxiliares del turbogenerador 7**

Equipos TG7	Potencia KW	Arranque KW/hr	Operación diaria KW/hr	Total zafra KW/hr
Motor bomba aux de lubricación TG7**	22	44	0	0
Motor bomba dc TG7***	2,2	0	0	0
Motor de levante generador TG7**	4,55	9,1	0	0
Motor 1 bomba control gobernación	11	22	264	46 464
Motor 2 bomba control gobernación *	0	0	0	0
Motor extractor de vapor TG7	0,4	0,8	9,6	1 689,6
Motor de turning gear del TG7**	5,5	11	0	0
Motor gases no condensables TG7	1,5	3	36	6336
Total (KW/hr):		89,9	309,6	54 489,6
** equipos que funcionan únicamente durante el arranque; * equipos que funcionan únicamente en caso de emergencia.				

Fuente: elaboración propia.

Al observar las tablas IV y V, se refleja el ahorro en el consumo de energía eléctrica, al momento de que el turbogenerador 7 releve a los turbogenerador 3 y turbogenerador 5 de la operación diaria durante la temporada de zafra.

Tabla V. **Consumo de energía eléctrica de los elementos auxiliares de los turbogeneradores 3 y 5**

Equipos TG3 y TG5	Potencia KW	Arranque KW/hr	Operación diaria KW/hr	Total zafra KW/hr
Motor bomba auxiliar lubricación TG3	18,65	37,3	447,6	78 777,6
Motor bomba dc lubricación TG3 *	0	0	0	0
Motor extractor vapor TG5	2238	4476	53712	9 453,31
Motor bomba auxiliar 1 lubricación TG5	22,38	44,76	537,12	94 533,12
Motor bomba dc lubricación TG5 *	0	0	0	0
Motor turning gear TG5	1 119	2 238	26,86	4 726,66
Motor extractor vapor TG3	1 492	2 984	35,81	6 302,21
Motor excitador dinámico TG5 *	55	0	0	0
Total (KW/hr)		91 758	1 101,10	193 792,9

\*\* equipos que funcionan únicamente durante el arranque; \* equipos que funcionan únicamente en caso de emergencia.

Fuente: elaboración propia.

En la tabla VI se puede observar que el ahorro en el consumo de energía eléctrica durante el proceso de arranque de los turbogeneradores 3 y 5 es apenas mayor en comparación al arranque del turbogenerador 7. Sin embargo, cuando el ingenio ya se encuentra en operación el ahorro en el consumo de energía eléctrica es mayor, que cuando inició sus actividades de molienda de caña de azúcar.

Esto es debido a que algunos de estos equipos solo funcionan durante el proceso de arranque entre ellos testán: el *Turning Gear*, para los turbogenerador 5 y turbogenerador 7, la bomba auxiliar de lubricación y el motor de levante que únicamente son parte del turbogenerador 7.

El ahorro en el consumo de energía eléctrica con la incorporación del turbogenerador 7 y la salida de operación de los turbogeneradores 3 y 5 será de 1,86 KW/hr durante el arranque, de 791,5 KW/hr durante las 24 horas de

operación, y de 139 303,3 KW/hr durante los 176 días de zafra aproximadamente.

Tabla VI. **Ahorro en el consumo de energía eléctrica**

Turbogenerador	Arranque KW/hr	Operación diaria KW/hr	Total zafra KW/hr
TG3 Y TG5 (KW/hr)	91,76	1 101,10	193 792,9
TG7 (KW/hr)	89,9	309,6	54 489,6
Ahorro (KW/hr)	1 858	791,5	139 303,3

Fuente: elaboración propia.

### 3.3. Descripción del problema

Debido al incremento en un 24 por ciento el consumo de vapor y un 7,5 por ciento en el consumo de energía eléctrica, en las operaciones de refinería, la continuidad de la molienda y producción de energía eléctrica dentro del Ingenio La Unión, corrían riesgo de verse interrumpidas o restringidas a las condiciones actuales con el equipo que se encuentra instalado. Ya que el equipo para generar energía eléctrica, y enviar vapor a la fábrica, cuenta con demasiado tiempo operando lo cual ha reducido considerablemente su eficiencia, además de no contar con equipo de respaldo en caso de que este sufra averías.

En la actualidad, es necesario mejorar la eficiencia con el montaje de un turbogenerador nuevo que cubra las necesidades actuales de vapor y electricidad que demanda la fábrica. Además de remplazar a los turbogeneradores 3 y 5 que aún se encontraban en operación en la zafra 2013-2014. Con esto se cubre la necesidad de contar con equipo de emergencia que

cubra las fallas de los turbogeneradores 6 y 7 en caso de que estos presenten alguna falla.

En conjunto con la caldera IJT y el turbogenerador 7 asegurarán la continuidad de operación del Ingenio La Unión en época de zafra. Tanto en lo que a producción de edulcorantes se refiere, como a la venta de energía eléctrica a la AMM.

### **3.4. Inducción a las actividades de mantenimiento**

Previo al montaje del turbogenerador 7 el Ingenio La Unión se encontraba en la etapa conocida como reparación, la cual va desde mayo hasta noviembre, en esta época es cuando a todos los equipos existentes se les realizan sus tareas de mantenimiento, previamente programadas por los encargados de cada una de las áreas con las que cuenta el ingenio.

#### **3.4.1. Mantenimiento de los turbogeneradores**

Con el fin de conocer los componentes de un turbogenerador fue necesario iniciar la investigación de las diferentes actividades que se realizan para evaluar, reparar, restaurar, etc. cada uno de los elementos que forman parte de un turbogenerador.

En esta reparación en particular se le efectuó un análisis al generador del TG4, el cual es del tipo condensación, este mismo es enfriado por hidrógeno gaseoso, debido a esto es necesario evacuar todo este gas, ya que el mismo es altamente inflamable. Este proceso se conoce como barrido de H<sub>2</sub> en CO<sub>2</sub>, ya que el CO<sub>2</sub> es el encargado de evacuar todo el H<sub>2</sub>.

Reduciendo con este proceso la concentración de hidrógeno en el espacio confinado del generador y la atmosfera circundante para evitar que una fuente de calor entre en contacto con el gas inflamable evitando así la ignición del mismo.

Para el TG6 se renovaron los sellos de vapor en el rotor de la turbina, y en el generador se evaluó tanto el rotor como el estator, ya que debían de modificarse debido a una nueva configuración en ese turbogenerador en específico. Además de probar el adecuado funcionamiento de la bomba de levante, y revisar el estado de las chumaceras del generador.

En los TG5 y TG3 se evaluó el sistema de gobernación, y el estado del rotor de los generadores, con el fin de evaluar la humedad presente. Para el TG1 la turbina fue extraída de su bancazo para poder darle mantenimiento al rotor e inspeccionar también el gobernador de la misma. En el TG2 se evaluaron las chumaceras y el estado de la excitatriz.

Todas estas actividades fueran desarrolladas previamente al montaje del TG7 para conocer algunos componentes y su funcionamiento dentro de cada turbogenerador, con el fin de facilitar el montaje del nuevo turbogenerador, el cual fue efectuado en la época de zafra por la disponibilidad de vapor para las pruebas necesarias.



## **4. FASE DE SERVICIO TÉCNICO PROFESIONAL**

### **4.1. Montaje de un turbogenerador**

Un turbogenerador es una máquina de grandes dimensiones compuesta por varios elementos, debido a eso hay que realizar una cimentación adecuada que tolere tanto el peso como las fuerzas de la operación, además debe de contar con el espacio suficiente para todos los elementos auxiliares.

#### **4.1.1. Preparación del terreno para la cimentación**

En el proceso del montaje de equipo hay que asegurarse de que este sea adecuado en términos de espacio, accesibilidad y además de que, el terreno reúna las condiciones necesarias para soportar el peso de la máquina y sus respectivas vibraciones en operación, de no ser así es necesario reforzar el suelo para que llene los requisitos mínimos para el montaje.

##### **4.1.1.1. Selección del terreno**

El lugar seleccionado para la cimentación se localiza en uno de los extremos de la casa de máquinas, en la antigua área de carga y descarga de la misma, debido a que en dicho sitio se encuentran relativamente cerca y con fácil acceso las líneas de vapor de admisión que proceden de las calderas y la línea de vapor de escape que se dirige hacia la fábrica y refinería. Además de proporcionar las condiciones para su fácil modificación y reacondicionamiento, tanto en el techo como al nivel del piso.

Otra de las razones es que allí se encuentra espacio suficiente para que el equipo sea montado con seguridad por medio de una grúa autom3vil hidr3ulica con la capacidad adecuada para soportar el peso de los equipos. Para garantizar as3 la integridad f3sica de las personas a su alrededor y evitar daos en los equipos mismos.

#### **4.1.1.2. Excavaci3n y acciones previas a la cimentaci3n**

La excavaci3n se inici3 con la demolici3n de la torta de concreto, que exist3a en la zona de carga y descarga, para dicha tarea se utiliz3 un minicargador equipado con un martillo hidr3ulico que perforaba el concreto, fragment3ndolo en trozos que luego eran removidos del 3rea.

Una vez concluida la demolici3n, inici3 el proceso de excavaci3n en donde se utiliz3 maquinaria pesada y camiones para retirar la tierra removida, hasta una profundidad aproximada de cinco metros, la siguiente acci3n que se llev3 a cabo fue verter la primera capa de refuerzo, comenzando las actividades para adecuar el suelo, reforzando este para que realice adecuadamente sus funciones principales, las cuales son: soportar el peso de la cimentaci3n y el equipo, adem3s de absorber vibraciones procedentes de la operaci3n de la maquinaria.

Estas primeras capas consistieron en una mezcla de arena volc3nica y piedras de r3o de considerable tamao, tra3das en camiones de volteo y esparcidas por una retroexcavadora, tratando de que cada capa quedara uniforme, asegurando luego que la capa quedara homog3nea y bien compactada con una aplanadora pequea.

**Figura 3. Excavación del terreno**



Fuente: Ingenio La Union.

**Figura 4. Aplicación de la capa de rocas y arena volcánica**



Fuente: Ingenio La Unión.

El siguiente material de refuerzo que fue aplicado consistió en una mezcla de 30 metros cúbicos de selecto, 12 metros cúbicos de piedrín, 25 sacos de cemento estructural 5 800 psi y una malla plástica de refuerzo entre capas. Para mezclar los materiales se acumulaba el selecto y se agregaba el piedrín y cemento mezclando estos materiales con el fin de hacer un material homogéneo.

Con la mezcla ya homogenizada, se procedió a verterla en la excavación, concluido este proceso el siguiente paso, fue la compactación y nivelación del selecto, por medio de una compactadora y una aplanadora desde su espesor original de 38 hasta 30 centímetros, para cada una de las siete capas que fueron aplicadas. Dejando entre las mismas la malla plástica.

Figura 5. **Compactado del selecto y nivelación**



Fuente: Ingenio La Unión.

En este punto se realizó el circuito de puesta a tierra que consta de seis varillas de cobre aleado de dos metros de largo situadas en las cuatro esquinas y en el centro de la parte más larga, cuya conexión fue en serie por medio de un cable del mismo elemento, para soldar el cable con las varillas se utilizó un material denominado cadwell.

#### **4.1.2. Construcción de la base del turbogenerador**

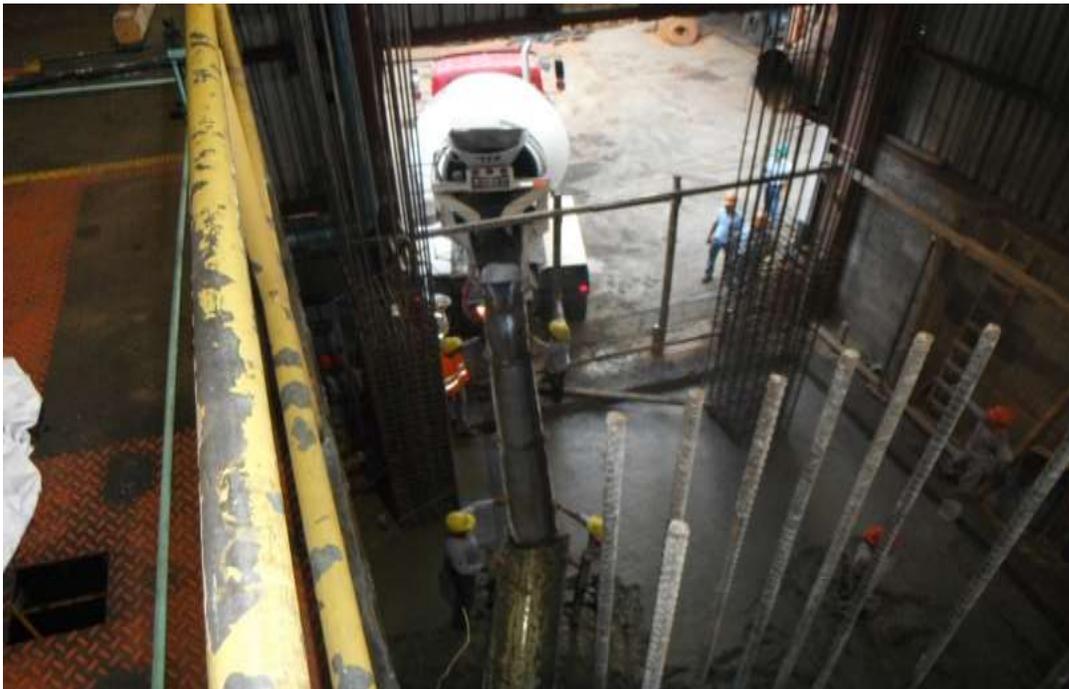
Sobre la última capa de selecto aplicado se inicia la construcción de la cimentación, situando por encima de esta el entramado de varillas de acero corrugado, estas fueron apoyadas sobre unos pequeños cilindros de concreto. Primero se situaron a lo largo, y luego a lo ancho, fijándolas con alambre de amarre en cada una de las intersecciones y en las uniones de las varillas.

Finalizadas las actividades anteriores se procedió al ensamblaje del entramado de las columnas propias de la cimentación, las cuales en un solo tramo fueron llevadas desde el piso hasta la altura requerida para situar el sistema de turbo generación, luego se inició el entramado de acero de la sección central, según el diseño previsto además de la realización de las columnas del pequeño condensador suministrado por el fabricante de la turbina. Además de dejar las cajuelas donde se colocará el enfriador de aceite.

Una vez terminadas las columnas, se inició a verter el concreto hasta que este alcanzo el nivel del suelo. Dejando un día para que se efectuara el proceso de fraguado, una vez concluido este lapso de tiempo se inició a forrar con tablonés de madera la estructura de acero previamente construida, colocándole los refuerzos necesarios.

Posteriormente se vertió el concreto armado por gravedad y a la rotación de la tolva. Debido al poco alcance del canal principal se colocaron canales auxiliares para verter el concreto en toda el área de la cimentación, fue necesario eliminar la presencia del aire contenido en la mezcla, con el uso de un vibrador para que las burbujas salgan a la superficie debido a su menor densidad respecto a la del concreto, ya que las burbujas de aire reducen la resistencia a la compresión, característica del concreto, por el cambio de sección y a la concentración de tensiones en los puntos donde se encuentran estas burbujas.

Figura 6. **Fundición de la primera etapa de la base**



Fuente: Ingenio La Unión.

Figura 7. **Elaboración de la segunda etapa de la base**



Fuente: Ingenio La Unión.

Para la segunda parte de la cimentación se dejó fraguando la primera etapa de la estructura durante una semana, al terminar este proceso se inició con la fabricación del segundo nivel de la estructura, colocando alrededor de las columnas de acero sus respectivas formaletas.

En esta etapa se le realizó un mayor apuntalamiento en comparación con la etapa anterior, ya que se construyó el voladizo donde se ubicarán posteriormente, tanto el tanque de aceite con sus respectivas bombas de lubricación, como la bomba DC y las bombas del sistema de control.

En la parte superior se le dieron las características necesarias a cada uno de los elementos, para la turbina se puede mencionar el espacio para los doce pernos de anclaje, además del espacio necesario para la tubería de vapor de escape.

El reductor es el elemento que necesitó una cimentación situada a una mayor altura respecto a los demás elementos de la turbo máquina, también contó con el espacio para los pernos de anclaje del generador, además del espacio para los pernos, contó con el espacio para los cables de la energía eléctrica que será producida.

A esta parte de la cimentación se le dio un prolongado tiempo de fraguado, ya que no fue necesario remover el forro de madera después de una semana como en la etapa anterior, sino hasta que todo el sistema de generación de energía eléctrica reuniera las condiciones adecuadas.

Figura 8. **Vista de la base del reductor y generador, respectivamente**



Fuente: Ingenio La Unión.

### 4.1.3. Montaje de la turbina

Este elemento fue el primero en ser trasladado desde su lugar de almacenamiento, hacia donde sería izado para luego instalarlo sobre su cimentación.

#### 4.1.3.1. Actividades previas al montaje

Antes de colocar la turbina en su cimentación fue necesario preparar la superficie, esta consistió en realizar el *chipping*, actividad que consiste en picar entre 20 y 30 milímetros de profundidad la última capa del concreto, en las áreas donde serán ubicadas las platinas y las platinas de alineación, para lo cual fue utilizado un taladro eléctrico con roto martillo.

Figura 9. Superficie de la base de la turbina después del *chipping*



Fuente: Ingenio La Unión.

Una vez concluido el proceso de picar la capa externa del concreto, se les añadieron a las platinas, por medio de soldadura de arco eléctrico, tres placas metálicas con un orificio en el centro. Al finalizar las doce platinas fueron colocadas sobre la cimentación previamente preparada.

Figura 10. **Platina de la turbina con sus tres placas de apoyo**



Fuente: Ingenio La Unión.

Al colocar la platina en el espacio donde se ubicará finalmente, se pintaron los tres puntos donde quedaron los agujeros de las placas metálicas, marcados estos, se procedió a perforar según indicaba la pintura, al concluir el total de las doce platinas se colocaron todos los tarugos de anclaje en sus respectivos agujeros. Instalándolos manualmente, para posteriormente expandir los mismos deslizando el disco de expansión hacia abajo, y apretar el tarugo en su respectivo alojamiento.

Posteriormente se colocaron los tornillos de nivelación, para luego situar las platinas sobre estos, e iniciar la tarea de nivelarlas, el primer paso fue pre nivelarlas, colocándoles un nivel visual de agua, de forma transversal y longitudinal.

Ya con las platinas preniveladas, se efectuó el proceso de nivelación final, utilizando un nivel óptico y un estadal, se procedió de la siguiente forma: teniendo una cota de salida, a la cual se le sumó la altura que el instrumento indicaba en su visor, esta es llamada altura de instrumento.

Con ese dato se calibró el nivel óptico a la altura requerida, para poder realizar esta nivelación se ajustaron las tuercas, que quedaban por debajo de la placa niveladora, que se encontraban ubicadas en los pernos de nivelación, ubicando el estadal en cada una de las cuatro esquinas de la platina, para darle el ajuste necesario ya fuera hacia arriba o hacia abajo según el nivel óptico lo indicaba, al obtener la altura requerida se apretaba con ambas tuercas fijando así la platina.

Los ajustes finales se dieron con un nivel de precisión colocado, también transversal y longitudinalmente. Este mismo procedimiento se realizó para nivelar cada una de las doce platinas, y para dos más que le darán altura a la turbina, se midieron en las esquinas con el estadal, para nivelarlas.

Con las doce platinas en su lugar y niveladas fue necesario cortar con equipo de oxígeno-acetileno, el exceso que presentaban las tuberías donde pasarán los pernos de anclaje, para después efectuar la fundición con *grout* en el espacio previamente picado.

Figura 11. Nivelación de las platinas empleando un nivel óptico y un estadal



Fuente: Ingenio La Unión.

Una vez fraguado el *grout*, se cortaron una pulidora equipada con un disco especial de corte, las secciones de los pernos de nivelación que sobresalían por encima del nivel de la platina, para evitar que entren en contacto con la cara inferior de la base de la turbina o afecten la alineación necesario que debe de existir entre la turbina y su caja reductora, ya que se debe garantizar la tolerancia ya establecida por el fabricante para que esta máquina funcione adecuadamente.

Figura 12. **Base de la turbina con sus platinas fundidas con el *grout***



Fuente: Ingenio La Unión.

#### **4.1.3.2. Montaje del bancazo con la turbina**

Con el embalaje donde venía la turbina removida, esta fue colocada sobre una plataforma baja, para posteriormente trasladarla cerca del lugar donde este elemento del turbogenerador iba a ser montado.

La primera acción relacionada directamente con el montaje consistió en colocar doce pares de platinas niveladoras, en cada una de las platinas previamente fundidas a la base de la turbina.

Finalizada la instalación de las platinas niveladoras, se utilizó una motogrúa telescópica hidráulica, con capacidad de 150 toneladas, montada sobre ocho ejes para izar la turbina.

Se necesitó del uso de estrobos de acero con una capacidad de levantar de forma vertical de 15 toneladas, en forma de ahorcado 11 toneladas y en “u” 30 toneladas. Para poder anclar estos a la turbina se utilizaron grilletes con la misma capacidad, estos se instalaron en las cuatro azas de la turbina.

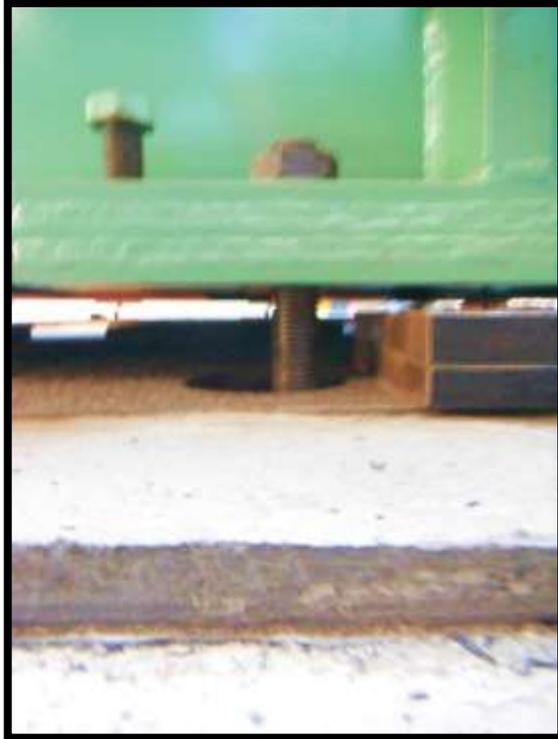
Una vez colocados estos, se realizó la prueba para asegurar que la carga fuera uniforme en cada uno de los cuatro estrobos, ajustando la misma según fuese requerido, una vez que esta prueba fue exitosa, se izó la turbina hacia su base.

Con la turbina situada encima de su base, fue colocada sobre las platinas que se encontraban previamente instaladas, una vez que la turbina estuvo apoyada en las platinas, fueron colocados los tornillos de anclaje empujándolos desde la parte inferior de la base hasta la parte superior en donde se apretó de forma manual la tuerca para evitar que cayera.

Con la turbina instalada sobre su base, fue removida la cubierta de protección donde se acoplará con el reductor, para evitar que esta se dañe al momento de instalar la caja reductora.

Tomando como referencia tres puntos marcados sobre el bancazo de la turbina y las líneas centrales, que ya se encontraban marcadas, se procedió a centrar la turbina empujándola con equipo portátil hidráulico, hasta que estuviesen alineados tanto los puntos marcados sobre la turbina como con las líneas que indicaban el centro de la base de la turbina.

Figura 13. **Bancazo de la turbina, sobre dos platina de alineación al momento de colocar el tornillo de anclaje**



Fuente: Ingenio La Unión.

Continuando con la instalación de la turbina se comprobó, que la misma se encontraba nivelada, colocando el nivel de precisión sobre los puntos específicos, previamente marcados en el bancazo de la turbina, para poder nivelar la turbina se colocó un par de platinas niveladoras debajo de un tornillo, que se usó para elevar la turbina, ya que estas platinas tienen un diseño que permite deslizar una sobre otra y de esta forma incrementar o disminuir la altura a la turbina.

Con el tornillo apoyado sobre las platinas que se usaron como pivote se ajustaron las platinas sobre las cuales se encontraba apoyada la turbina, utilizando un micrómetro con escala en milímetros, se le dio el espesor necesario para dejar nivelada la turbina.

#### **4.1.4. Montaje de la caja reductora**

Este elemento se instaló luego de que se terminaran todas las actividades de la turbina y sus actividades previas.

##### **4.1.4.1. Actividades previas al montaje de la caja reductora**

Para poder preparar la base de la caja reductora fue necesario, realizar el *chipping*, que consiste en picar la capa más externa del concreto alrededor de unos 30 mm, una vez finalizada esta actividad fueron colocadas las platinas en las tuberías marcando los agujeros de las pestañas con pintura en aerosol. Además del exceso de las mismas.

Con estos elementos marcados se inició la perforación con un taladro, de los 36 agujeros para los tornillos de nivelación, tomando en cuenta que se necesitaba una profundidad adecuada para que el tarugo se expandiera y anclara fuertemente al concreto, en este caso a diferencia de la turbina, se contó con la particularidad de que la broca del taladro, no perforó lo suficiente, ya que encontró varillas de acero.

Para contrarrestar este problema se le colocó pegamento epóxico fijando así el tornillo a la cimentación. Una vez fijados los 36 tornillos en los agujeros, se inició el proceso de nivelación de las platinas de la misma forma que para las

platinas de la turbina, apoyando el estadal en las esquinas de las mismas y subiendo o bajando las tuercas niveladoras, y rectificando su nivelación adecuada con un nivel de precisión. Ya niveladas se cortó el exceso de los tubos donde se ubicarán los tornillos de anclaje. Cortados estos se les removieron la rebabas que dejó el corte con oxiacetilénico.

Finalizado el corte de los tubos, se iniciaron las formaletas a lo largo de toda la superficie de la base para después verter sobre la misma el *grout*. Una especie de cemento especial para cimentaciones, del tipo *plain grout 712*. El espesor de la capa de este material quedo a una altura de 65 mm desde el nivel inferior del *chipping*, y a 13 mm desde la cara superior de la platina.

Después de dejar el proceso que el *grout* fraguara se removió la formaleta, posteriormente cortar el exceso de los tornillos de nivelación y dejarlos al nivel de la cimentación para no afectar la nivelación de la caja reductora.

Figura 14. **Instante en el que la caja reductora es trasladada a su base**



Fuente: Ingenio La Unión.

#### **4.1.4.2. Montaje de la caja reductora sobre su base**

Previo al montaje, se colocaron nuevamente 24 platinas niveladoras sobre las platinas ya fundidas, simultáneamente se efectuó el traslado de la caja reductora, a un costado del edificio de casa de máquinas, ya ubicada relativamente cerca de la base, se colocaron cuatro eslingas redondas con capacidad de: 8,4 toneladas en vertical, 6,7 toneladas en forma de ahorcado y en “u” 16,8 Ton.

Estas eslingas fueron colocadas en los cuatro puntos de anclaje de la carcasa de la caja reductora, en forma de “u” asegurando ambos extremos al gancho de la grúa automóvil, para poder levantarla uniformemente y poder colocarlo de manera segura en su base.

Con la caja reductora ya asentada en su base, se procedió a centrarla con las líneas marcadas en la coraza de la misma y con las líneas centrales de la base. Para alinearla de una manera más exacta se dejó a plomo con una plomada.

Una vez alineada con su referencia, se niveló con las platinas de alineación, para esta acción fue necesario empujar una contra otra o jalar las mismas según nos indicaba el nivel de precisión. Luego fueron colocadas las demás platinas. Como último paso se apretaron los tornillos de anclaje del reductor.

#### **4.1.5. Montaje del generador**

Es el último de los elementos a ser ubicado en su base, ya que de los tres este es el de mayor peso. Debido a ello, se incrementaron las precauciones al momento de instalarlo.

##### **4.1.5.1. Actividades previas al montaje del generador**

Al igual que para la turbina y la caja del reductor, el generador necesitó de *chipping*. Con un espesor de 30 milímetros, al finalizar de picar sobre donde irán las ocho patinas de apoyo del generador, se procedió con la nivelación de estas, en la misma forma colocando el estadal sobre todas las esquinas de las patinas y con el nivel de referencia visto desde el nivel óptico, elevando o bajando las patinas para nivelarlas y rectificando esta misma con un nivel de precisión.

Luego de esto se cortó el exceso en el tubo de anclaje con oxiacetileno, dejando este al nivel de la cara de la patina como máximo para no afectar la nivelación ni la alineación del generador.

Para después fundir sobre estas una capa de *grout* que, a diferencia de las anteriores capas, esta se encuentra por encima del nivel de la cimentación a unos 2 centímetros de altura respecto a esta y a la mitad del espesor de la patina.

Figura 15. **Nivelación de las platinas del generador**



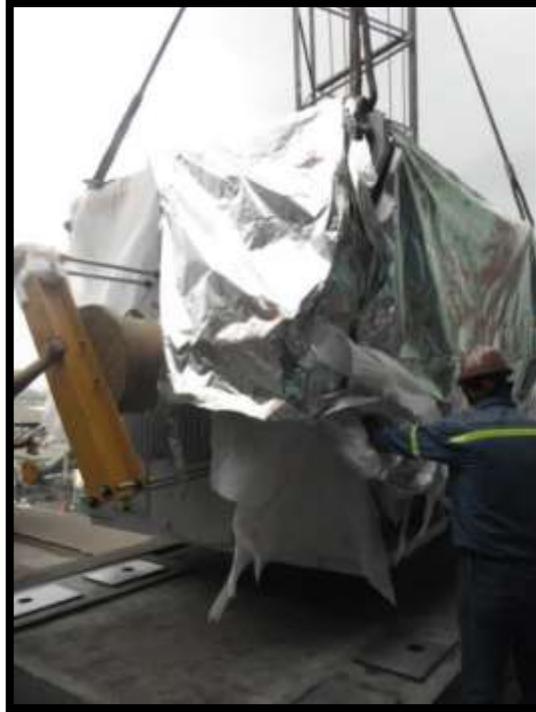
Fuente: Ingenio La Unión.

#### **4.1.5.2. Montaje del bancazo del generador**

Para colocar el generador sobre su base se izó con estrobos de acero de mayor capacidad en comparación con los usados para izar la turbina, ya que el peso del generador, aun sin el enfriador de aire, es superior al de la turbina.

La cantidad de tensión tolerada por estos estrobos es de 36 000 libras en vertical, 26 000 libras en forma de ahorcado y en forma de “u” 72 000 libras. Para levantarlo siempre se utilizaron cuatro puntos de apoyo, asegurando así la estabilidad al momento de elevarlo del piso y colocarlo en su base. Al situarlo sobre sus platinas se colocaron los ocho tornillos de anclaje y se aseguraron con su tuerca.

Figura 16. **Generador eléctrico al momento de apoyarlo sobre su base**



Fuente: Ingenio La Unión.

#### **4.1.6. Montaje del sistema de lubricación del turbogenerador**

El sistema de lubricación del turbogenerador lo componen seis elementos los cuales son: tanque de aceite, bombas de lubricación, bombas del sistema de control, enfriador de aceite, tubería de lubricación y retorno de aceite.

Para poder instalar tanto el tanque de aceite como las bombas del sistema de control, fue necesario remover una capa del concreto para poder colocar las platinas y los tornillos respectivos que aseguran estos dos elementos.

Luego de haber removido la capa de concreto se perforaron 6 cajillas para el tanque de aceite y 6 más para el sistema de control, esto con el fin de instalar de forma adecuada los tornillos de anclaje.

Con las 12 cajillas perforadas se prepararon igual número de platinas colocándoles azas para poder ajustarlas, terminadas todas sus azas, las platinas se colocaron sobre las cajillas para marcar el sitio donde se perforaría el espacio para los tornillos de nivelación, ya con los tornillos situados correctamente se colocaron las platinas con sus tornillos de anclaje, luego de terminar con esta actividad, se fundió una capa de *grout*. Para el enfriador de aceite fueron preparadas de la misma forma sus dos platinas.

Figura 17. **Ubicación de las plantillas del tanque de aceite sobre su base**



Fuente: Ingenio La Unión.

Fraguado el *grout*, fueron colocados en el voladizo de la cimentación con una grúa viajera eléctrica, el tanque de aceite y las bombas del sistema de control. Para el enfriador de aceite se utilizó un cargador frontal que lo colocó cerca de sus platinas y polipastos de cadena, levantando con estos el enfriador y colocándolo en su sitio. Finalizado el montaje de estos tres elementos fueron apretadas sus tuercas de anclaje.

El sistema de tuberías consta de tres líneas: de control, de lubricación, y la de retorno de aceite; cada una de estas sale del tanque para lubricar las chumaceras de la turbina y generador y los engranajes de la caja reductora. Una vez que ha circulado por los lugares, es conducido hacia el enfriador de aceite y de allí retorna al tanque de aceite.

Para la instalación de la tubería de lubricación se inició con la tubería de retorno para ser más precisos con la que pertenecía al generador, para después fabricar las líneas de retorno de reductora, posteriormente se comenzó con la líneas de lubricación de los componentes previamente mencionados. Por último se instalaron las tuberías de la turbina, debido a modificaciones que fue necesario realizar antes de colocarlas en su posición. Las últimas líneas que se instalaron fueron las de control, y la principal de la turbina.

El proceso de instalación de toda la tubería inició con la selección y separación de las diferentes líneas de lubricación, utilizando los planos proporcionados por el fabricante de la turbina los cuales describían color material y dimensiones, para después ser trasladadas en orden hacia el lugar donde iban a ser instaladas.

Debido a que las tuberías necesitaban ser ajustadas a las distancias específicas de este montaje en particular, venían con una longitud mayor a la necesaria, para poder cortarlas y modificarlas según fuese necesario. Además de contar con las bridas de cada tubería empacadas sobre las mismas de manera inversa.

Al momento de iniciar con la instalación se removieron los seguros de las bridas, una vez que las bridas quedaron libres, fueron atornilladas a otra brida, ya acopladas las mismas se colocó la tubería en estas.

Una vez colocada la tubería se aseguró por medio de eslingas y la grúa puente, para poder medir las dimensiones necesarias, hacer las marcas correspondientes en las mismas, realizadas estas marcas, se removieron las tuberías nuevamente para poder cortarlas con oxígeno-acetileno para las tuberías de acero al carbono y con cortadora de tubos para las de acero inoxidable.

Concluido el corte se colocaron nuevamente sobre sus bridas para rectificar si las longitudes eran las correctas, de no ser así se procedía a cortar nuevamente hasta obtener la longitud deseada, además de considerar una leve inclinación para las tuberías de retorno al tanque de aceite, debido a que el aceite regresa por medio del flujo impulsado por la fuerza gravitacional.

Con las dimensiones adecuadas se procedió a fijar las tuberías a sus bridas por medio de puntos de soldadura al arco eléctrico, con electrodo E-6011 para las de acero al carbono y E-309 Mo-16 para las tuberías de acero inoxidable.

Figura 18. **Tubería de lubricación del aceite de retorno con sus cargadores**



Fuente: Ingenio La Unión.

Al momento de finalizar cada uno de las líneas de aceite, se trabaja la siguiente línea, en simultáneo con la fabricación de los cargadores del circuito anterior, para modificar los cargadores se separaba la sección vertical del mismo de su base, se medía la altura desde la cara de la base del mismo a la altura que indicaba el centro del tubo, luego se trasladaba esa altura a al cargador y se cortaba la sección sobrante del mismo.

Con el cargador a la altura adecuada se soldaba a su base, se marcaban los puntos para perforar en la base, donde luego se colocaban sus tarugos de anclaje, dejando así firme el cargador y por último se colocaba y apretaba la argolla de sujeción.

Al finalizar las tuberías y sus respectivos cargadores, se procedió a aplicarle la soldadura final la cual fue elaborada mediante el proceso de soldadura TIG con protección gaseosa de argón, con electrodos ER 905 B3 9018 para el acero al carbono y para el acero inoxidable ER 308L. En ambos casos se aplicaron dos cordones de soldadura.

Figura 19. **Brida de la tubería de lubricación, después de haber sido rematada**



Fuente: Ingenio La Unión.

#### 4.1.7. Montaje del condensador *gland condenser*

El condensador se encuentra apoyado sobre dos columnas de concreto a 1,5 metros de altura, a estas columnas fue necesario removerle la capa más externa unos 30 milímetros en toda el área superior de ambas columnas, finalizado esto se colocaron las platinas para poder marcar y posteriormente perforar los agujeros donde irán los tornillos de nivelación.

Con las marcas perforadas y asegurados los tornillos se colocaron y nivelaron las platinas con su respectivo tornillo de anclaje. Luego se aplicó el *grout*, una vez seco este se colocó el condensador sobre sus platinas y se aseguró apretando las tuercas de los tornillos de anclaje.

Figura 20. Vista del *gland condenser* situado sobre su base



Fuente: Ingenio La Unión.

#### **4.1.8. Instalación y fabricación de tuberías del sistema de enfriamiento**

Las tuberías de enfriamiento del sistema de lubricación y del generador, fueron fabricadas con acero al carbono de número de cédula 40, con diámetro de seis y tres pulgadas, estas líneas de enfriamiento inician en el tanque de aceite para la línea de lubricación y desde la fuente de agua para la de enfriamiento terminando ambas en el enfriador de aceite.

Para el proceso de fabricación se inició con la instalación de las válvulas y las bridas en las salidas y entradas del tanque de aceite y enfriador de aceite, a partir de allí se colocaron los codos de 90°, para después instalar las secciones de tubería recta cuyas distancias fueron determinadas por la longitud existente entre los codos del tanque y el enfriador.

Figura 21. **Fabricación de la tubería de agua de enfriamiento**



Fuente: Ingenio La Unión.

Con todos los accesorios y tuberías cortados e instalados, se procedió a fijarlos con la aplicación de puntos de soldadura al arco eléctrico, finalizadas las diferentes líneas del sistema de enfriamiento, se terminaron las uniones de los mismos con la aplicación de soldadura TIG.

Para el sistema de enfriamiento del generador se colocaron en las bridas de entrada y salida del enfriador, reductores para acoplarse adecuadamente a las necesidades de enfriamiento del generador.

Además de llaves de mariposa, antes de cada una de las dos entradas y dos salidas del enfriador. Tanto en la tubería principal de alimentación de agua como en la de descarga fueron instalados instrumentos indicadores de presión, manómetros.

#### **4.1.9. Instalación y fabricación de tuberías del condensador**

La fabricación de los tubos de estas líneas, inició con la instalación de dos bridas en la parte inferior de la turbina, estas son líneas que contienen vapor, fabricadas de acero con número de cédula 40 y tres pulgadas de diámetro, a partir de este punto fueron cortadas y soldadas por puntos, para después rematar con cordones de soldadura TIG.

En la tubería de agua se utilizó acero con el mismo número de cédula que las líneas de vapor, con un diámetro de seis pulgadas, también con soldadura con puntos y acabado con TIG. Este condensador cuenta con una línea para el venteo de los gases no condensables, hacia la atmósfera, además de la instalación de trampas de vapor.

## **4.2. Alineación entre turbina-reductor**

Con la turbina nivelada y centrada inició la fase de alineación de la turbina, ya que la caja reductora se tomó como punto de referencia para medir el grado de excentricidad que presentaba la turbina, tanto en forma horizontal como vertical.

Para obtener las lecturas fue necesaria la utilización de dos herramientas básicas, un reloj comparador y una herramienta alineadora, en esta última se coloca el reloj comparador en un extremo y en el otro se acopla con la brida de la caja reductora.

Al inicio se colocó la varilla de profundidad sobre la brida de la turbina mientras que la herramienta de alineación se fijó sobre la caja reductora, ya con ambos elementos en su lugar se inicia a girar la caja reductora con ayuda del giro lento.

Con la caja reductora girando manualmente por medio de su giro lento, se marcaron cuatro puntos sobre la brida de la turbina y a medida que el reloj comparador iba girando, indicaba el grado de excentricidad que presentaba una cara respecto a la otra.

Estos datos se anotaban para después realizar los ajustes necesarios en las platinas alineadoras, subiendo o bajando la turbina por medio de los tornillos de empuje, se medía nuevamente sobre los cuatro puntos de referencia marcados en la brida de la turbina, tanto de vertical como horizontal.

Además de alinear, también fue necesario ajustar la distancia entre la brida de la turbina y la del reductor, para medir esta distancia se empleó una varilla calibrada, y un micrómetro de exteriores, siempre sobre los cuatro puntos de referencia previamente marcados y comparando las lecturas con la tolerancia que el fabricante permitía para garantizar el funcionamiento adecuado el equipo.

Con la alineación y separación de las bridas dentro de los valores permisibles, se apretaron las tuercas y contra tuercas de los tornillos de anclaje con almódana y llave de golpe tanto en el reductor como en la turbina. Para esto fue necesario fijar las tuercas de abajo mientras, arriba se apretaba.

Figura 22. **Varilla calibrada y micrómetro para interiores**



Fuente: Ingenio La Unión.

Aseguradas las platinas de alineación, por el apriete de los tornillos, se efectuó el proceso de fijarlas entre ellas aplicándoles pequeños cordones de soldadura sobre las caras de mayor longitud, dos en una de ellas y uno más en la cara opuesta en donde se aplicó el par de cordones de soldadura.

Finalizando con todas las platinas de los dos elementos se fabricaron las formaletas para verter en este espacio capa final de *groutt*, y con esto asegurar la adherencia de la turbina y la caja reductora a la cimentación y evitar desalineación de ambos elementos.

### **4.3. Alineación entre reductor-generador**

Finalizada la alineación de la turbina con el reductor, se inició con la alineación entre reductor-generador, utilizando un reloj comparador y la base a donde este se acoplaba.

Ya con la base y el reloj comparador situado correctamente, se giraba, en el sentido que indicaba la coraza del giro lento, para verificar la suavidad de giro, y de ser necesario lubricar nuevamente la caja reductora.

Se marcaron cuatro puntos de referencia para poder hacer las mediciones de excentricidad respectivas sobre esos puntos, obtenidas las mediciones en sus cuatro puntos se calculaban los ajustes necesarios.

Con estos cálculos se levantaban las patas del generador con su tornillo de elevación y se agregaban láminas metálicas denominadas *shim* de diferente grosor según indicaban los valores calculados. Con las nuevas elevaciones se medía nuevamente, en ambos sentidos vertical y horizontal, para determinar si se añadía o retiraban láminas.

Al momento de medir la distancia entre las bridas del reductor y del generador, se consideró una característica especial: la distancia del centro magnético, la cual es la distancia a la que se encontrará el rotor del generador respecto a la caja reductora, cuando este se encuentre en funcionamiento.

Figura 23. **Medición de la excentricidad entre reductor y generador, con el comparador ubicado en posición horizontal**



Fuente: Ingenio La Unión.

Con esta distancia considerada se efectuaron las mediciones sobre los cuatro puntos marcados, con una varilla calibrada aproximadamente a la distancia existente, y el micrómetro de exteriores, esta misma fue ajustada empujando el generador ya sea en la parte del *coupling* o en la parte de la excitatriz. Fue necesaria la fabricación de puntos de apoyo en el lado de la excitatriz para empujar desde allí o desde la base del reductor según fuese necesario.

#### **4.4. Acoplamiento del sistema turbina generador**

Con el visto bueno por parte del representante del fabricante de la turbina *Shin Nippon* en cuanto a distancia y alineación, se inicia el proceso de acople limpiando las caras de las bridas tanto del lado del generador como de la turbina.

Para poder instalar los *couplin*, antes debieron de prepararse removiendo los tornillos espaciadores y los tornillos de acople, al finalizar con estos tornillos se movieron y situaron en su lugar ambos *couplin*.

Una vez situado previamente se colocaron los tornillos para que estos sujetaran el *couplin*, en ambos lados de cada uno de los dos *couplins*. Se les dio apriete con torque, dependiendo del tamaño de estos, ya que los del generador son más grandes que los de la turbina, debido al tamaño de las bridas.

Con todos los tornillos adecuadamente torquados 140 N-m para la turbina y 450 N-m para el generador, se limpiaron y lijaron las tapas que cubren las bridas. Con la corrosión removida se instalaron, primero en el lado de reductor-generador, a este lado se le fabricaron soportes adicionales a los que proporcionó el fabricante de la turbina.

En el lado de turbina-reductor fue necesaria la instalación de estopas a modo de empaque para evitar que el aceite se derrame, ya con las estopas en su lugar fueron colocadas dos piezas semicirculares que aseguraron las estopas.

Figura 24. **Apriete de los tornillos de las bridas entre generador y reductor, con su respectivo torquímetro ya calibrado**



Fuente: Ingenio La Unión.

#### **4.5. Pruebas del sistema de lubricación**

Para iniciar con estas pruebas fue necesario elaborar dispositivos auxiliares, donde circularía el aceite irrigado desde el tanque de aceite, para la fabricación de estos dispositivos se utilizaron algunas tapaderas de las diferentes bridas con las cuales venían protegidas las tuberías de lubricación.

A estas tapaderas, para modificarlas en bridas, se les perforó el centro, en donde después fue soldado un tubo de  $\frac{1}{2}$  pulgada, con la brida fabricada se le colocaron trozos de manguera de jardín de un diámetro mayor, y en el otro extremo de la manguera se fabricó una especie de colador con cedazo de calibre 105.

Al final de la línea principal de retorno de aceite, fue fabricado un colador circular con dos empaques de asbesto y en medio de estos la malla metálica, este se colocó previo a entrar al tanque de aceite. Las tuberías, por las cuales iba a circular aceite, fueron instaladas en sentido opuesto en algunos casos, o en un sentido distinto al de funcionamiento.

Con todos los coladores en su lugar se procedió a inspeccionar visualmente el tanque de aceite y la apertura de las diferentes válvulas, finalizada la inspección se empezó a llenar el tanque de aceite, con aceite tipo ISO VG 46. Se abrió una escotilla de llenado y se fue vertiendo el lubricante, hasta llegar a un nivel donde no se derramara el aceite al momento de retirar el colador de la entrada principal.

Con el tanque en su nivel de trabajo se iniciaron las pruebas de rotación de las bombas de alimentación de aceite, las de control y las de disparo. Estas pruebas consistían en verificar el sentido de rotación de las bombas, para esto fue necesario desacoplar la bomba y el motor, ya que si la dirección de rotación era incorrecta, se podía dañar la bomba.

Con todos los motores eléctricos del sistema de lubricación y control, probados, se arrancó la bomba auxiliar de alimentación y la bomba del sistema de control, de esta manera se inició con la circulación de aceite para limpiar así toda la tubería de lubricación.

Figura 25. **Filtro provisional de aceite, utilizado en la limpieza del sistema de lubricación**



Fuente: Ingenio La Unión.

Luego de una hora de estar circulando aceite, se detuvieron las bombas, se dio un compás de espera para que todo el aceite retornará al tanque, luego de finalizado el tiempo, se revisaron visualmente los coladores, con resultado de que estos habían capturado bastantes partículas contaminantes, se limpiaron y se colocaron nuevamente.

Finalizada esta primera circulación se arrancó nuevamente por una hora, con un resultado notablemente más limpio, la siguiente prueba fue de cuatro horas continuas con circulación de aceite y a partir de allí, la circulación fue de ocho horas. Con el mismo procedimiento de inspección, limpieza, e instalación de los coladores en sus respectivos lugares.

Cuando quedaron limpios los coladores se fueron reacondicionando los tubos en la posición de funcionamiento. En el venteo de la bomba principal fue colocada una placa de orificio, la otra fue colocada en una de las líneas de la válvula de cierre rápido.

Al momento de colocar las tuberías en su lugar se colocaron los visores en la línea de retorno de la caja reductora, y se conservó el colador ubicado en la entrada de aceite, para continuar con la irrigación de aceite.

#### **4.6. Soplado de la línea de admisión de vapor**

El soplado de la tubería de admisión es el proceso por el cual se hace circular vapor a alta temperatura y presión, esto con el fin de remover partículas que quedaron en el proceso de soldadura, además de otros elementos que, de no ser evacuados, dañarían seriamente a los componentes de la turbina.

Previa a iniciar esta actividad se desacoplo la válvula de emergencia y en su lugar fue fabricado un cilindro de acero para evitar el paso del vapor contaminado hacia los álabes de la turbina.

Otro elemento fabricado para este proceso, consistió en un tubo de acero de 25 centímetros de diámetro aproximadamente y 10 metros de largo, este contaba con una electro válvula de compuerta.

Esta electro válvula era abierta al momento de iniciar el soplado y cerrada luego de que este terminara. Para facilitar el trabajo esta válvula era accionada remotamente. Por un sistema motorizado y accionada desde una botonera.

El tubo del soplado se aseguró por medio de tuercas y los tornillos del bancazo de la turbina en la parte superior del espacio de la válvula de emergencia. Para asegurarla con el apriete adecuado, a esta se le agregaron una especie de espaciadores cilíndricos.

Al iniciar el soplado se abrieron la válvulas de las purgas para desalojar todo el condensado acumulado en la tubería, luego de esto se precalentó la tubería de admisión, dejando circular vapor hasta una temperatura de 485 °F, y con una presión de 600 psig, aproximadamente, al momento de la medición.

Con la tubería ya precalentada, se elevó la presión hasta unas 640 psig, en este momento se dio la apertura a la válvula principal o válvula de pie, dejando circular el vapor a la presión previamente descrita a lo largo de la línea de admisión, para que el flujo de vapor, a gran velocidad, removiera todas las partículas que se encontraran dentro de esta.

Figura 26. **Apertura de la válvula principal de vapor de admisión**



Fuente: Ingenio La Unión.

Cuando la presión en los domos de las calderas que efectuaron el soplado, alcanzó un mínimo de 500 psig se daba el aviso para cerrar la válvula principal concluyendo así con el soplado. Para calificar el avance de cada uno de los soplados, se colocó una placa de acero inoxidable denominada testigo a la salida del tubo, instalado para este fin.

Sobre esta placa impactaban todas las partículas que se encontraban en el interior de la tubería. Al momento de cambiar un testigo por otro, se evaluó la densidad de las marcas hechas por los objetos pequeños que impactaban en la superficie de la misma. Este proceso se repitió varias veces comparando cada placa con la anterior, y con esto medir el avance del soplado y el estado interno de la tubería.

Figura 27. **Cambio del testigo en la tubería de soplado**



Fuente: Ingenio La Unión.

Para reducir los daños provocados por la humedad existente en el vapor, se debe calentar la tubería dejando circular el flujo de vapor, hasta que, tanto la presión, como la temperatura estén en cómo mínimo 600 libras por pulgada cuadrada manométricas y 500 °F.

El soplado de la tubería de vapor se realizó en dos etapas debido a las necesidades de continuar con la operación de producción de azúcar y energía eléctrica, la segunda etapa fue la más larga, ya que se realizó durante varios días.

En esta fase del soplado se buscó que el vapor estuviera durante más tiempo a la presión y temperatura anteriormente descritas, para esto se abrió levemente la válvula de soplado aproximadamente un 10 por ciento durante unos minutos, para no afectar la presión y temperatura en las calderas.

Después de aproximadamente una hora de soplado al 10 por ciento, se abrió completamente la válvula automática de soplado y se dejaba durante un tiempo entre 2 y 3 minutos. Finalizado este se cerraba la válvula de pie, se abrían las purgas y se cambia el testigo.

Después de considerables soplados la tubería quedo lo suficientemente limpia como para que el técnico del fabricante de la turbina diera por terminado este proceso.

Figura 28. Comparación de los primeros seis soplados



Fuente: Ingenio La Unión.

Figura 29. Testigo número 65, aprobado por el técnico de *shin nippon*



Fuente: Ingenio La Unión.

#### **4.7. Instalación de la válvula de emergencia *stop valve***

Finalizado el soplado, fue montada la válvula de emergencia retirando el disco que la bloqueaba agregándole unas azas para poder removerla de su ubicación con el uso de una grúa puente. Al quedar libre se limpió manualmente el sitio donde se encontraba, para luego instalar la válvula de emergencia, su cubierta con filtro, y los respectivos sellos.

Antes de instalar la parte que hace el sello de esta válvula se limpió y ajustaron sus tornillos castigadores, para poder instalarla adecuadamente en su posición de funcionamiento. Ya con la medalla situada en su lugar se instalaron la cubierta con el filtro, y su sello, para después darle a los tornillos el apriete necesario con el uso de llave de golpe y almádana.

Figura 30. **Instalación de la válvula de emergencia *stop valve***



Fuente: Ingenio La Unión.



## **5. FASE DE DOCENCIA**

### **5.1. Inducción a las actividades de operación del sistema turbina generador**

Como todo equipo un turbogenerador necesita diferentes tipos de mantenimiento, tanto en la operación como cuando se encuentre fuera de servicio.

#### **5.1.1. Inducción al proceso de arranque**

En las actividades previas al arranque, se puede describir como primera de ellas, cuando se llenó con gas nitrógeno un acumulador hasta una presión de 240 psi, por medio de un dispositivo que el fabricante proporcionó. Otra de estas actividades consistió en la calibración de todos los sensores de vibración ubicados en la turbina, reductores y generador.

Además de los ajustes anteriores, fue necesario calibrar el reóstato que alimenta con corriente directa la bomba DC. A una corriente de 130 A y 100 V aproximadamente. Entre las revisiones hechas al generador se puede mencionar la prueba de la bomba de levante, la cual al ser accionada permitió que el rotor del generador rotara libremente.

Con todas las pruebas previas finalizadas, se inició el arranque del turbogenerador con la apertura de las válvulas de purgas, para desalojar todo el condensado, el siguiente paso fue asegurar tanto la temperatura como la

presión en las calderas de 600 psi. Aproximadamente a una temperatura de unos 700 °F y 640 psi de presión.

El proceso de arranque del turbogenerador debe ser de la siguiente forma:

- Precalentar la tubería de admisión de vapor.
- Arranque en forma manual la bomba auxiliar y DC de lubricación, la extractora de gases de aceite y de gases no condensables, además de las bombas de presión de aceite para el gobernador y la bomba de levante del generador.
- Colocación de todos los dispositivos anteriores en su posición automática.
- Venteo de las líneas de lubricación y revisión de la presión diferencial en el filtro de aceite.
- Revisión que exista agua de enfriamiento en las líneas de agua al enfriador del generador y de aceite.
- Revisión de las condiciones apropiadas en las calderas.
- Revisión de que todas las alertas estén apagadas y reiniciadas.
- Apertura de ambas válvulas de admisión.
- Apertura de las válvulas de purga ubicadas en la turbina.

- Apertura de la válvula de emergencia *stop valve*.
- Revisión de que la válvula de emergencia esté completamente abierta.
- Apertura de la válvula de purga del gobernador.
- Calentamiento del gobernador.
- Colocación del *turning gear* en modo enganchado.
- Se presiona el botón de inicio.
- Tanto el *turning gear* como la bomba de levante deben estar en línea.
- Una vez alcanzadas las 600 rpm asegurarse de que el *turning gear* y la bomba de levante, se encuentren fuera de línea.
- Una vez alcanzada la velocidad ralentí el gobernador automáticamente mantendrá esta velocidad para calentar la turbina.
- Asegurarse de seguir la curva de arranque proporcionada por el fabricante, ya sea arranque en frío (ocho horas fuera de línea) o arranque en caliente (menos de dos horas fuera de línea).
- Se presiona el botón *rated speed*. Para que automáticamente alcance su velocidad de operación según el programa del gobernador.
- Una vez alcanzado el 95 por ciento de la velocidad de operación se cierran todas las válvulas de purga.

- Al llegar a su velocidad de operación se inicia el proceso de sincronización del turbogenerador.

### **5.1.2. Inducción a las actividades y controles en operación**

Las actividades de control son indispensables para garantizar la correcta operación de los equipos, su integridad física prolongando de esta forma su vida. Entre las actividades y controles más importantes para la adecuada operación de un turbogenerador se puede mencionar:

- Limpieza exterior tanto de la turbina, el reductor, y el generador. Además de limpieza en el área circundante.
- Inspección con la vista, el tacto, el olfato y el oído de todos los componentes que conforman el conjunto del turbogenerador, con el fin de encontrar situaciones anormales en la operación.
- Monitorear los instrumentos de medición y/o control tales como:
  - Los termómetros montados en el panel de control que corresponden a la admisión y escape de la turbina, los que se encuentran a la entrada y salida de los sistemas de enfriamiento.
  - Los sensores de vibración en el turbogenerador, y también el desplazamiento axial de la turbina, los instrumentos indicadores se encuentran en el panel de control.

- La instrumentación que indica la presión ya sea de aceite, vapor o las presiones diferenciales entre la entrada y salida del filtro de aceite.
- Llevar una bitácora con los acontecimientos importantes, como también, un historial de los parámetros de control anteriormente descritos, para una futura referencia.

### **5.1.3. Inducción a las diferentes alertas de los sistemas de protección**

Los equipos y sistemas de alta velocidad y presión deben contar con alertas y sistemas de protección para salvaguardar la integridad del equipo además de las vidas de las personas que operan este o de las que se encuentran cerca de la zona. A estas acciones de protección posteriores a las alarmas, comúnmente se les denomina disparos.

Entre los más comunes se pueden mencionar:

- Disparo de la turbina por sobre velocidad mecánico: este se acciona al alcanzar las 5515,4 rpm, este consiste en que la turbina deja de acelerar y comienza a frenarse debido a que la válvula de emergencia se ha cerrado. Para poder reiniciar el arranque de la turbina la velocidad de la misma debe ser menor a las 750 rpm y presionar el botón de reinicio situado en la parte posterior de la turbina.
- Disparo eléctrico de la turbina por sobre velocidad: 5 438 rpm. No fue necesario apretar algún botón solo esperar nuevamente que la velocidad se normalizara.

- Existen alarmas visuales en el panel de control, que su vez son sonoras para indicarle al operador la misma iluminando la alarma que se ha activado. Tales como:
  - Alarma de sobre velocidad.
  - Falla de gobernador.
  - Alarma manual.
  - Alarma remoto.
  - Alarma por desplazamiento axial alto.
  - Alarma por baja temperatura del vapor de entrada.
  - Alarma por alta vibración del lado de alta presión de la turbina.
  - Alarma por alta vibración del lado de baja presión de la turbina.
  - Alarma por alta vibración en el reductor, lado de la turbina.
  - Alarma por alta vibración en el reductor, lado del generador.
  - Alarma por alta vibración en el generador sin carga.
  - Alarma por alta vibración en el generador con carga.
  - Alarma por alta presión de vapor de escape.

- Alarma por baja presión de aceite de lubricación.
- Alarma por baja presión de aceite de control.
- Alarma por alta temperatura en el cojinete de empuje en el lado inactivo.
- Alarma por alta temperatura en el cojinete de empuje en el lado activo.
- Alarma por alta temperatura en la chumacera lado alta presión.
- Alarma por alta temperatura en la chumacera lado de baja presión.
- Alarma por alta temperatura en la chumacera del piñón del reductor, lado de baja presión en la turbina.
- Alarma por alta temperatura en la chumacera del piñón del reductor, lado de alta presión en la turbina.
- Alarma por alta temperatura en la chumacera del piñón del reductor, lado generador.
- Alarma por alta temperatura en la chumacera del volante del reductor, lado turbina.
- Alarma por alta temperatura en la chumacera del volante del reductor, lado generador.

- Falla del generador.
- Alarma por desplazamiento axial excesivo.
- Alarma por baja temperatura en el vapor de admisión.
- Alarma por vibraciones altas, en el lado de alta presión de la turbina.
- Alarma por vibraciones altas, en el lado de baja presión de la turbina.
- Alarma por vibraciones altas, en el eje del lado turbina del reductor.
- Alarma por vibraciones altas, en el volante del lado generador del reductor.
- Alarma por alta temperatura del aceite de lubricación.
- Alarma por bajo nivel en el tanque de aceite.
- Alarma por alta presión diferencial en el filtro de aceite de control.
- Alarma por alta presión diferencial en el filtro de aceite de lubricación.
- Alarma de baja presión de la bomba de levante del generador, lado frontal.

- Alarma de baja presión de la bomba de levante del generador, lado trasero.

## **5.2. Inducción a las actividades de mantenimiento**

Las actividades de mantenimiento consisten en aquellas acciones que garantizarán el adecuado funcionamiento del equipo, ya sea cuando está en operación durante la temporada de zafra o de reparación.

### **5.2.1. Mantenimiento de la turbina**

Durante la temporada de zafra, el mantenimiento de la turbina en su mayor parte se enfoca en asegurar su funcionamiento, mientras que durante la temporada de reparación el mantenimiento en algunos casos ya es correctivo y en otros, preventivo o predictivo.

#### **5.2.1.1. Mantenimiento de los sistemas y equipos auxiliares**

Para las paradas cortas menores a un mes, las válvulas de purga, la principal y las de enfriamiento deben mantenerse cerradas; las válvulas de purga deben abrirse una vez por semana para drenar el condensado.

Otras de las actividades para las paradas cortas es revisar el reductor, y comprobar si existe algún indicio de corrosión en los dientes de los engranajes. De existir esta se debe investigar la causa de la misma y removerla para evitar que los dientes de los engranajes sigan corroyendo toda la rueda dentada, además debe medirse la zona de contacto de los engranajes con azul de prusia.

Uno de los elementos auxiliares son los cojinetes de empuje, estos deben ser inspeccionados en cada temporada de mantenimiento del Ingenio, su inspección consiste en medir con un reloj comparador el desgaste del mismo para evaluar si es necesario o no renovar la capa protectora del babbit, el reloj comparador se coloca en la parte externa y se va moviendo hacia adentro en cada una de las secciones de cada mitad del cojinete.

Para el condensador se deben verificar el estado de los tubos interiores del mismo para evitar que el agua de enfriamiento se filtre hacia la parte del vapor, de encontrar una fuga el tubo debe taponarse y anotarse en la bitácora para llevar el control de los tubos dañados a lo largo de los años de operación.

Otro elemento al cual se le debe prestar mucha atención al momento de realizarle el mantenimiento es a la *stop valve*, ya que esta detiene el flujo de vapor en caso de que los parámetros seguros de operación se encuentren fuera de rango, se debe inspeccionar que esta misma se active, que los sellos y el fuelle se encuentren en buen estado.

Al momento de extraer la medalla del *stop valve*, es recomendable examinarla con un ensayo no destructivo de líquidos penetrantes, con el fin de localizar fisuras o cualquier otra imperfección que pueda ocasionar que esta se resquebraje. También es necesaria la limpieza del filtro para asegurar que la presión y flujo de vapor sean los adecuados.

### **5.2.1.2. Mantenimiento del sistema de lubricación**

La bomba del sistema auxiliar de lubricación deberá ser accionada entre dos o tres veces a la semana para hacer circular el aceite por todo el sistema de lubricación, para evitar corrosión y que al momento de operar esta sea arrastrada hacia el interior de la turbina.

Entre las inspecciones diarias que deben realizarse al sistema de control están las de encontrar fugas ya sea en el agua de enfriamiento, o fugas de aceite, de existir fugas, deberán tomarse las acciones necesarias según donde se encuentren las mismas, tales como: aplicación de soldadura, cambio del empaque situado entre las bridas, cambio de los acoples de los diferentes manómetros o termómetros ubicados a lo largo de las tuberías.

Además de verificar que la presión diferencial en los filtros sea la indicada por el fabricante unas 11,4 psig, de exceder esta será necesario cambiar el filtro, por el que está en estado de espera, y limpiarlo para el sistema de lubricación, en el caso del sistema de control el filtro es descartable por lo que deberá ser remplazado por uno nuevo.

Para el cambio del filtro es necesario seguir el siguiente procedimiento:

- Para los filtros del sistema de control.
  - Abrir la válvula de la tubería de compensación y el venteo de aire, llenar con aceite en la cámara del filtro, una vez purgado todo el aire cerrar el venteo del aire.

- Rotar la manija del cambio del filtro hasta que esté en contacto con un vástago de detención.
- Asegurarse de cerrar la válvula de la tubería de compensación, después aflojar la purga de aire en la cámara del filtro que será remplazada, abrir la purga y drenar completamente la cámara anteriormente descrita.
- Cerrar completamente la válvula de purga.
- Remover los tornillos ubicados en la tapa de la cámara.
- Levantar la tapa junto con el filtro, ambos elementos salen al mismo tiempo, con la precaución de que el filtro no toque los bordes de la cámara.
- Remover las tuercas del fondo y el filtro de la tapa en ese orden.
- Remplazar el filtro.
- Para reensamblar deben de seguirse los pasos anteriormente descritos en orden inverso.
- Para los filtros del sistema de lubricación.
  - Abrir la válvula de venteo hasta que el aceite salga de la tubería de venteo.

- Abrir la válvula dejando salir un poco de aceite de la cámara de aceite.
- Girar la manija superior entre una y dos vueltas hacia la izquierda, hasta que la manija del cambio de filtro pueda moverse libremente.
- Mover la manija inferior para que indique el otro filtro, hasta que haga contacto con su vástago.
- Girar la manija superior tanto como sea posible hacia la derecha y apretarla manualmente.
- Aflojar la tuerca de apriete de la tapadera.
- Remover la tapadera con el filtro y desmontar el filtro de la tapadera.
- Limpiar la malla metálica y el imán.
- Para ensamblar el filtro, seguir el proceso en orden inverso.

### **5.2.1.3. Mantenimiento del rotor de la turbina**

Se recomienda, en el periodo de mantenimiento a corto plazo, que se comprueben tanto el desplazamiento axial como la vibración del mismo, de ser necesario hay que balancear el mismo y así reducir las vibraciones, además de revisar el estado de los laberintos, sellos de vapor, los álabes de la turbina, y el

espacio en donde debe ir el aceite lubricante, esta actividad se realiza con un calibrador de laines.

De encontrarse imperfecciones producto del contacto entre el eje y la chumacera se recomienda pulir con una lija de grado fino el muñón del eje esto para evitar el daño del eje o del *babbitt* de la chumacera.

Para inspeccionar el contacto entre un eje y la chumacera se utiliza una pasta azul llamada azul de prusia, esta se aplica sobre el eje y luego se rota manualmente el rotor, para dejar una marca visual del contacto entre ambos elementos. De ser necesario la chumacera se limpia con una esponja de lavar platos para eliminar las protuberancias que esta pueda tener.

Para una inspección más adecuada hay que sacar el rotor del bancazo, una vez removida la mitad superior del bancazo hay que desmontar las chumaceras tanto la frontal como la trasera. Luego hay que desmontar si aún se encontrara la cobertura de la brida del rotor de la turbina.

Es necesario, una vez terminado el paso anterior que sean desmontadas las tapaderas de las chumaceras, y cojinetes. Después hay que remover las guías de las chumaceras, se protege el eje del contacto directo con las eslingas. Se levanta el rotor con mucho cuidado para luego colocarlo en una base especialmente diseñada para ajustarse a las dimensiones del rotor.

#### **5.2.1.4. Mantenimiento del sistema de entrada y salida de vapor**

Para evitar que la energía térmica contenida en el vapor se pierda, es necesario aislar la tubería, este aislamiento consiste en dos capas: una que es la que entra en contacto con la superficie del tubo, es un recubrimiento de fibra de vidrio asegurada por medio de cedazo de corral, sobre esta misma se cubre con una capa exterior elaborada con láminas de acero inoxidable, fabricada según la sección de la tubería lo requiera.

Las bridas que unen la línea principal de admisión y escape de vapor llevan entre ellas sellos de vapor metálicos, que una vez alcancen su vida útil, es necesario que sean remplazados por sellos nuevos.

Los pernos que unen ambas bridas deben de ser inspeccionados en su estado físico y en su apriete, para evitar pérdidas de vapor, y daños a las bridas que comprometerán el adecuado sello en el futuro.

Las inspección de las diferentes trampas de vapor es obligatoria, ya que si no se hace, y se encuentran dañadas, no podrán evacuar el condensado acumulándose este en la tubería, lo que provocaría un golpe de ariete que puede dañar seriamente la línea de vapor y a las personas que se encuentren en los alrededores de la misma.

#### **5.2.1.5. Mantenimiento del bancazo de la turbina**

El bancazo debe ser inspeccionado para limpiar la suciedad procedente de la acumulación de pequeñas partículas de bagazo y la corrosión que pueda presentar. También es necesario revisar que los anillos en el bancazo tengan una holgura y puedan moverse libremente. Para aquellas paradas que no excedan de un año el bancazo de la turbina y la *stop valve*, deben ser llenadas con nitrógeno o aire seco.

Al momento de necesitar un mantenimiento mayor que amerite abrir la turbina, el primer paso es remover toda la fibra de vidrio y material aislante que se encuentre unido a la turbina.

El siguiente paso es remover la válvula de emergencia, se debe aislar la válvula del gobernador en el lado de alta. Una vez aislada dicha válvula, separar ambas partes del bancazo hay que prestar atención en la forma que será levantada la sección superior del bancazo para que sean colocadas adecuadamente las eslingas sobre los puntos de apoyo del bancazo.

Ya con las dos mitades separadas se remueven restos de material con el que el empaque está hecho normalmente llamado asbesto, de allí se pulen con piedra esmeril toda imperfección que presenten las mitades para asegurar un sello adecuado.

Para fabricar nuevamente el empaque se coloca un pliego de asbesto con el tamaño adecuado sobre una de las superficies del bancazo y se marcan ejerciendo presión a lo largo del contorno y de esta forma ir cortando el exceso de material del empaque.

## 5.2.2. Mantenimiento del generador

Un generador tiene diversas condiciones básicas: en funcionamiento, cuando está en reposo, con el rotor dentro del estator, con el rotor fuera del estator, por último, si está o no está sincronizado. Dependiendo de en qué condición se encuentre así es su mantenimiento.

### 5.2.2.1. Mantenimiento del estator

Para las bobinas del estator es necesario medir la resistencia del aislamiento, en cada una de sus fases, con el megóhmetro o *megger* con un voltaje no mayor a la mitad del voltaje nominal del generador, este toma un minuto para hacer toda la medida dando un aviso sonoro a los 30 segundos de iniciada la medición, si la resistencia es menor que la indicada en la tabla VII, se debe encontrar la causa y solucionarla antes de que el generador entre en operación.

Tabla VII. **Temperatura y resistencia eléctrica del aislamiento del generador**

Temperatura de las bobinas	°C	0	10	20	30	40	50
	°F	32	50	68	86	104	122
Resistencia del aislamiento	MΩ	128	64	32	16	8	4

Fuente: BRUSH HMA B.V, *Generator Operation & Maintenance Manual*, volumen 1. p. 62.

Cuando la lectura del megóhmetro indique la presencia de humedad en las bobinas del estator, hay que retirar la misma aplicándole calor, que debe incrementarse lentamente sin exceder los 80 °C.

Además de mantener bien ventilada la zona para poder evacuar la humedad, para evitar que las bobinas la absorban nuevamente, debe de ponerse en servicio tan pronto como sea posible.

En caso de que los componentes del estator estén contaminados por aceites, líquidos, polvo, o bagacillo, se recomienda que sean limpiados con solventes que no dañen el aislamiento de las bobinas o el que se encuentra situado entre ellas.

#### **5.2.2.2. Mantenimiento del rotor**

Las labores de mantenimiento no pueden realizarse con el rotor dentro del estator, por esto es necesario removerlo de su posición de trabajo hasta la posición donde se le dará mantenimiento. Para sacar el rotor deben de contarse con ciertos dispositivos y herramientas que se enlistan a continuación:

- Grúa puente
- Dos eslingas
- Dos dispositivos para levantar el rotor
- Un perno con asa M64X90
- Dos pernos con asa M24
- Una tubería de extracción para el lado excitatriz
- Un dispositivo de levante
- Una placa deslizante
- Un disco deslizante

- Una suela deslizante en forma de “L”
- Un polipasto de tres toneladas
- Aceite de alta viscosidad
- Herramientas comunes

Con las herramientas anteriores debe contarse con un equipo adecuado que soporte el peso del rotor mientras este se retira de la parte interna del generador, en algunos caso se fabrica una tubería de extracción esta debe acoplarse a la parte del rotor del lado de la excitatriz, se debe posicionar un dispositivo de levante a continuación del tubo. Para levantarlo cuidadosamente, luego debe extraerse la chumacera faltante.

Una vez removida una chumacera debe apoyarse el lado de la excitatriz a otro dispositivo para mover la grúa puente hacia el otro lado del rotor. Se debe colocar el dispositivo de levante del lado de la excitatriz mientras la grúa debe ser posicionada en el lado opuesto a la excitatriz (lado *coupling*), ya con ambos elementos en su lugar se comienza a levantar el rotor.

Ahora corresponde deslizar una placa engrasada entre el rotor y el estator, luego hay que posicionar la suela deslizante en forma de “L” en el polo más bajo del rotor del lado *coupling*, para luego apoyar el peso del rotor en dicha placa.

La grúa puente ahora debe de moverse al lado de la excitatriz para soportar el peso y poder remover el dispositivo de levante, ahora se instala el disco deslizante en lado *coupling*.

Atornillar un perno con asa en el orificio que se encuentra del lado de la excitatriz e instalar un polipasto, entre el perno y un punto fijo detrás del eje, jalar con el polipasto a través del estator hasta que el disco de deslizamiento se encuentre en su posición, levantar el rotor lentamente hasta que se apoye en el disco deslizante.

El rotor se sigue extrayendo hasta que su centro de gravedad este fuera del estator, coloque el dispositivo de levante debajo de la tubería de extracción, se baja el rotor sobre ella, se retira el polipasto y la grúa, ahora se instala la grúa en el centro de gravedad. Se remueve el dispositivo de levante y se levanta el rotor desde este punto.

Con el rotor fuera del estator pueden realizársele pruebas, algunas de ellas son para medir la humedad del mismo; si este se encuentra demasiado húmedo es necesario que se le coloquen lámparas de calor para extraer toda la humedad.

### **5.2.2.3. Mantenimiento de los componentes auxiliares**

Para las chumaceras que soportan el peso del rotor del generador, se deben tomar medidas para su protección, tanto mientras se encuentra en marcha, como cuando este entra en su etapa de reparación, es necesario medir y controlar las vibraciones y la temperatura de las mismas para no dañar las superficies que se encuentran en contacto, además de verificar que el espacio entre la chumacera y el eje del rotor, ya que sobre este circula la película de aceite que evita el contacto de metal con metal.

La tubería por donde el aceite fluye, también es necesario que sea inspeccionada en cada turno para detectar fugas entre las bridas y poder corregir estas, y evitar una pérdida de presión que comprometería la integridad del babbit de la chumacera o dañaría el eje del rotor.

Otro elemento auxiliar es la excitatriz, situada en un extremo del generador, en este caso en particular se encuentra dentro del bancazo del generador, una de las pruebas que son necesario realizarle, para ver el estado de las bobinas es la que se realiza con un dispositivo denominado megóhmetro también conocido como *megger* de 250 V, el cual indica valor en ohmios, que a su vez, indica el estado del aislamiento, de ser este muy bajo (por debajo de 2 G $\Omega$ ), es necesario que instalarle a la excitatriz un sistema de calefacción que evapore la humedad.

A la excitatriz, también se le revisan los puentes de diodos, tanto visual como con dispositivos tales como los multímetros, de ser necesario se cambian los componentes defectuosos de la siguiente forma:

- Remover los bloques de enfriamiento de los diodos.
- Remover los diodos usados
- Probar e instalar los nuevos diodos, teniendo en cuenta que deben de montarse en la posición correcta.
- Montar los diodos con su bloque de enfriamiento en el anillo de diodos.

En los anillos deslizantes y carbones del generador debe revisarse el desgaste; cuando este exceda de un 35 por ciento de su tamaño original debe de ser remplazado, al encontrar residuos contaminantes estos deben ser removidos con aire comprimido seco.

#### **5.2.2.4. Mantenimiento de los sistemas de control y monitoreo**

Entre estos sistemas se pueden mencionar todos los instrumentos que miden temperatura, y vibraciones situados en diferentes puntos del generador, para estos instrumentos es necesario revisar que estén correctamente calibrados para que no den lecturas erróneas que puedan disparar la máquina o causarle un daño irreparable.

Además, revisar que estén adecuadamente conectados al sistema de control y monitoreo que lleva toda esta información, hasta una pantalla de una computadora en el cuarto de control.

De encontrar algún desperfecto, estos son desmontados y llevados a reparación para comparar sus valores con un instrumento patrón que se encuentra en las instalaciones del taller de instrumentación.

En algunos casos, estos pueden ser remplazados por unidades que se encuentren de repuesto para no afectar la adecuada operación del generador.

#### **5.2.2.5. Mantenimiento del bancazo del generador**

El bancazo del generador es el espacio donde van situados tanto el estator como el rotor, además de las chumaceras, sus bombas de levante y dispositivos de control y monitoreo.

Este elemento es quizás la porción de un generador cuyo mantenimiento es más simple, ya que los demás elementos pueden desmontarse del mismo y realizar sus tareas por aparte.

Entre las actividades de mantenimiento que se pueden mencionar se encuentra la inspección visual en busca de corrosión, suciedad, o daños a su estructura, o alguna fuga de aceite en la bomba de levante.

Es necesario que los compartimientos donde se alojan el rotor, el estator, y la excitatriz se encuentren limpios, ya que pueden dañarse de no ser así. Otros compartimientos que deben estar limpios es donde se encuentran las resistencias para la calefacción y la caja de conexiones.

En la caja de conexiones hay que tener especial atención a los *bushings*, ya que si estos no se encuentran en su posición correcta, pueden crear un corto circuito, comprometiendo la vida útil del generador y de las personas cercanas al equipo. De la misma forma si estas conexiones no están debidamente aterrizadas.

#### **5.2.2.6. Mantenimiento del sistema de refrigeración del generador**

El sistema de enfriamiento es el encargado de reducir la temperatura de los devanados del generador, se puede considerar el sistema desde su inicio con las bombas en enfriamiento, luego las tuberías, válvulas y manómetros, hasta llegar a las bridas que conectan con el enfriador del generador.

En las bombas se revisan que no tengan fugas cuando se encuentran en operación de haber fugas, se detiene una para que la otra haga el trabajo. En la bomba que ha quedado fuera de línea se inspeccionan los sellos, ya sea mecánicos, que estos reparase, o de estopa los cuales deben remplazarse.

Si la fuga se presenta en una tubería se puede reparar mediante la soldadura eléctrica, si es entre las bridas de dos tuberías es necesario reemplazar el sello que existe entre ambas. Para los manómetros y termómetros en ocasiones estos cuentan con alguna llave de globo, la cual puede cerrarse para darle mantenimiento al instrumento indicador de presión o temperatura.

## CONCLUSIONES

1. Con el montaje del turbogenerador de 22 Mega Watts y la caldera Isgec John Thompson se incrementará la eficiencia energética, ya que la producción de vapor aumentará un 58,5 por ciento, mientras que se reducirá en un 12 por ciento el consumo de energía eléctrica, asegurando así la continuidad en la operación del ingenio La Unión.
2. Para el arranque de la zafra 2013-14 se utilizó únicamente bagazo, lo cual significó una reducción en el consumo del bunker superior al 80 por ciento en comparación a los galones que se utilizaron en la zafra 2012-2013, y está proyectado que la zafra 2014-2015 se opere únicamente con bagazo.
3. El ahorro en el consumo de energía eléctrica al momento de iniciar la operación del nuevo turbogenerador de 22 Mega Watts será de unos 139 303,03 Kilo Watts por hora en los 176 días de zafra, aproximadamente esta representa una reducción cercana al 70 por ciento en el consumo de energía eléctrica.
4. Para la zafra 2014-15 estarán únicamente en línea los turbogeneradores 6 y 7 para el vapor de escape hacia refinería, con estos se garantiza una operación continua, ya que los turbogeneradores 3 y 5, presentaban fallas ocasionalmente, reduciendo con esto el vapor que es enviado hacia la fábrica para la producción de edulcorantes.

5. Con la puesta en marcha del nuevo turbogenerador 7 de contrapresión, se tendrán como equipos de respaldo los turbogeneradores 3 y 5, en caso de que este equipo nuevo o el turbogenerador 6 presenten una falla, paro innecesario o de emergencia.
  
6. Los costos de mantenimiento se reducirán, ya que un equipo nuevo cuenta con amplio margen en horas de operación, lo cual repercute en la eficiencia con la que trabajan, en comparación con el equipo que se encuentra funcionando en la actualidad, asimismo, brindar costos operacionales bajos.

## RECOMENDACIONES

1. Revisar que todos los componentes se encuentren en buenas condiciones de operación antes iniciar con el proceso de arranque del turbogenerador. A fin de evitar que el equipo funcione inadecuadamente o se averíe.
2. Monitorear y registrar cada cuatro horas todos los parámetros de operación que se registran en pantalla, en el panel de control, con dispositivos portátiles y aquellos que son tomados en los instrumentos de medición ubicados en el equipo.
3. Revisar el estado y nivel del aceite, agua de enfriamiento, calidad y temperatura de vapor, para evitar que los disparos de protección se activen y detengan la turbina, perdiendo así las condiciones que necesita la fábrica, y la venta de energía eléctrica.
4. Asegurarse que las calderas de vapor que alimentan el sistema de turbogeneradores de contrapresión, tengan la presión y temperatura de trabajo para evitar que al momento de poner en línea una de las turbinas, exista arrastre de agua que dañe los álabes de la turbina, o que estas se disparen y detengan la producción de azúcar.
5. Probar el adecuado funcionamiento de los disparos por sobre velocidad de la turbina, para evitar que esta se destruya, comprometiendo la seguridad física de los operadores y la operación del Ingenio.

6. Verificar que las bombas de lubricación de emergencia, DC, AC, y levante, funcionen adecuadamente y estén en posición de automático; en caso de que exista un disparo de emergencia del turbogenerador, ya que de encontrarse en posición manual no se lubricará todo el sistema de turbogenerador, dañando así las chumaceras y los ejes de ambos rotores.

## BIBLIOGRAFÍA

1. BAUMEISTER, Theodore; AVALLONE Eugene. *Marks Standard Handbook for Mechanical Engineers*. 10a ed. Estados Unidos: McGraw-Hill, 1996. 1683 p. ISBN 0-07-004997-1.
2. BRUSH HMA B.V., *Installation, operation and Maintenance Manual*, Países Bajos: 2013 121 p. Vol. 1.
3. CHAPMMAN, Stephen. *Máquinas eléctricas*. 4a ed. México: McGraw-Hill. 267 p.
4. CRESPO VILLALAZ, Carlos. *Mecánica de suelos y cimentaciones*. 5a ed. México: Limusa, Noriega Editores 2004, 650 p. ISBN 968-18-6-489-1.
5. DEGLER, H.E.; MILES, J.C; SEVERNS, W.H. *La producción de energía mediante el vapor de agua, aire y los gases*. 5a ed. España: Reverté, 1982. 503 p. ISBN 84-291-4890-6.
6. ENDESA EDUCA. *Los generadores eléctricos*. [en línea] [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). [Consulta: 01 de septiembre de 2014].

7. GAONA HERNÁNDEZ, Fredy. *Diseño y construcción de un generador eléctrico para un aerogenerador de baja potencia*. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Facultad de Ingeniería Eléctrica, 2010. 84 p.
8. HERNÁNDEZ CANALES, Juan Carlos. *Características físicas y propiedades mecánicas de los suelos y sus métodos de medición*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería, 2008. 466 p.
9. LACÁN BARRIENTOS, Myson Benjamín. *Montaje de un turbogenerador de 1500 KW en el Ingenio Santa Ana*. Trabajo de graduación de Ing. Mecánico. Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería, 2005. 139 p.
10. MOLINA CALDERÓN, José. *De trapiche a ingenio, la aventura de una empresa familiar*. Guatemala: Galería, 2005. 301 p. ISBN 99922-846-1-7.
11. SHIN NIPPON MACHINERY CO, *instruction manual, Section F Installation Procedure*. Japón: 2013. 25 p. Vol. 1.
12. \_\_\_\_\_. *Instruction manual, Section J Maintenance*. Japón: 2013 46 p. Vol. 1.
13. VELÁSQUEZ AGUILAR, Luis Alberto. *Estudio de mejora de la condición de operación en una turbina de vapor elliott modelo DYT*. Trabajo de graduación de Estudios de Posgrado. Universidad de San Carlos de Guatemala, ERIS, 2007. 104 p.