



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Mantenimiento mayor a una
Turbina de Vapor -
Alineación de turbina**

INFORME DE ACTIVIDADES PROFESIONALES

Que para obtener el título de
Ingeniera Mecánica

P R E S E N T A

Yozadath González Riverón

ASESOR DE INFORME

Dr. Adrián Espinosa Bautista



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2019

AGRADECIMIENTOS

Al Universo y la vida por demostrarme que no hay obstáculo que pueda frenar mi desarrollo y avance, para que pueda triunfar y sacar mis objetivos.

A esa pequeña niña que siempre soñó bien alto y nunca dejo de creer en Yozy, que no importa cuánto hemos pasado para que cada vez nos levantemos más fuertes. Gracias chiquita Yozy.

A mi cachorro por esos consejos tan atinados y acompañarme aún en las aventuras que se veían más difíciles, que aún con los sustos que hemos pasados hemos salido victoriosas como guerreras. Gracias mamita.

A mis hermanas, que con por tanto tiempo me han apoyado y hemos compartido aventuras que nos hicieron ser el equipo que somo hoy, por ser mis confidentes. Gracias mis manitas lindas, Dinath y Carla.

A mi chaparrita por acompañarme en esas noches de trabajo, por esos ricos almuerzos y consejos, por tu franqueza. Gracias abue.

A mi tía y mis chiquitas por echarme porras desde las lejanías de Canadá. Gracias chiquitas.

Gracias a los Naranjo, al ingeniero por Naranjo porque desde niña fue quien me enseñó que podía ser una campeona. A mis tíos por ser parte importante de mi vida y estar siempre presentes en cada logro, a Cons y Orión por ser como mis hermanos y estar presentes en todo momento.

A mi Facultad de Ingeniería y la UNAM, que me dieron las herramientas para ser la profesional que soy, y me dejaron ser libre en sus aulas y sus campus dentro y fuera de mi país.

Gracias los hermanos Farah, Alejandro y Lisette Farah, desde cada una de sus trincheras me ayudaron con conocimientos, consejos y su guía. Les estaré agradecida infinitamente por enseñarme el amor al conocimiento, el espacio y la ingeniería.

Gracias a Clementino que en corto tiempo me dio las herramientas para desarrollarme profesionalmente en mi puesto, por su carisma y guía.

Gracias también a los que me han apoyado en esta recta final: Enrique por tu apoyo en todo momento y paciencia, Ana por tu alegría cada día de nuestro entrenamiento; Cony por tu amistad y compañerismo; Kenji por la paciencia para explicar; Gabriel por alentarme, ayudarme, ser paciente y siempre mostrar cariño con una sonrisa.

CONFLICTO DE INTERESES

El presente informe de prácticas profesionales solo refleja mi experiencia profesional. En todo momento se guarda la confidencialidad de la empresa omitiendo propiedad intelectual, marcas, derechos de autor o cualquier otra estrategia relacionada a la empresa a la que presto servicios. Mi opinión o comentarios son de mi entera responsabilidad y no representan la opinión de la compañía. Este informe no representa un conflicto de intereses, actual, aparente o potencial con la Facultad de Ingeniería ni con la Universidad Nacional Autónoma de México. Adicionalmente, los activos de la empresa no fueron utilizados, ya que los costos y materiales para elaborar el informe fueron cubiertos por mi persona.

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS	6
ABREVIATURAS	7
1. Introducción	8
1.1 Generalidades de la empresa donde se realizaron las prácticas profesionales	9
1.2 Generalidades del informe de prácticas profesionales	10
2. Objetivos de la práctica profesional en campo	11
2.1 Objetivo General	11
2.2 Objetivos específicos	11
3. Antecedentes	12
3.1 ¿Qué es una turbina de vapor?	12
3.2 Aplicaciones de una turbina de vapor para generación de energía	15
3.2.1 Ciclo combinado	16
3.2.2 Termoeléctrica convencional	17
3.2.3 Nucleoeléctrica	17
4 Desarrollo del mantenimiento mayor a una turbina de vapor	19
4.1 Alineación de los componentes de una turbina de vapor	20
4.2 Medidas TOTO (<i>Tops On/Tops Off</i>)	26
4.3 Pasos para la alineación de diafragmas	26
4.4 Pasos para la alineación de coples	34
5 Resultados	39
6 Conclusiones	39

7	Discusión y competencias desarrolladas	41
8	Bibliografía	42

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Primera turbina de vapor	12
Figura 2.	Turbina de vapor GE D11	13
Figura 3.	Componentes de la turbina de vapor.....	15
Figura 4.	Esquema de una central de ciclo combinado	16
Figura 5.	Ejemplo de central nuclear Antucho I en Argentina	18
Figura 6.	Posicionamiento del equipo ERAG	22
Figura 7.	Ajuste a cero para primera medida	22
Figura 8.	Equipo de alineación ERAG	24
Figura 9.	Línea de deflexión (valores de ejemplo)	25
Figura 10.	Limpieza de canales para toma de lecturas con ERAG	26
Figura 11.	Medidas para cálculo de deflexión por etapa (Ejemplo de rotor de baja presión).....	27
Figura 12.	Toma de lecturas con cuerda piano	28
Figura 13.	Maquinado de tacones y alineación de los diafragmas IP	29
Figura 14.	Instalación de rotor y toma de medidas con ERAG	30
Figura 15.	Alineación de diafragmas con tornillo	31
Tabla 1.	Análisis de las primeras medidas para HP/IP	33
Figura 16.	Distribución de rotores, cojinetes y coples.....	34
Figura 17.	Forma de recabar datos para cálculo de alineación en coples	34
Figura 18.	Nomenclatura para la toma de datos en los coples	35
Figura 19.	Toma de lecturas en el cople A	36
Figura 20.	Datos obtenidos después de mover cojinetes para alinear el cople A	37
Figura 21.	Datos de la especificación para cople A.....	38

ABREVIATURAS

CFE – Comisión Federal de Electricidad

DFG – Diafragma

ERAG – Electronic Radial Alignment Gauge

GE – Generator End

HP – High Pressure

IP – Intermediate Pressure

LP – Low Pressure

N – Caja de sellos

PRODESEN – Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional

TE – Turbine End

TFA – Technical Field Advisor

1. Introducción

La generación de energía a lo largo del tiempo ha sido un parteaguas importante para el desarrollo de los países y las sociedades alrededor del mundo, pues se tiene que satisfacer la demanda de las zonas que son ocupadas por industria o bien por el sector poblacional que las habita.

Si se pone en el contexto de México, el organismo encargado de esta generación de energía es la Comisión Federal de Electricidad (CFE), pero no solo se encarga de generarla, también de la transmisión, distribución, y de su comercialización¹. La CFE tiene divididos en sectores a sus principales clientes, tales sectores son los siguientes: industria, residencial, comercial y servicios públicos, usos propios, agrícola, transporte, y pérdidas².

Siguiendo en el ámbito del país, el Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional PRODESEN 2016-2030, en el documento detallan las tecnologías con las que cuenta México en materia de generación de energía eléctrica y que estas son integradas por unidades y centrales, cuya generación proviene del uso de combustibles fósiles como energético primario³.

Dentro de las cifras nacionales en el 2015 según lo reportado en el informe PRODESEN 2016-2030, las tecnologías por las cuales se genera mayor cantidad de energía son: Ciclo combinado con un 50% y Termoeléctrica convencional con un 13% de producción.

Cada una de estas tecnologías, tanto la de ciclo combinado como la termoeléctrica convencional, así como otras tecnologías que no se incluirán en este trabajo, tienen un

¹ (Ramos Gutiérrez & Montenegro Fragoso, 2012)

² Ibid

³ ((SENER), 2019)

proceso de generación de energía con ciertas peculiaridades, pero en ambos procesos se encuentra presente la turbina de vapor.

1.1 Generalidades de la empresa donde se realizaron las prácticas profesionales

Funciona bajo nuevo modelo de servicios de campo que beneficiará a nuestros clientes y las comunidades a las que sirve. Construido desde el campo con talento, experiencia y mejores prácticas, fusionando dos buenas empresas de servicios en su ramo.

Dirigida por los valores fundamentales de seguridad, integridad y calidad, es una empresa completamente nueva, enfocada en brindar excelencia en el servicio de campo. Generando una ejecución de clase mundial.

Propósito

A medida que la infraestructura envejecida y las demandas cambiantes de energía impulsan la necesidad de un mayor rendimiento y menos tiempo de inactividad, los operadores de la infraestructura crítica del mundo se enfrentan continuamente al desafío de lograr más. En esta empresa, nos apasiona apoyar a los clientes en este importante papel, porque sabemos que nuestro trabajo en conjunto realmente importa, tanto por sus activos como por las necesidades de un mundo en crecimiento.

Misión

Debido a que las personas se encuentran en el corazón de esta empresa, hemos reunido nuestro talento y experiencia colectiva en una organización que sigue su curso al permanecer centrados en cuatro principios rectores:

- ***Ejecución como prioridad***

Nos esforzamos por lograr una ejecución impecable, resolviendo desafíos complejos y superando obstáculos con ingenio, más rápido que nunca.

- ***Pensamientos innovadores***

Somos valientes e innovadores, siempre buscamos oportunidades de mejora continua y nuevas ideas para los clientes mediante el uso de herramientas de próxima generación, técnicas evolucionadas y el poder de los datos y las nuevas perspectivas.

- ***Sencillo, Ágil, Rápido***

Rompemos la complejidad y las barreras para brindar los resultados correctos para los clientes, de manera rápida y eficiente, sin comprometer nunca la seguridad, la integridad y la calidad.

- ***Mejor Juntos***

Somos un equipo. Nos unimos para descubrir mejores formas de hacer avanzar a nuestros clientes.

1.2 Generalidades del informe de prácticas profesionales

Dentro de este trabajo se ven reflejadas las actividades que realice dentro de un mantenimiento mayor planeado a una turbina de vapor en una central termoeléctrica en la República del Perú dentro del distrito de Chilca, en un periodo de actividades que comprende del 8 de Abril de 2019 al 20 de Mayo de 2019.

El papel que desarrollé fue como Ingeniera de Campo Mecánica para Turbina de Vapor – TFA (*Technical Field Advisor*, por sus siglas en inglés), realicé actividades de lectura de planos de la turbina, búsqueda de información relacionada a tolerancias, claros y especificaciones técnicas para los componentes inspeccionados; recabar información de inspecciones y cotejar la correcta aplicación de recomendaciones técnicas del vendedor, alineación de diafragmas, inspección presencial de pruebas a componentes críticos según planes de calidad con cliente y la empresa de servicios en la cual me desempeño.

Dentro de cada una de estas actividades estuve en compañía y acompañamiento de ingenieros de campo con vasta experiencia en el mantenimiento e instalación de turbinas de vapor de diferentes tecnologías presentes en el mercado.

2. Objetivos de la práctica profesional en campo

2.1 Objetivo General

- Poner en práctica los conocimientos generales de ingeniería mecánica adquiridos durante mi proceso de formación en la Facultad de Ingeniería de la UNAM, tales como termodinámica, dinámica de maquinaria, ingeniería de materiales, por mencionar algunas materias.
- Llevar al trabajo en campo los conocimientos adquiridos dentro de la empresa de servicios en la cuál trabajo, como Ingeniera de Campo Mecánica para mantenimientos de Turbina de Vapor con aproximadamente un año de experiencia en el ramo.

2.2 Objetivos específicos

- Describir el funcionamiento de una turbina de vapor en un ciclo combinado.
- Describir el funcionamiento de una turbina de vapor en un ciclo termoeléctrico convencional.
- Localizar los componentes de una turbina de vapor.
- Describir el proceso de alineación en un mantenimiento mayor para una turbina de vapor en una central termoeléctrica.

3. Antecedentes

3.1 ¿Qué es una turbina de vapor?

La turbina de vapor tiene sus inicios en la antigüedad, la primera turbina de vapor de la que se tiene constancia fue construida por Herón de Alejandría alrededor del año 175 A. C., la cual consistía en una esfera metálica con dos toberas en sus polos y orientadas en el mismo sentido por donde escapaba el vapor. La esfera giraba diametralmente, apoyada sobre la caldera por los conductos de entrada del vapor⁴.



Figura 1. Primera turbina de vapor [Fuente: *Naturaleza Educativa* (2019) *Eolípilo de Herón*. Recuperado de: <https://natureduca.com/tecnologia-aeronautica-propulsion-e-instrumentacion-03.php>]

Las turbinas de vapor tienen como producto final la generación de electricidad, esta es obtenida del intercambio de cierta cantidad de movimiento que se genera cuando el flujo de trabajo que en este caso vapor.

Ingresa al equipo con ciertas características de temperatura y presión altas al inicio del proceso, posteriormente al viajar este vapor hace girar a los grupos de álabes (ruedas) que forman parte del rotor; en la parte final del proceso las propiedades del vapor en

⁴ (S.L., 2019)

cuanto a presión y temperatura son inferiores a las que se introdujeron en primera instancia, ya que pierde energía a su paso por cada etapa del rotor.

También cuenta con sistemas auxiliares, tales como el de lubricación para los cojinetes, de refrigeración, sistema de regulación y control formado por la instrumentación para el correcto monitoreo de los sistemas y de ciertos componentes, en la figura 2 se muestra una turbina de vapor GE D11.

Este tipo de turbinas funcionan bajo el ciclo termodinámico Rankine, y según sus excepciones o diseños, pueden trabajar en ciclos específicos del Rankine como el de recalentado, o bien, en ciclos combinados.

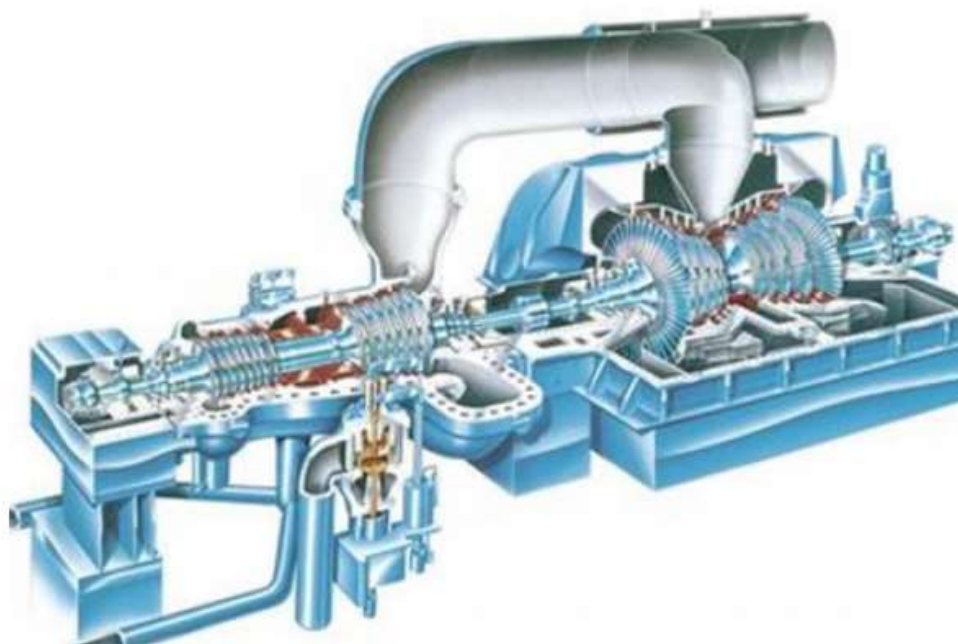


Figura 2. Turbina de vapor GE D11 [Fuente: GE Power Services (2019) Steam Turbine D11. Recuperado de: https://www.geenergytechnicaltraining.com/momentum/course_details.php?ctid=171]

Componentes de una turbina de vapor

La turbina comprende diferentes partes (ver figura 3) que en conjunto son las que guían al vapor hasta la zona final del proceso para generar energía, tales componentes se mencionan a continuación:

- Carcasas (externa y/o internas)
- Rotor
- Álabes
- Cojinetes de apoyo o radiales
- Cojinete de empuje o axial
- Cajas de sellos
- Diafragmas
- Válvulas
- Virador
- Sistemas auxiliares

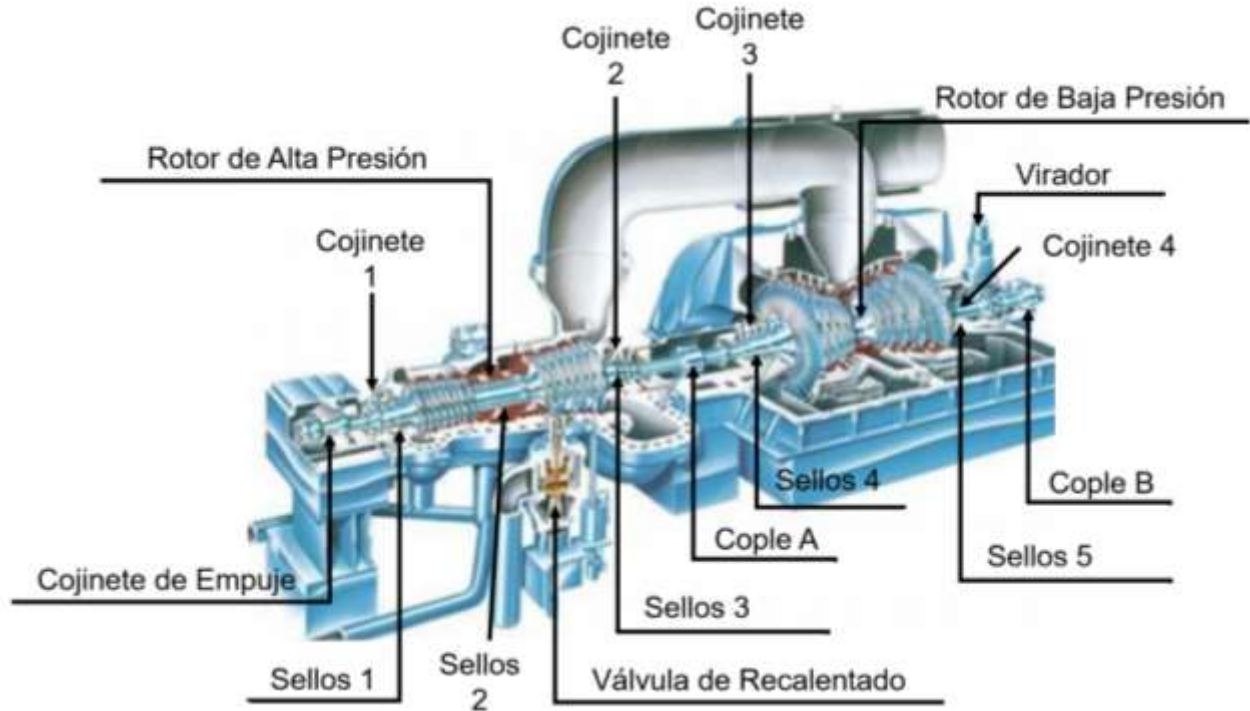


Figura 3. Componentes de la turbina de vapor [Fuente: GE Power Services (2019) Steam Turbine D11. Recuperado de: https://www.geenergytechnicaltraining.com/momentum/course_details.php?ctid=171]

3.2 Aplicaciones de una turbina de vapor para generación de energía

Las turbinas de vapor se encuentran en el proceso de generación de energía por las características con las que cuenta.

En la introducción se mencionaron dos ciclos principales, en los cuales se pueden encontrar turbinas de vapor: ciclo combinado y termoeléctrica convencional. Sin embargo, no son los únicos ciclos en los cuáles pueden estar presentes, también se pueden encontrar en el ciclo de las centrales nucleoelectricas.

Para entender la presencia de la turbina de vapor en centrales o ciclos se describen a continuación:

3.2.1 Ciclo combinado

Para este tipo de central, su proceso es similar al de centrales con turbinas de gas (el aire entra al compresor; después de la compresión, el aire entra a la cámara de combustión, donde una parte proporciona el oxígeno necesario para realizar la combustión, mientras la parte restante se utiliza para enfriar los gases y lograr la expansión en la turbina, provocando el movimiento mecánico que será transmitido al generador), la diferencia es que los gases de escape en lugar de liberarse a la atmósfera, recuperan en una caldera, que ayuda a la generación de vapor que impulsará a la turbina en un proceso análogo al de las centrales térmicas convencionales.

La generación de electricidad a partir de ciclo combinado (ver figura 4) se caracteriza por operar de forma continua, al contar con el suministro adecuado de combustible y agua. Este tipo de central presenta una eficiencia superior a otras tecnologías convencionales (es 1.4 veces mayor que la eficiencia de una termoeléctrica convencional)⁵.

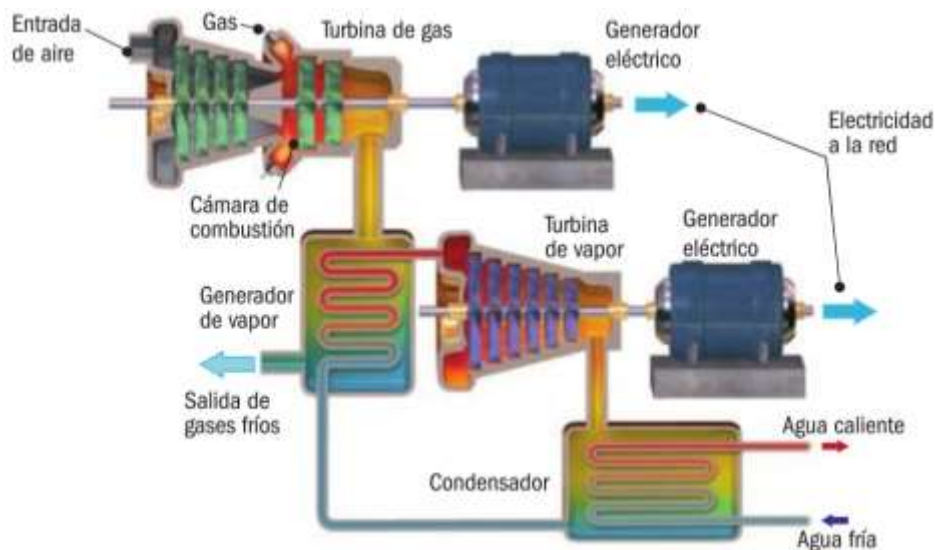


Figura 4. Esquema de una central de ciclo combinado [Fuente: Asociación del personal superior de las empresas de energía (2019) *Ciclo combinado*. Recuperado de: <http://apsee.org.ar>]

⁵ (S.L., 2019)

3.2.2 Termoeléctrica convencional

Esta central hace el uso de la transformación del agua en vapor, el cual se expande en una turbina que, al darse la condición de presión y temperatura idónea, provoca un movimiento mecánico para impulsar el generador y producir así la electricidad.

Posteriormente, el vapor abandona la turbina y se transforma en agua por medio de un condensador, para que esta se almacene nuevamente y comience el ciclo de transformación.

Las centrales termoeléctricas convencionales pueden utilizar gran variedad de combustibles, entre ellos: carbón, gas natural, y derivados del petróleo como el diésel y el combustóleo, que se caracterizan por su alto nivel de emisiones contaminantes⁶.

3.2.3 Nucleoeléctrica

Este tipo de centrales siguen el principio de una central de tecnología convencional, con la peculiaridad de que no requiere de un proceso de combustión. El vapor necesario para poner en marcha la turbina y esta a su vez el generador se obtiene mediante el proceso de fisión del uranio.

La fisión se produce al chocar un neutrón contra un núcleo de uranio o plutonio dentro de un reactor. La división de estos núcleos genera energía, partículas subatómicas y más neutrones, que al chocar con otros núcleos de uranio o plutonio provocan una reacción en cadena. La energía generada se aprovecha mediante un refrigerante, el cual puede ser agua o sodio líquido.

Este fluido absorbe el calor dentro del reactor y permite generar vapor de agua mediante un sistema secundario⁷. En la figura 5 se muestra la central nuclear Antucho I en Argentina.

⁶ (S.L., 2019)

⁷ Ibid

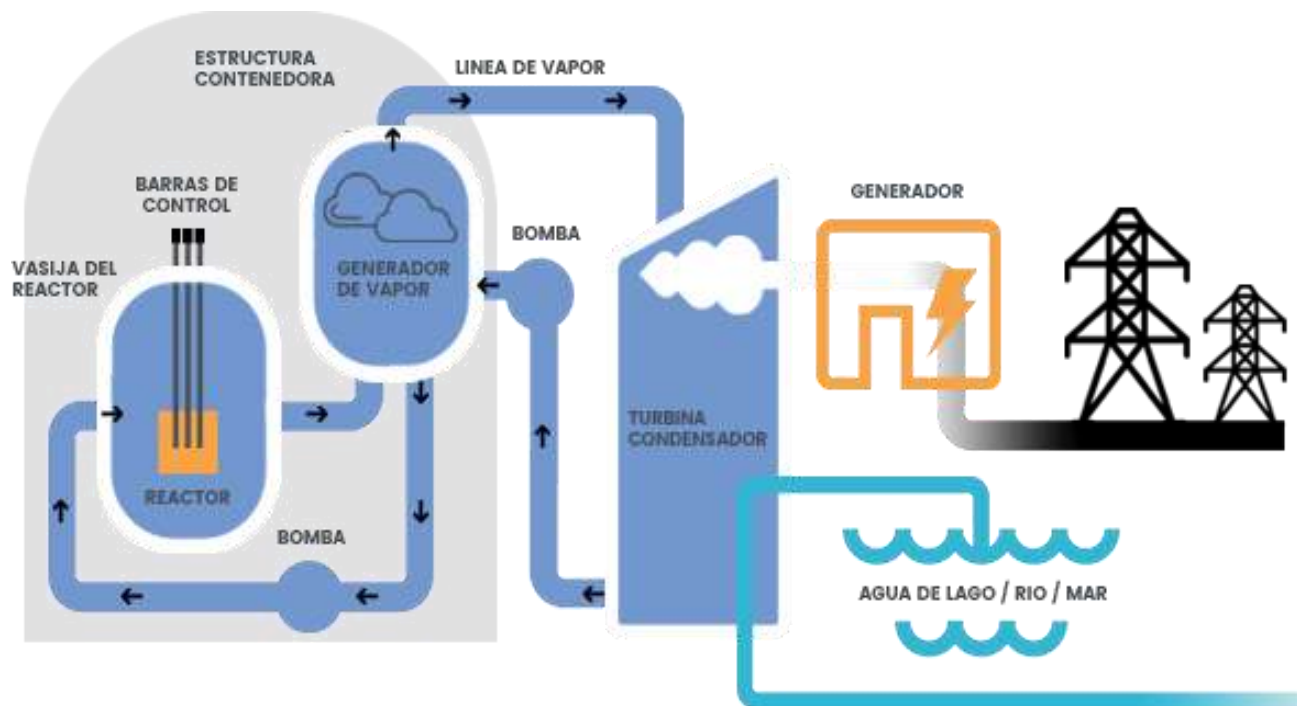


Figura 5. Ejemplo de central nuclear Antucha I en Argentina [Fuente: Nucleoeléctrica Argentina S.A. (2019) Central nuclear Antucha I – Nucleoeléctrica Argentina. Recuperado de: <http://www.na-sa.com.ar/centrales-nucleares/atucha-1/>]

4 Desarrollo del mantenimiento mayor a una turbina de vapor

La inspección mayor de una turbina de vapor comprende la inspección de diversos componentes de manera estándar, así como de otros componentes según sea el requerimiento del cliente, siempre y cuando comprenda el ámbito mecánico del ingeniero de campo.

A continuación, se mencionan los componentes estándar a los cuales se les da revisión dentro de una inspección mayor programada de una turbina de vapor:

- Carcasa
 - Interna
 - Externa
- Chumaceras – cojinetes
 - Empuje
 - Carga
- Rotor
 - Etapa alta/intermedia presión
 - Etapa baja presión
- Diafragmas
- Cajas de sellos
- Válvulas
 - Principales
 - Recalentado

Para desarrollar este mantenimiento es necesario tener claro, que para cada componente va a existir una inspección visual más allá de las inspecciones de pruebas no destructivas o bien, de las mediciones para corroborar los claros y tolerancias que los componentes deben cumplir para asegurar un correcto funcionamiento, hasta el siguiente mantenimiento mayor o bien que se tenga prevista una inspección menor.

Es importante que de cada componente se tenga la prueba de cómo se encontró, por si es necesario hacer consultas técnicas con el departamento de ingeniería, el cuál en determinado momento se han agotado las recomendaciones técnicas persiste el problema, ellos serán los responsables de dar un dictamen ingenieril para que se de solución al problema que se encuentre.

Otro punto para recalcar es la práctica y aplicación de un plan para mantener fuera del área de turbina materiales o herramientas ajenas al mantenimiento, ya que en caso de que un agente externo se introduzca o caiga accidentalmente y no sea recuperado oportunamente antes del ensamble final, será un grave problema de seguridad, calidad, así como grandes pérdidas para el cliente y el que presta el servicio de mantenimiento.

4.1 Alineación de los componentes de una turbina de vapor

Dentro del mantenimiento mayor que se le realiza a una turbina de vapor como anteriormente se describió, se debe tomar en cuenta la alineación de los componentes internos para dejar operativa la unidad, entender por componentes internos los diafragmas y sus sellos, así como los empaques y sus grupos de sellos.

El llevar a cabo una buena alineación de la máquina, es imprescindible para prevenir vibraciones, para evitar este problema se requiere que se recabe la mayor información posible de la turbina, es decir, se necesita tener el manual de la misma, si es que se le ha dado mantenimiento con anterioridad, se deben contar con dichos registros y los reportes pasados de la máquina, además del historial de alineamiento si es que existe, informes de vibraciones y temperatura en los cojinetes, dibujos pertinentes para la alineación. Es muy importante conocer cuáles son las expectativas del cliente con respecto al mantenimiento que se va a desarrollar, y saber cuál es la visión de tiempo en la cual esperan terminar las inspecciones para la puesta en marcha.

A continuación, algunas de las causas por las que se tiene que realizar la alineación de los diafragmas y el ajuste de cojinetes, así como el alineamiento de los coples de cada rotor.

- Esta actividad debe de ser llevada a cabo siempre que se realiza un mantenimiento mayor, porque los componentes se remueven, se dimensionan y se realiza una limpieza de ellos.
- También puede ocurrir que se reemplacen partes o bien que se ajusten tolerancias.
- Otro escenario por el cual se deberán de ajustar los diafragmas será porque exista una emergencia, en la cual se tenga que quitar el rotor y/o desacoplar rotores para inspeccionar.

Existen dos métodos para poder alinear los diafragmas de la turbina:

- Cuerda de piano.
- Láser.

Para efectos de este trabajo se abordará sobre la alineación que realicé por medio de cuerda de piano, es importante mencionar que al aplicar cualquiera de los métodos anteriores, es necesario hacerlo de la mano del *Electronic Radial Alignment Gauge* (ERAG por sus siglas en inglés), el cual toma lecturas directas y esto se explicará en breve.

El equipo ERAG toma medidas directas, es decir, que al deslizar el ratón en el cuál se encuentra el sensor, ya no será necesario calcular algún tipo de deflexión, dado que estas medidas se toman cuando el rotor esta en su posición natural de trabajo en frío. El equipo debe utilizarse para tomar un primer juego de mediciones posterior a la limpieza y arenado de los diafragmas, es en la zona donde se colocan los empaques que se deslizará el sensor.

Al finalizar los movimientos calculados para la alineación, se tomarán los valores conclusivos en los que se está dejando la máquina, estos servirán como referencia para un futuro mantenimiento (ver la figura 6 y 7).



Figura 6. Posicionamiento del equipo ERAG [Fuente: Propia (Enero 2019, Houston)]



Figura 7. Ajuste a cero para primera medida [Fuente: Propia (Enero 2019, Houston)]

Ejemplo de toma de lecturas con ERAG:

Es el diseño y es a lo que se debe de llegar, si esta lectura sale con ERAG diría que se esta en el punto de diseño (son medidas directas que deben pasarse a relativas), lo correcto (ver figura 8). Estos valores representan las lecturas de lado izquierdo, fondo y derecho, siendo estos los valores relativos que se mostrarían en la pantalla del equipo.

100		100
	108	

Al pasarse a lecturas directas:

Izquierda	Fondo	Derecha
0		0
	8	

Si al reinstalar la carcasa esta medida cambia a:

100		100
	100	

Al pasarse a lecturas directas:

Izquierda Fondo Derecha
0 0
0

Quiere decir que el diafragma se levantó o bien hubo un cambio en su altura, por lo tanto, para que al poner la carcasa este valor quede como diseño se debe dejar alineado a:

100		100
	116	

Al pasarse a lecturas directas:

Izquierda Fondo Derecha
0 0
16



Figura 8. Equipo de alineación ERAG [Fuente: ACQUIP (2019) ERAG/CAT Alignment Tool Rental. Recuperado de: <https://es.acquip.com/alquiler-erag-cat-herramienta-de-alineacion-por-concentricidad/>]

Es necesario que desde que se inicia el mantenimiento y el desensamble de los componentes, se tomen algunas medidas que serán relevantes para que, en la etapa final de alineación y término de ensamble, se pueda asegurar que la máquina ha quedado funcional, en su defecto en las mismas condiciones operativas o mejor en cuanto a temas de vibraciones.

Las inspecciones requeridas para recabar la información necesaria para alinear nos dan una referencia de cómo se encuentra la máquina:

- Claro de los pernos sueltos (cuando la parte superior de la carcasa está montada).
- Inspección de rozamiento.
- Comprobaciones de giro de la carcasa.
- Posiciones radiales del rotor (tomadas en cada deflector de aceite).
- Elipticidad en los diafragmas/ empaques.
- Lecturas de coples.

- Claros de los espacios libres de vapor.
- Alineamiento de diafragmas (primera lectura con ERAG después de arenar los diafragmas).
- Cálculo de la línea ideal.
- Determinar los movimientos.

Al alinear con cuerda de piano, se debe tomar en cuenta la deflexión que le ocurre al alambre al pasar a lo largo de la turbina, de cojinete a cojinete, ya que el dibujo te va a dar la línea ideal o bien la forma en la cual se encuentra el rotor cuando está en frío montado sobre los cojinetes.

Esta línea va a estar compuesta de la siguiente forma:

- Línea ideal.
- Línea deflexión del rotor.
- Línea deflexión de la cuerda.

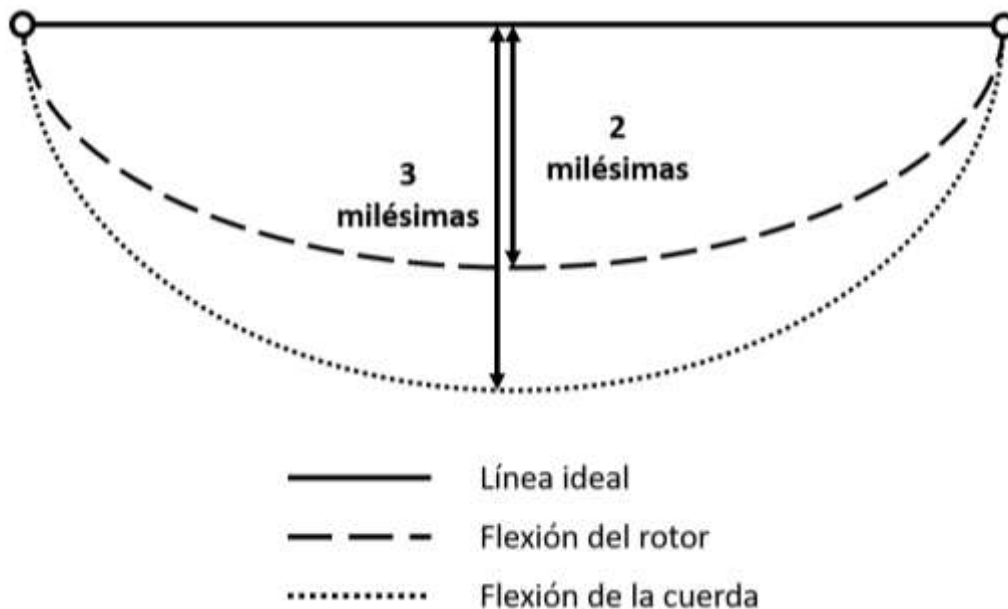


Figura 9. Línea de deflexión (valores de ejemplo) [Fuente: Propia (Julio 2019, Chile)]

4.2 Medidas TOTO (*Tops On/Tops Off*)

Estas medidas son definidas como *Tops On* y *Tops Off*, lo que me va a permitir saber es el comportamiento de los diafragmas cuando se toman medidas sin la carcasa superior y cuando está en posición de trabajo. Para la alineación de diafragmas por medio de cuerda de piano es importante tomar estas medidas y posteriormente analizarlas para hacer el cálculo de movimientos para cada diafragma y grupo de sellos.

4.3 Pasos para la alineación de diafragmas

Para esta actividad, el mejor momento es por la noche (segundo turno) cuando la máquina está a una temperatura ambiente o bien no exista dilatación de los materiales por la presencia de condiciones ambientales (si la turbina está en el exterior).

A continuación, se enumeran los pasos para la preparación, toma de medidas y análisis de lecturas:

- Se mandaron a arenar los diafragmas y cajas de sellos, para posteriormente limpiar los canales donde pasará el sensor del ERAG y donde se midió con el micrómetro de interiores.



Figura 10. Limpieza de canales para toma de lecturas con ERAG
[Fuente: Propia (Abril 2019, Perú)]

- Se colocó la cuerda de piano con un peso de 30 libras en uno de los extremos.
- Se midieron las distancias del tambor a cada deflector de aceite hacia el centro del canal de cada etapa (se debe marcar la zona en donde se toma la medida). Con estas distancias se va a obtener la flexión de la cuerda piano para cada etapa según los planos de cada máquina.

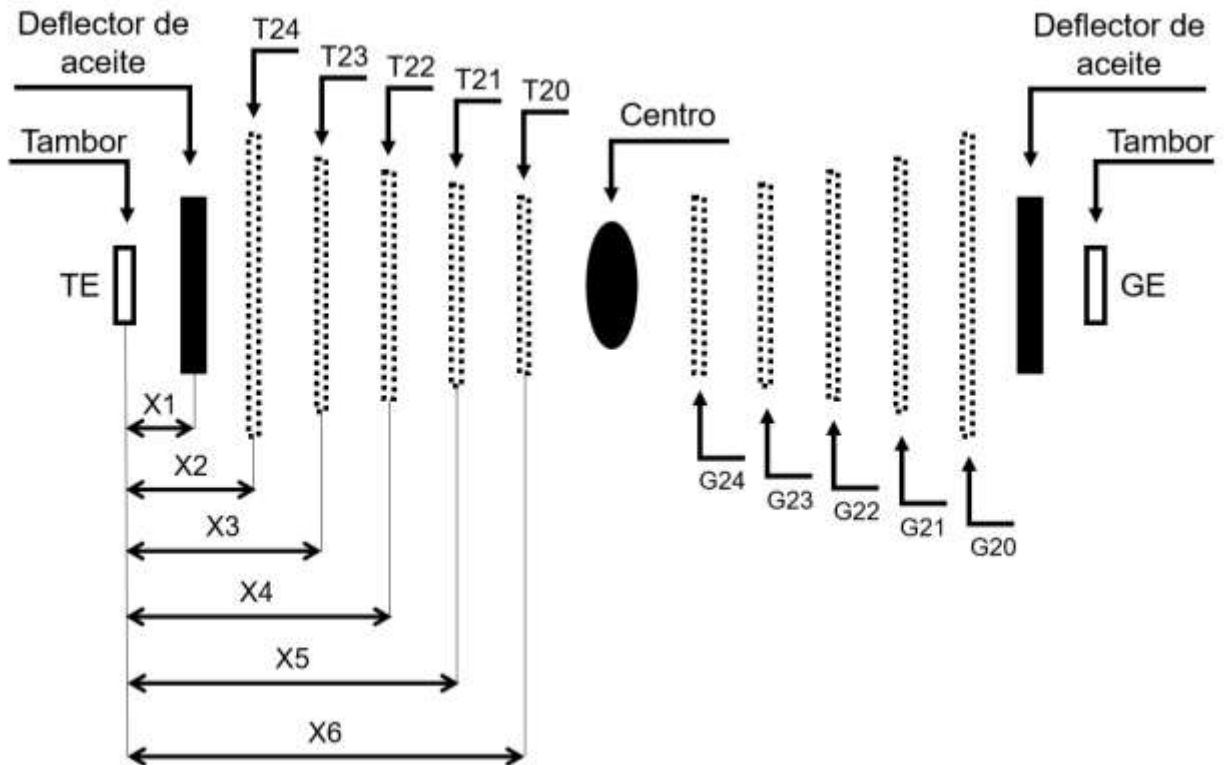


Figura 11. Medidas para cálculo de deflexión por etapa (Ejemplo de rotor de baja presión). [Fuente: Propia (Julio 2019, Chile)]

- Una vez que se tomaron las medidas del tambor a cada etapa, se calcula la flexión para cada una.
- Se fijó la cuerda piano en ambos extremos según las posiciones que se tomaron inicialmente.
- Posteriormente se dio inicio a tomar las primeras lecturas *Tops Off*, teniendo la precaución de no realizar movimientos bruscos, es decir, que no se debían

realizar otras actividades en la zona que produjeran vibraciones que pudieran afectar nuestras mediciones.

Buena práctica: al final de cada juego de lecturas completo, o por etapa (alta, intermedia, baja presión), verifiqué que los puntos en los cuáles se fijo la cuerda piano se siguen manteniendo. Esta es una buena práctica para esta actividad, ya sea *Tops On* o *Tops Off*.

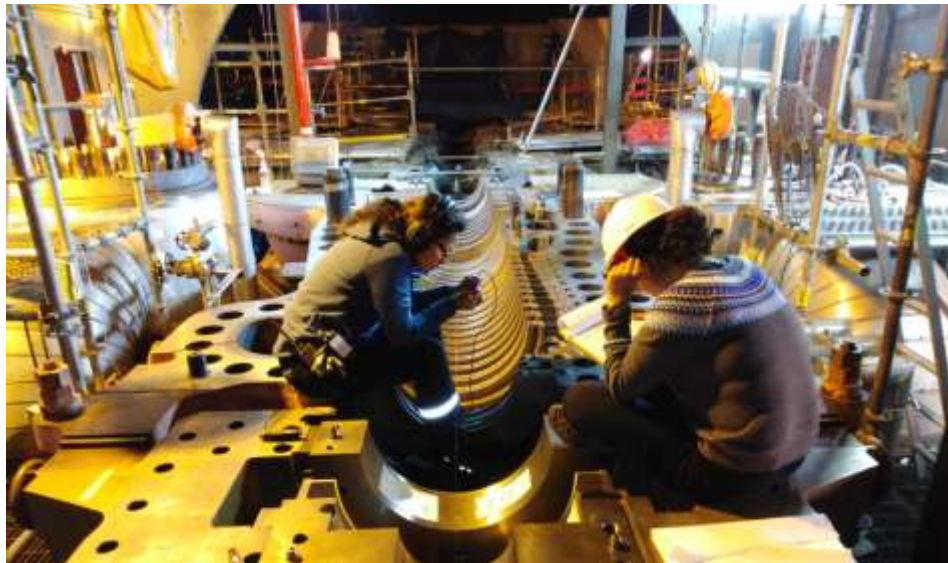


Figura 12. Toma de lecturas con cuerda piano [Fuente: Propia (Abril 2019, Perú)]

- Se hizo un primer análisis de los posibles movimientos que se realizarán, pero mientras esto ocurre debe colocarse la carcasa superior para hacer la lectura *Tops On*.
- Para el set de medidas de *Tops On* se siguieron los pasos antes descritos para el juego de medidas *Tops Off*, en este caso se tuvo que entrar a la turbina para medir las etapas, por lo cual fue necesario tener aún más precaución. Antes de iniciar las mediciones una persona diferente debió corroborar que no se hubieran alterado los puntos en los cuales se fijo la cuerda de piano.
- Con este último juego de medidas se realizó el análisis completo del comportamiento que presentan los diafragmas al estar la carcasa superior en posición de trabajo.

- Analizando el comportamiento anterior, se obtuvo el movimiento requerido para alinear según el plano y hacer las correcciones. Fue necesario retirar la carcasa superior.



Figura 13. Maquinado de tacones y alineación de los diafragmas IP [Fuente: Propia (Abril 2019, Perú)]

- Una vez realizados los movimientos o correcciones, se colocó el rotor para realizar una toma de medidas con el ERAG, para saber si los movimientos fueron acertados, o bien se debían rectificar algunos movimientos.

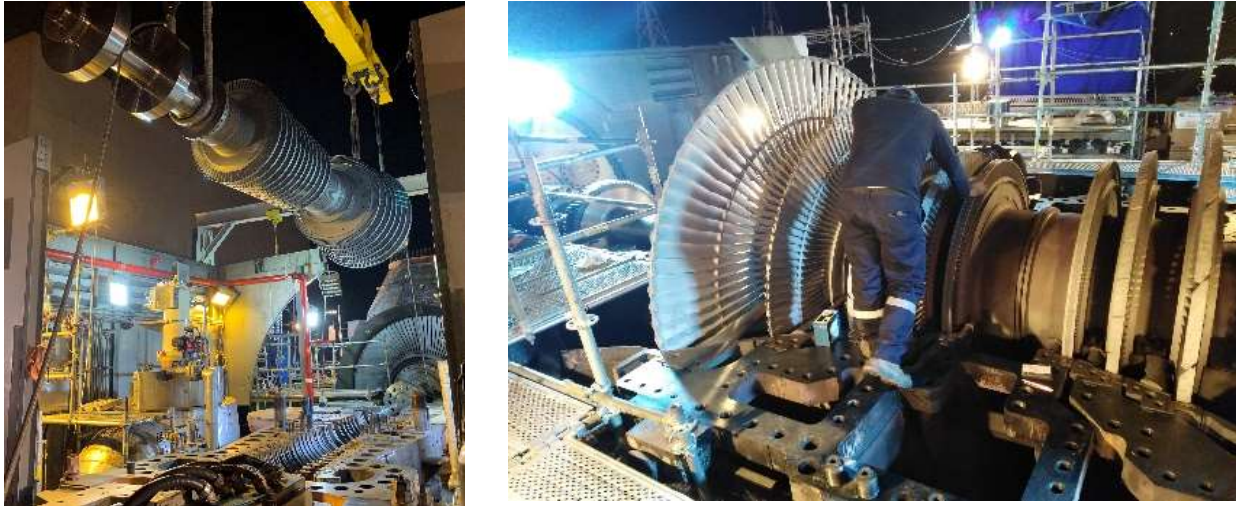


Figura 14. Instalación de rotor y toma de medidas con ERAG [Fuente: Propia (Abril 2019, Perú)]

Nota aclaratoria: no es seguro que en un primer movimiento los diafragmas queden completamente alineados como en nuestros cálculos, sin embargo, es prudente analizar los datos. En caso de encontrar nuevos movimientos más grandes que los primeros que se realizaron sobre todo en los diafragmas con tacón o cuña, nos indicaría que algo no fue tomado en cuenta.

Nota para alineación: Cuando se realice la alineación de los diafragmas que tienen el tornillo que sube o baja en lugar de los tacones o cuñas, hay que tener en cuenta:

- Si sube se cierra el espacio del diafragma o empaque con el rotor.
- Si baja se abre el espacio del diafragma o empaque con el rotor.

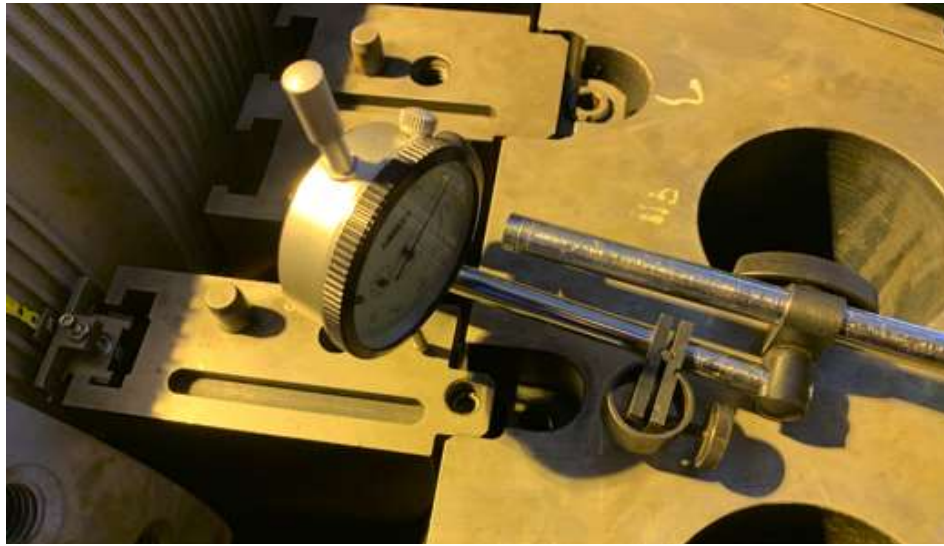


Figura 15. Alineación de diafragmas con tornillo [Fuente: Propia (Abril 2019, Perú)]

A continuación, se presenta la tabla con los datos recabados al final del primer set de medidas y los cálculos que se debían ejecutar, cabe señalar que los primeros ajustes que se realizaron fueron a la mitad de los valores dados. Se realizó de esta manera debido a que fue el consejo del líder de sitio basado en estos valores y por su experiencia de años en campo.

En la tabla 1 se muestran los valores de los diafragmas de LP, la columna de deflexión es el valor obtenido del dibujo de la máquina y se tomó en cuenta valores que ingeniería provee para esta máquina en específico.

La columna de lecturas directas son los valores que fueron arrojados por el equipo ERAG al momento de pasar el quipo, las relativas son los valores calculados al convertir las lecturas directas (el número menor es cero y de ahí se calculan los relativos).

La columna de diseño son los valores a los que idealmente se debe tener cada diafragma y caja de sellos, la columna de ERAG off son los valores tomados sin la carcasa superior, y al contrario la columna cuerda on es con la carcasa superior instalada.

El movimiento real es la comparación de la columna ERAG off y cuerda on, el resultado es la posición real en la que se encuentra el diafragma.

Finalmente, la columna de corrección para llegar a diseño son los movimientos que se deben ejecutar para alinear cada componente.

	Deflexión				Lecturas directas				Relativas				Diseño				ERAG OFF				Cuerda ON				Movimiento real		Corrección para llegar a diseño	
	L	B	R	L	L	B	R	L	L	B	R	L	L	B	R	L	L	B	R	L	L	B	R	L	H	V	L	R
DFG 19	10	10	23	0	-7	13	0	0	0	7	0	0	0	5	15	0	21	11	11	4	16	4	16	7	4	16	20	7
DFG 18	10	7	17	0	-7	7	0	0	0	8	0	0	0	2	8	0	16	19	19	11	14	11	14	11	11	14	18	11
DFG 17	70	60	72	0	-11	2	0	0	0	9	0	0	0	2	4	0	22	15	15	11	20	11	20	19	11	20	21	19
DFG 16	100	88	103	0	-14	3	0	0	0	10	0	0	0	-41	19	0	-25	37	37	18	16	18	16	22	18	16	25	22
DFG 15	100	75	94	6	-22	0	0	0	0	10	0	0	0	-33	5	0	-16	22	22	17	17	17	17	35	17	17	29	35
DFG 14	70	65	81	0	-11	11	0	3	0	11	0	3	0	-21	0	0	-6	0	0	3	15	3	15	16	3	15	27	16
DFG 13	50	44	64	0	-13	14	0	0	0	12	0	0	0	-54	14	0	-36	30	30	16	18	16	18	18	16	18	32	18
N2 GE	40	45	57	0	-4	17	0	12	0	13	0	12	0	-24	0	0	-4	10	10	22	20	22	20	8	22	20	25	8
N2 TE	10	3	32	0	-18	22	0	0	0	13	0	0	0	1	2	0	-17	28	28	26	18	26	18	20	26	18	42	20
DFG 1	20	28	54	0	-9	34	0	1	0	12	0	1	-35	0	0	0	-15	19	19	20	20	20	20	4	20	20	38	4
DFG 2	60	60	90	0	-15	30	0	0	0	11	0	0	-38	23	0	0	-18	52	52	29	20	29	20	11	29	20	41	11
DFG 3	30	14	17	13	-10	0	0	1	0	12	0	1	-35	0	0	0	-15	19	19	20	20	20	20	6.5	20	20	6.5	6.5
DFG 4	30	13	18	12	-11	0	0	1	0	12	0	1	-35	0	0	0	-15	19	19	20	20	20	20	6	20	20	6	6

Tabla 1. Análisis de las primeras medidas para HP/IP [Fuente: Propia (Abril 2019, Perú)]

4.4 Pasos para la alineación de coples

Una vez finalizada la alineación de los diafragmas y de las cajas de sellos para la parte de alta, intermedia y baja presión, se inició la alineación de los coples de intermedia con baja presión y de baja presión con el rotor del generador.

Para alinearlos se dejó como punto fijo el rotor de baja presión, es decir, que para realizar movimientos para alineación del cople A (intermedia – baja) se realizaron los cambios en el cojinete 1 y 2, para la alineación del cople B (baja – generador) los cambios se hicieron en el cojinete 5 y 6.

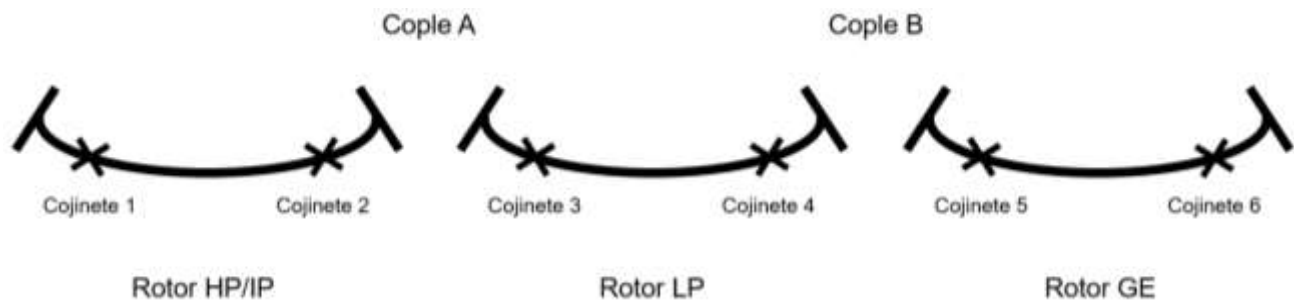


Figura 16. Distribución de rotores, cojinetes y coples [Fuente: Propia (Julio 2019, Chile)]

Se tomaron las medidas de cara y bordes para la alineación de coples teniendo en cuenta lo siguiente:

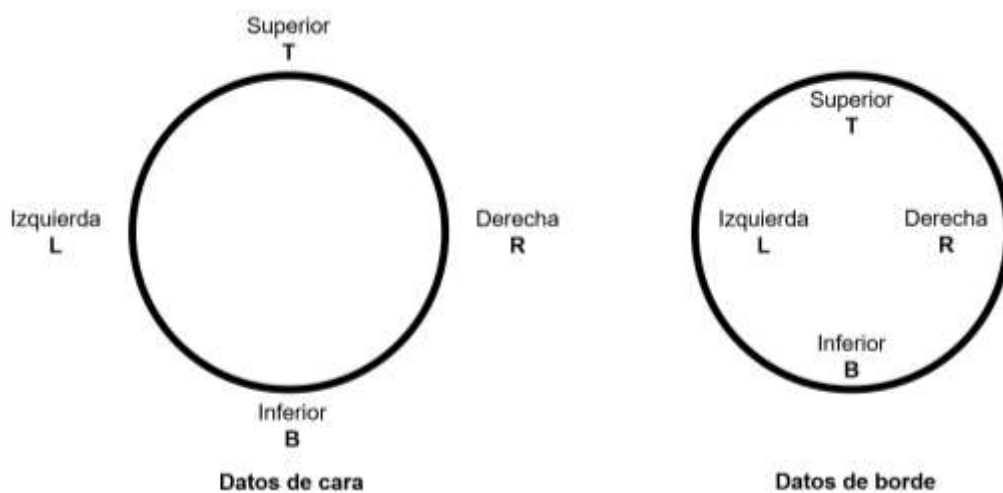


Figura 17. Forma de recabar datos para cálculo de alineación en coples [Fuente: Propia (Julio 2019, Chile)]

Al tener los datos de cara y de borde se debe corroborar que al sumar superior e inferior, sea igual a los valores de izquierda mas derecha. La máxima tolerancia que puede existir entre estos valores es de dos milésimas de pulgada por especificación del departamento de diseño.

$$T + B = L + R ; \pm 0.002$$

Es importante conocer la nomenclatura que se presenta en la *figura 17* y la forma de marcar los coples para recabar la información de la posición, en la cual se encuentran las caras y los bordes, una vez que se tenga esta información y con ayuda del ideal de alineación para el cople, es como se calcularon los movimientos.

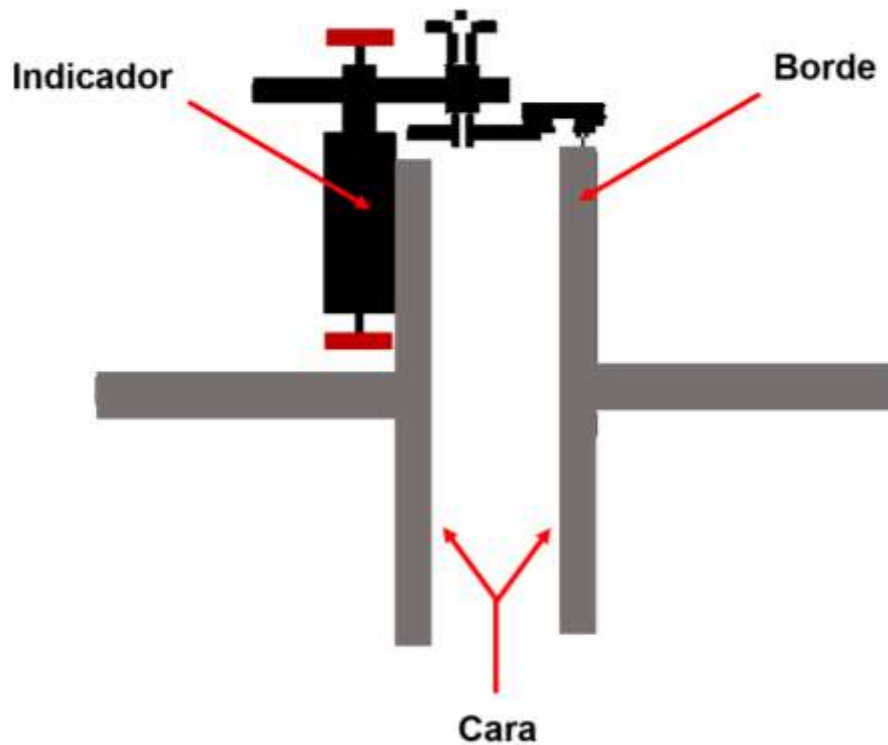


Figura 18. Nomenclatura para la toma de datos en los coples [Fuente: Propia (Julio 2019, Chile)]

Para esta máquina se dejó como fijo el rotor de baja presión, lo que se podría traducir a que los movimientos se realizaron en los cojinetes 1, 2, 5 y 6.

Las lecturas se tomaron a 0° , 90° , 180° y 270° , por tanto, los coples se marcaron de esta manera para la obtención de las lecturas para alineación de coples, también al tomar cada medida a 90° se giró el rotor sobre el cual se tomaban las medidas y esto se escribió en las inspecciones para que al momento de calcular los movimientos, supiera se comportaba el rotor que se vería afectado por los cambios en los cojinetes.

- **Datos de cara**

Estas lecturas se tomaron con el uso de paralelas y micrómetro de exteriores a 0° , 90° , 180° y 270° , cada que se giró 90° el rotor se debían tomar estas cuatro lecturas. Al finalizar el giro total del rotor, se debía llegar a 0° nuevamente, se debían contar con dieciséis lecturas para llenar el formato y calcular el movimiento que se ejecutó en los cojinetes.

Para este calculo de movimiento en cojinetes se empleó el programa que proporciona la empresa para conocer el movimiento de los calces en los cojinetes, por tanto, es importante que se supiera la posición de estos físicamente, para estos cojinetes las zonas para hacer movimientos de calces se encontraban a 90° , 30° y 0° .



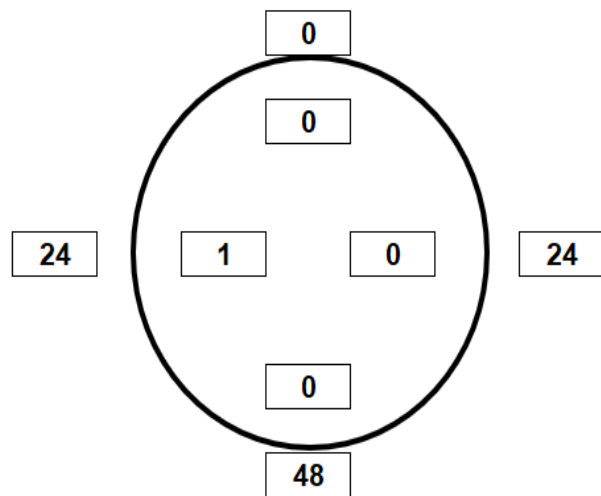
Figura 19. Toma de lecturas en el cople A [Fuente: Propia (Mayo 2019, Perú)]

▪ **Datos de borde**

En la parte superior a 0° se inicia en cero el indicador de carátula y progresivamente se gira el rotor en el sentido en el que trabaja, se debe seguir el trayecto del indicador de carátula para saber el valor a 90°, 180° y 270°.

Para corroborar que la toma de datos es veraz al volver a 0° el indicador de carátula deberá leer cero nuevamente.

Posición	Superior T	Izquierda L	Inferior B	Derecha R
Borde	0	+24	+48	+24
Cara 0°	530	531	529	530
Cara 90°	530	531	532	530
Cara 180°	529	530	529	530
Cara 270°	530	531	531	530
Promedio	530	531	530	530
Relativo	0	1	0	0



Nota: todas las lecturas son en milésimas de pulgada.

Verificación	Cara	Borde
Superior + Inferior=	0	48
Derecha + Izquierda=	1	48
Diferencia=	1	0

Indicador montado en	LP
----------------------	----

Indicador leyendo en	HP
----------------------	----

Figura 20. Datos obtenidos después de mover cojinetes para alinear el cople A
[Fuente: Propia (Mayo 2019, Perú)]

Después de los datos obtenidos al realizar los movimientos calculados para los cojinetes 1 y 2, estoy en la tolerancia para que estos sean los valores finales de la cara y borde del cople A, por tanto, se pueda iniciar con el acople de los rotores.

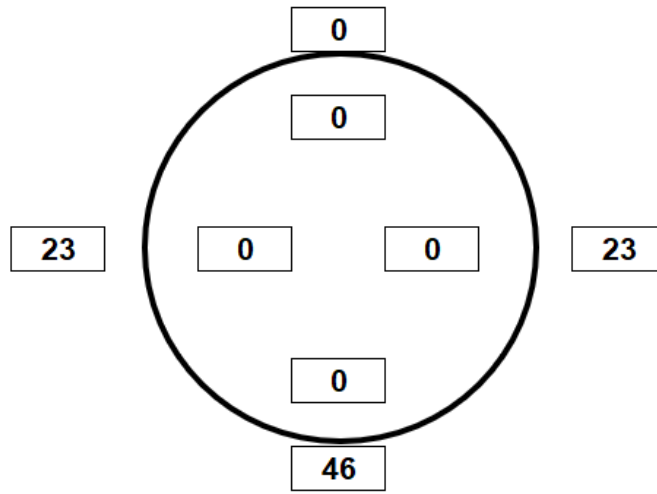


Figura 21. Datos de la especificación para cople A [Fuente: Propia (Julio 2019, Chile)]

5 Resultados

La alineación de los diafragmas de la turbina tuvo ciertos contratiempos, una parte importante para volver a alinearla fueron los puntos en los cuales estaba posicionado el rotor cuando se inició el mantenimiento.

Sin embargo, se pasó por alto en un primer momento fue que hubo un cambio total de todos los cojinetes, por lo cuál las posiciones iniciales del rotor también cambiaron y esto se toma en cuenta para posicionar la cuerda de piano y tomar todas las medidas de los diafragmas y cajas de sellos.

Al percatarnos de esta situación se volvieron a tomar las nuevas posiciones de rotor y con estas tomar nuevas lecturas para *Tops On* y *Tops Off*, así se recalcularon los movimientos y se aplicaron para cada uno de los calces de los diafragmas.

Para que se alinearan los coples, se tuvieron en cuenta las medidas de inicio y termino de los claros de los espacios libres de vapor y las posiciones finales de los deflectores de aceite. Era importante que los tuviera en mente ya que son muy pequeños y de hacer un mal movimiento radial se dañarían los empaques de los diafragmas y cajas de sellos.

6 Conclusiones

Se realizaron prácticas profesionales en una empresa de servicios internacional desarrollando el mantenimiento de turbinas de vapor para la generación de energía.

Se obtuvo experiencia para el mantenimiento de turbinas de vapor, así como para la alineación de componentes de estas.

Se realizó satisfactoriamente la alineación de los diafragmas, cajas de sellos, ajustes de cojinetes y el acople de los rotores para la puesta en marcha de la máquina.

Después de este trabajo se puede garantizar que la máquina seguirá funcionando hasta el siguiente mantenimiento mayor o bien la siguiente inspección menor programada.

Comentarios personales

En un inicio expuse, durante este mantenimiento estuve instruida por mentores con tiempo de experiencia en el campo y mantenimiento de turbinas de vapor, sin embargo, para hacer algún movimiento es necesario que intervenga el líder de sitio para que de su aprobación de los movimientos finales para alineación.

Debí tener claras las tolerancias que se tenían en planos, así como los valores recabados en campo para la alineación de coples, pues el realizar un mal movimiento hubiera costado el cambio de componentes y extender el mantenimiento, lo que implicaba aumentar costos y problemas de calidad.

Al estar en entrenamiento y en campo aprendí que el trabajo en equipo es fundamental, la toma de decisiones basadas en datos duros es necesaria para justificar una acción como el cambio de cojinetes o bien saber con que datos trabajar y cuales descartar.

7 Discusión y competencias desarrolladas

De acuerdo con el perfil del egresado y objetivos de la carrera de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), se lograron cumplir las siguientes competencias durante las prácticas profesionales que han dado como resultado este informe:

Se obtuvieron conocimientos de ingeniería para la comprensión de procesos termodinámicos, aplicaciones de materiales en equipos industriales, análisis y comprensión de comportamientos físicos de los componentes dentro del proceso, así como el uso de lenguaje ingenieril en español e inglés.

Se ejecutaron recomendaciones de ingeniería, así como la correcta lectura de planos para la inspección de la turbina en un mantenimiento.

Se tuvo la capacidad de resolución de problemas para la toma de decisiones en campo de tipo administrativo y/o técnico. También para la planeación de actividades para cumplir con los tiempos y expectativas establecidas para el mantenimiento.

Se transmitieron ideas y resultados finales de la inspección comprensibles de forma oral y escrita.

Se manejo una comunicación asertiva en la interacción con grupos multidisciplinarios e interdisciplinarios, así como el manejo y liderazgo de grupos.

8 Bibliografía

1. Ramos Gutiérrez, L. d., & Montenegro Fragoso, M. (2012). La generación de energía eléctrica en México. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 197-211.
2. (SENER), S. d. (10 de Julio de 2019). *Gobierno de México*. Obtenido de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/98308/PRODESEN-2016-2030_1.pdf
3. S.L., R. T. (10 de Julio de 2019). *Renovetec*. Obtenido de <http://www.renovetec.com/590-mantenimiento-industrial/110-mantenimiento-industrial/306-partes-de-una-turbina-de-vapor>
4. Renovetec. (Diciembre de 2011). Especial Turbinas de Vapor. Obtenido de <http://www.energiza.org/anteriores/energizadiciembre2011.pdf>
5. México, C. (10 de Julio de 2019). *Cogenera México*. Obtenido de <http://www.cogeneramexico.org.mx/menu.php?m=79>