



**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

**“MEDIDAS DE PREVENCIÓN PARA MITIGAR FALLAS EN
CABEZALES Y TUBOS DE VAPOR DE SOBRE
CALENTADORES DE ALTA PRESIÓN EN LA CENTRAL
TERMOELÉCTRICA CHILCA UNO”**

**PRESENTADO POR EL BACHILLER
RICH CARL URDAY LUNA**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO INDUSTRIAL**

**ASESOR:
MAG. ING. ROGELIO ALEXSANDER LOPEZ RODAS**

LIMA – PERÚ, MAYO 2021

DEDICATORIA

Dedicado a mis padres por el infinito amor, apoyo y enseñanzas de vida; a mi esposa e hijo que son la inspiración en cada nuevo emprendimiento; a la nación que me vio nacer y me dio la oportunidad de contribuir con un granito de arena.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Engie Energía Perú S.A., que me dio la oportunidad de crecer profesionalmente en las áreas de operaciones y mantenimiento en las centrales termoeléctricas de Ilo1, Ilo21, Chilca Uno y Chilca Dos.

INTRODUCCIÓN

En nuestra actualidad la central termoeléctrica de ciclo combinado Chilca Uno consta de 3 turbinas a gas, las cuales queman el gas natural de Camisea para generar una fuerza de torque mecánica al eje de las turbinas a gas que están acopladas al eje de los generadores con el fin de generar energía eléctrica, la cual será transformada de 16KV a 220KV hasta la SSEE (Sub estación) de Chica/ CTM para ser distribuida a todo el Perú. Los gases calientes producto de la combustión de las turbinas a gas son aprovechados en los “recuperadores de calor” (HRSG, equivalentes a calderos), para generar vapor sobrecalentado en 3 etapas de vapor: LP, IP, HP (baja presión “6 bar”, media presión “33 bar” y alta presión “126 bar”).

El vapor generado por los recuperadores de calor “HRSG” son colectados en cabezales los cuales son trasladados e inyectados por medio de toberas a la turbina de vapor “TV31”, la cual consta de 4 turbinas (2 turbinas de LP “baja presión”, 1 turbina de IP “intermedia presión” y 1 turbina HP “alta presión”) y un generador acoplados en un mismo eje, así el torque aplicado por el vapor a alta temperatura y presión es transmitido por el eje hacia el generador con el fin de generar energía eléctrica la cual será transformada de 18KV a 220KV hasta la SSEE de Chilca / CTM para ser distribuida a todo el Perú.

El estudio comprende de la aplicación de las medidas de prevención para mitigar fallas en cabezales y tubos de sobre calentadores de vapor de alta presión de recuperador de calor de HRSG de la central termoeléctrica Chilca Uno, aplicando inspecciones y ensayos no destructivos como: replicas metalográficas, mediciones de dureza, líquidos penetrantes, partículas magnéticas y ultrasonido para medir espesores de tuberías y cabezales de vapor, Boroscopia a líneas y cabezales del HRSG, así como inspección de estado de componentes como hanger, juntas de expansión, patines de deslizamiento de líneas y cabezales de vapor y corrosión.

Desde finales del siglo XX a nivel mundial se sabe de varios accidentes fatales en centrales termoeléctricas y nucleares, las cuales causaron pérdidas irreparables cobrando la vida de personas y dejando cientos de heridos, del mismo modo causando millonarias pérdidas para las empresas del rubro, es por ello por lo que se debe realizar todas las inspecciones preventivas para mitigar los fallos por de tubos y cabezales a vapor de los HRSG.

RESUMEN

Desde finales del siglo XX a nivel mundial se sabe de varios accidentes fatales en centrales termoeléctricas y nucleares, las cuales causaron pérdidas irreparables cobraron la vida de trabajadores dejando cientos de heridos y millonarias pérdidas materiales; los niveles de alta presión de vapor en los cabezales y tubos de sobre calentadores de las centrales termoeléctricas alcanzando valores supercríticos en presiones hasta 330bar y temperaturas de 650° centígrados acumulando grandes cantidades de energía, en el caso de la “TV31” de central termoeléctrica Chilca Uno en el cual se desarrollará el estudio alcanza presiones de vapor de 126bar y temperaturas de 550°C lo que significa un alto riesgo para la vida de los trabajadores en el caso de llegar a fallar por fatiga, estrés, corrosión o alguna otra causa como desastres naturales, terremotos, maremotos, huracanes, etc.

Por ejemplo el caso de la central japonesa de Fukushima, estas fallas del material ya sea prematura o por alguna otra circunstancia se puede identificar de manera predictiva por diferentes ensayos no destructivos NDT (Non Destructing Testing); como replicas metalográficas, medición de dureza, ultrasonido, placas RX, líquidos penetrantes, partículas magnéticas y cálculos matemáticos aplicando el parámetro de Larson Miller “PLM” a los materiales de los tubos y cabezales de vapor de este modo poder prevenir los accidentes salvando vidas humanas y millonarias pérdidas para las empresas del rubro. Actualmente ya se realizan ensayos no destructivos NDT a excepción de las réplicas metalográficas y evaluación de cálculos matemáticos aplicando el parámetro de Larson Miller “PLM”; para determinar de manera certera y optima la vida remanente de los tubos de sobre calentadores y cabezales de vapor se debe evaluar en conjunto todos los ensayos no destructivos, para poder predecir certeramente cuando se tendría que planificar el recambio de los tubos de sobre calentadores y cabezales de vapor.

ABSTRACT

Since the end of the twentieth century worldwide, several fatal accidents in thermoelectric and nuclear power plants have been known, which caused irreparable losses, claimed the lives of people, leaving hundreds of injured and millions of material losses; high vapor pressure levels in the superheater tubes and heads of thermoelectric plants reach pressures of up to 330bar reaching temperatures of 650 ° centigrade accumulating large amounts of energy, in the case of the "TV31" of the Chilca Uno thermoelectric plant in which will develop the study reaches steam pressures of 126bar and temperatures of 550 ° C which means a high risk to people's lives in the event of failure due to fatigue, stress, corrosion or some other cause due to disasters natural such as earthquakes such as the case of the Japanese power station of Fukushima, tsunamis, hurricanes, etc.

These material failures, whether premature or due to some other circumstance, can be identified in a predictive way by different non-destructive tests NDT (Non Destructing Testing); such as metallographic replicas, hardness measurement, ultrasound, RX plates, penetrating liquids, magnetic particles and mathematical calculations applying the Larson Miller parameter "PLM" to the materials of the tubes and steam heads in this way to prevent accidents saving human lives and millionaire losses for companies in the field. Currently, NDT (Non Destructing Testing) non-destructive tests are being carried out, an exception of metallographic replicas and evaluation of mathematical calculations applying the Larson Miller parameter "PLM"; To accurately and optimally determine the remaining life of the superheater tubes and steam heads, all the non-destructive tests must be evaluated together, in order to be able to accurately predict when the replacement of the superheater tubes and steam heads will have to be planned.

TABLA DE CONTENIDO

DEDICATORIA	I
AGRADECIMIENTO	II
INTRODUCCIÓN	III
RESUMEN	IV
ABSTRACT	V
TABLA DE CONTENIDO.....	VI
ÍNDICE DE GRÁFICOS	X
ÍNDICE DE TABLAS.....	XI
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	XII
ÍNDICE DE ANEXOS	XIV
ACRÓNIMOS	XV
CAPÍTULO I.....	1
GENERALIDADES DE LA EMPRESA.....	1
1.1 ANTECEDENTES DE LA EMPRESA.....	1
1.2 PERFIL DE LA EMPRESA	1
1.3 ACTIVIDADES DE LA EMPRESA O ENTIDAD	2
1.3.1 Misión	2
1.3.2 Visión.....	3
1.3.3 Objetivo	3
1.4 Organización Actual de la Empresa	3
1.4.1 Área de operaciones	4

1.4.2	Área de mantenimiento	5
1.4.3	Área de SSO	5
1.5	Descripción del Entorno de la Empresa	6
1.5.1.	Factores políticos y legales	6
1.5.2.	Factores económicos	6
1.5.3.	Factores medioambientales.....	7
CAPÍTULO II	22
REALIDAD PROBLEMÁTICA	22
2.1.	DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA.....	22
2.1.1.	Análisis del problema	22
2.2.	Objetivos del proyecto de investigación.....	33
2.2.2.	Objetivo Principal.....	33
2.2.3.	Objetivos específicos.....	33
CAPÍTULO III	34
DESARROLLO DEL PROYECTO	34
3.1	Descripción y desarrollo del proceso	34
3.1.1.	Antecedentes.....	34
3.1.2.	Accidentes por fallas del material	35
3.1.3.	Causas internas.....	35
3.1.4.	Causas Externas	35
3.2.	Base Teórica.....	38

3.2.1. Descripción del sistema ciclo combinado	38
3.2.2. Turbina a gas o turbo gas.....	39
3.2.3. Sistema de combustión	41
3.2.4. Turbina a vapor	42
3.2.5. Generador eléctrico de la turbina a gas.....	43
3.2.6. Generador eléctrico de una turbina a vapor	44
3.2.7. Aerocondensador	45
3.2.8. Bombas agua alimentación baja, alta e intermedia presión	45
3.2.9. Tratamiento de agua	46
3.3. Tipos de Mantenimiento	46
3.3.1. Mantenimiento preventivo	46
3.3.2. Mantenimiento predictivo.....	47
3.3.3. Ensayos no destructivos.....	47
3.3.4. Mejora continua y análisis de fallas (PHVA)	48
3.3.5. Planear	49
3.3.6. Hacer.....	55
3.3.7. Presupuesto proyecto.....	55
3.3.8. Cronograma del proyecto	58
3.4. Bases normativas	66
3.4.1. Vida útil del material	66
3.4.2. Condiciones de trabajo de los tubos de SH y cabezales.....	69

3.4.3. Determinación de tiempo de vida por Larson Miller LPM	70
3.4.4. Norma API 510:	71
3.4.5. ASTM E112, edición 2013.....	71
3.4.6. ISO 9712: 2012:	73
3.4.7. ANSI / ASNT CP-106/ISO 9712:	73
3.5. Conclusiones	74
3.5 Recomendaciones.	75
Capítulo IV	76
Referencias bibliográficas.....	76
Bibliografía	76
Capítulo V	78
Glosario de términos	78
Capítulo VI	79
Anexos	79

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1 Organigrama de Engie.....	4
Gráfico 2 Análisis FODA de Engie Energía Perú	8
Gráfico 3 Evolución Costo Marginal Pre y Postpandemia	10
Gráfico 4 Proyección de Reserva de Energía en los Próximos 4 Años.....	11
Gráfico 5 Evolución de Generación Semanal Durante Pandemia 2020.....	11
Gráfico 6 Participación de las RER en la Producción de Energía Eléctrica	14
Gráfico 7 Datos Estadísticos de Producción de Energía Eléctrica RER.....	14
Gráfico 8 Evolución de la Demanda Promedio Semanal (MW).....	19
Gráfico 9 Margen de Reserva Firme Objetivo (MRFO)	20
Gráfico 10 Generación Centrales Engie Energía Perú Últimos Años.....	21
Gráfico 11 Diagrama de Situaciones Potenciales de Fallas.....	49
Gráfico 12 Interpretación Circular de Situaciones Potenciales.....	50
Gráfico 13 Situaciones Potenciales de Falla por Zona ABC	53
Gráfico 14 Tendencia de Evolución de Falla de Material por Creep	71

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Realidad Problemática de la Investigación	32
Tabla 2 Accidentes en Centrales Térmicas en el Mundo.....	36
Tabla 3 Situaciones Potenciales de Fallas que Afectan a Cabezales	51
Tabla 4 Análisis de Situaciones Potenciales de Falla por Zona ABC	52
Tabla 5 Resumen de Presupuestos de Mantenimiento Enero 2022.....	55
Tabla 6 Resumen de Equipos e Insumos Para Reemplazar	56
Tabla 7 Resumen Costo de Mano de Obra	57
Tabla 8 Cronograma del Proyecto 1 de 1	58
Tabla 9 Cronograma del Proyecto 1 de 2	59
Tabla 10 Cronograma del Proyecto 1 de 3	60
Tabla 11 Cronograma del Proyecto 1 de 4	61
Tabla 12 Cronograma del Proyecto 1 de 5	62
Tabla 13 Cronograma del Proyecto 1 de 6	63
Tabla 14 Cronograma del Proyecto 1 de 7	64
Tabla 15 Cronograma del Proyecto 1 de 8	65
Tabla 16 Propiedades Mecánicas ASTM A213-T91	67
Tabla 17 Propiedades Químicas ASTM A213-T91	67
Tabla 18 Propiedades Físicas	68

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Proyectos de energía renovables Engie energía Perú	17
Ilustración 2 Explosión de Vapor de Alta Presión	22
Ilustración 3 Fallas en Ciclo Agua Vapor en una Central Termoeléctrica	25
Ilustración 4 Detalle "d1" de la Ilustración 3	26
Ilustración 5 Asiento de Válvula de Control de Presión de Vapor HP	26
Ilustración 6 Localización de Esfuerzo en Unión "T"	27
Ilustración 7 Signos de Fluencia (Creep) en Cabezal de Alta Presión	28
Ilustración 8 Tubos Sobre Calentadores Alta Presión Unión a Cabezal de Vapor .	29
Ilustración 9 Grieta en Domo de Alta Presión.....	30
Ilustración 10 Ejemplo de Explosión de Línea de Vapor de Alta Presión	37
Ilustración 11 Ciclo Combinado de Vapor	38
Ilustración 12 Componentes Turbina a Gas	39
Ilustración 13 Desmontaje de Turbina a Gas Marca Siemens.....	40
Ilustración 14 Flujo de Gases de Combustión	40
Ilustración 15 Partes Interna Recuperador de Calor.....	41
Ilustración 16 Partes Internas Turbina a Vapor	42
Ilustración 17 Corte Detalle Turbina a Vapor.....	43
Ilustración 18 Detalle Instalación de Generador Eléctrico	44
Ilustración 19 Diagrama de Flujo del Aerocondensador	44
Ilustración 20 Partes Interna Bomba de Agua Alimentación.....	45

Ilustración 21 Proceso de Tratamiento del Agua	46
Ilustración 22 Ciclo PHVA de E. W. Deming	48
Ilustración 23 Diagrama Causa Efecto Situaciones Potenciales de Fallas.....	54

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Contrato de Suministro Eléctrico 79

ACRÓNIMOS

ANA. Autoridad Nacional del Agua

CDO.: Inicio operacion comercial

DICAPI.: Dirección General de Capitanías y Guardacostas

HRSG.: Heat Recovery Steam Generator "Recuperador de calor"

IP.: Intermedia Presure "Media presion"

LP.: Low Presure "Baja Presión"

MINAN.: Ministerio de Ambiente

MRFO. *MRFO margen de reserva firme objetivo*

NDT. *ensayos no destructivos* NDT (Non Destructing Testing), *ensayos no destructivos* NDT (Non Destructing Testing), *ensayos no destructivos* NDT (Non Destructing Testing), *ensayos no destructivos* NDT (Non Destructing Testing)

OEFA. Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental

PBI.: Productos bruto interno

PDM. Mantenimiento Predictivo

PLM. parámetro Parámetro de Larson Miller, parámetro Parámetro de Larson Miller, parámetro Parámetro de Larson Miller, parámetro Parámetro de Larson Miller

RX.: Rayos "X", Rayos "X"

SSEE.: Sub estación

SSO.: Seguridad y salud ocupacional

TV31.: Turbina a Vapor 31, Turbina a Vapor 31

CAPÍTULO I

GENERALIDADES DE LA EMPRESA

1.1 ANTECEDENTES DE LA EMPRESA

ENGIE Energía Perú se creó en 1996 bajo la denominación social de Powerfin Perú S.A. Al año siguiente, modificó su nombre a Energía del Sur S.A. y, posteriormente, el 2007, pasó a ser EnerSur S.A. Finalmente, el 2016, adopta el nuevo nombre de su grupo corporativo y pasó a llamarse ENGIE Energía Perú S.A.

ENGIE Energía Perú forma parte del grupo ENGIE (antes GDF SUEZ) una sociedad constituida y existente bajo las leyes de Francia, cuyas acciones se encuentran listadas en las bolsas de Bruselas, Luxemburgo y París.

Desde que inició sus operaciones, ENGIE Energía Perú ha realizado inversiones tanto en la generación como en la transmisión de energía eléctrica. Con una inversión aproximada de 2,300 millones de dólares (1997-2019), es una de las mayores compañías de generación eléctrica del Perú, con una representación de 19% de potencia instalada a nivel Perú.

1.2 PERFIL DE LA EMPRESA

ENGIE Energía Perú es una de las mayores compañías de generación eléctrica del país e infraestructura energética, con 23 años en el mercado peruano que hasta hoy posee ocho centrales de generación distribuidas en 4 regiones del país (Lima, Moquegua, Pasco y Áncash) con una capacidad total de 2,496 MW. Tiene entre sus clientes a las más importantes empresas del sector minero, industrial, comercio y distribuidoras de energía eléctrica. Es la compañía más diversificada en cuanto fuentes de generación (gas natural, agua y energías renovables) y ubicación geográfica.

Forma parte del grupo ENGIE, referente global en energía y servicios bajos en carbono. Presente en 70 países y 170,000 colaboradores. Se enfoca en actividades clave (energía renovable, gas y servicios) para ofrecer soluciones integrales, con el propósito de liderar la transición a una economía carbono-

neutro para las personas, empresas y ciudades. ENGIE está listado en las bolsas de París y Bruselas (ENGIE) y está representado en principales indicadores financieros (CAC 40, DJ Euro Stoxx 50, Euronext 100, FTSE Eurotop 100, MSCI Europe) y no financieros (DJSI World, DJSI Europe and Euronext Vigeo Eiris – World 120, Eurozone 120, Europe 120, France 20, CAC 40 Governance).

En Latinoamérica, ENGIE está presente en Brasil, Argentina, Chile, Puerto Rico, México y Perú con soluciones para industrias, propiedades y ciudades a través de la producción y suministro de electricidad, gestión de toda la cadena del gas natural; e infraestructura asociada a la eficiencia energética. (Engie, 2020)

1.3 ACTIVIDADES DE LA EMPRESA O ENTIDAD

1.3.1 Misión

Desde el 2004, Engie Energía Perú cuenta con la certificación ISO 9001 para sus procesos de generación y comercialización de energía que le permite contar con una política de calidad dirigida a que cada persona de la empresa oriente su trabajo al logro de la máxima satisfacción del cliente, tanto interno como externo, incrementando así el valor de la empresa para el accionista.

El grupo Engie considera fundamental la certificación de sus filiales a nivel mundial, en materia de procesos, negocio, medio ambiente y seguridad. Por tal motivo, Engie Energía Perú cuenta con las recertificaciones ISO 9001:2015 (Gestión de la calidad), ISO 14001:2015 (Gestión del medio ambiente) y ISO 45001 2015 (Gestión de seguridad y salud ocupacional) que aseguran la implementación de un sistema de gestión integrado enfocado en calidad, medio ambiente, seguridad y salud ocupacional que cumple con los requisitos de estas tres normas, así como con la normatividad legal aplicable a nuestras actividades.

1.3.2 Visión

Alineado al propósito del grupo ENGIE de acelerar la transición hacia la economía carbono-neutral, Engie Energía Perú se esfuerza en promover la descarbonización de las actividades económicas del país. Mas allá de reducir sus propias emisiones, la compañía busca ayudar a sus clientes, proveedores, su personal y demás grupos con quienes se relaciona a ser ecoeficientes.

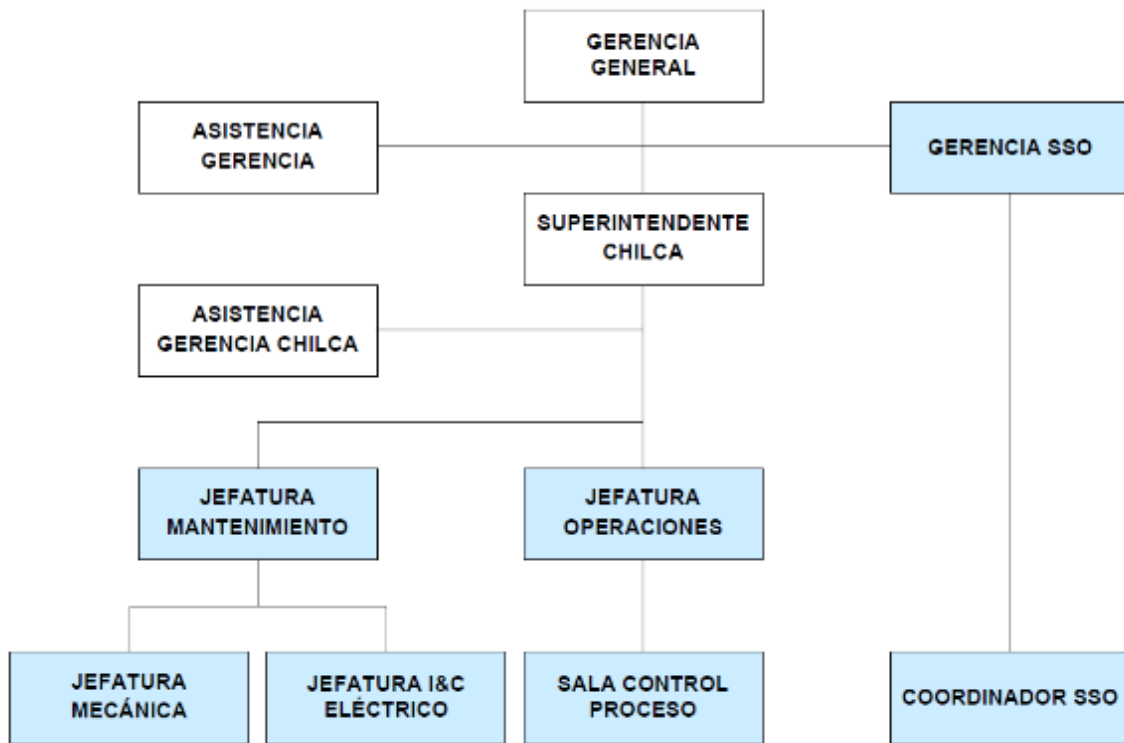
1.3.3 Objetivo

Nuestro grupo es una referencia mundial en energía y servicios de bajo carbono y nuestro propósito es actuar para acelerar la transición hacia un mundo neutro en carbono, a través de la reducción del consumo de energía y de soluciones más respetuosas con el medio ambiente, conciliando el rendimiento económico con un impacto positivo en las personas y el planeta. Confiamos en nuestros negocios clave (gas, energía renovable, servicios) para ofrecer soluciones competitivas a nuestros clientes. Con nuestros empleados, nuestros clientes, socios y partes interesadas, somos una comunidad de “Imaginative Builders”, comprometidos cada día con la carbono-neutralidad. (Engie, 2020)

1.4 Organización Actual de la Empresa

La organización actual de la empresa en la sede de Chilca es la que se muestra en el **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, para la elaboración del proyecto de mejora se coordinó con las jefaturas de mantenimiento, operaciones y gerencia de SSO; para plantear la propuesta de mitigación de fallas en líneas y tubos de vapor de alta presión los recuperadores de calor “HRSG”.

Gráfico 1
Organigrama de Engie



Fuente propia: (Urday Luna, 2021)

Se realiza la coordinación con las jefaturas de mantenimiento, operaciones y gerencia de SSO para realizar el estudio e implementación para aplicar las medidas de prevención para mitigar fallas en los tubos y cabezales de vapor de alta presión de los sobre calentadores de HP de los recuperadores de calor "HRSG". Es importante involucrar a los tres departamentos mencionados ya que se debe realizar una evaluación conjunta para poder contribuir con un mejor plan de desarrollo para viabilidad del proyecto

1.4.1 Área de operaciones

Es el área encargada realizar las maniobras y operación diaria de los sistemas de control y manejo de la central, estando en sus manos mantener la correcta operatividad de los sistemas de control del ciclo combinado de vapor, los sistemas de vapor por trabajar a altas temperaturas y presiones deben respetar ciertas rampas de calentamiento en arranques y paradas de la misma forma en las

maniobras operativas que involucran un cambio en la demanda de energía de la central según lo requerimiento del COES SINAC.

1.4.2 Área de mantenimiento

Es el área encargada de realizar las inspecciones y mantenimientos programados según lo planificado con el área de planeamiento la cual gestiona juntamente con logística los diferentes servicios a contratar, insumos, repuestos los cuales se realizan las gestiones de presupuestos con un año de anticipación para cada mantenimiento. En algunas oportunidades la gestión de algún material o repuesto imprevisto genera grandes sobrecostos ya que las órdenes de compra son ejecutadas con varios meses de anticipación e incluso algunos equipos pueden llegar a demorar hasta un año por la escases y poca demanda de fabricación ya que suele ser exclusivo para la central, por lo cual es imprescindible poder realizar una adecuada planificación y gestión para la adquisición de insumos y repuestos así poder evitar sobrecostos.

1.4.3 Área de SSO

Es el área encargada de manejar y hacer seguimiento a los planes, legislaciones y normas de seguridad aplicadas en planta, es importante mantener informado de la propuesta de mejora para mitigar fallas en los tubos y cabezales de vapor de alta presión de los sobre calentadores de HP de los recuperadores de calor "HRSG", por ser una falla crítica la cual involucra la vida y seguridad del personal como las instalaciones de la central, contribuyendo con un aporte importante que puede ayudar con los objetivos de seguridad planteados anualmente.

1.5 Descripción del Entorno de la Empresa

1.5.1. Factores políticos y legales

Los factores políticos y legales engloban la estabilidad: política, laborales, legales, legislación sobre el cumplimiento de contratos, protección de los consumidores y empleo, son muy importantes y críticos ya que pueden afectar drásticamente a la empresa ya que las políticas y reformas que plantea el ejecutivo y el legislativo afectan directamente las proyecciones de la empresa, ya que todos los proyectos ejecutados por la empresa tienen una vida útil de 20 a 30 años, la estabilidad política es crucial para el desarrollo e inversión de cualquier rubro en nuestro país tal es el caso de la crisis política, generada por múltiples acontecimientos como constantes cambios en el poder ejecutivo, la incertidumbre de nuevas elecciones sumado a la pandemia del Covid 19 a estancado y afectado tremendamente el desarrollo de nuevos proyectos.

Cada 5 años hay grandes cambios con la instalación de nuevos gabinetes presidenciales y congresales ejecutando grandes cambios a las normativas políticas y legales, pueden aportar ventajas como representar amenazas impactando positiva o negativamente a la ejecución de nuevos proyectos y continuidad de los que se vienen desarrollando, pudiendo afectar el buen desempeño y proyección de la empresa.

1.5.2. Factores económicos

Los factores económicos engloban el porcentaje de inflación, las tasas de intereses, cambios en el ingreso disponible, índices del mercado laboral, productos bruto interno (PBI), índice de precios al consumidor (IPC) entre otros indicadores. La realización y ejecución de los presupuestos de mantenimiento y operación de las centrales termoeléctricas, así como los nuevos proyectos se realizan por medio de financiamiento externo por lo que es crucial evaluar constantemente los factores económicos.

1.5.3. Factores medioambientales

Es el ecosistema donde realiza sus actividades la empresa, la cual puede sufrir de contaminación por la actividad de la compañía, cambios en la normativa medio ambiental, así como los entes de control y supervisión (ANA, OEFA, dirección ambiental del de energías y minas, MINAN, DICAPI) están en constante evolución, adoptando nuevas normas internacionales que son aplicadas en la nueva legislación peruana, lo que conlleva nuevas medidas de control para el funcionamiento y operación de las centrales termoeléctricas.

Gráfico 2

Análisis FODA de Engie Energía Perú

FORTALEZAS

- f1 Posicionamiento en producción diversificada de energías: térmicas, renovables (solar), hidráulica.
- f2 Triple certificación SGI, cultura cero accidentes y prevención.
- f3 Asesoría técnica internacional por pertenecer al Grupo internacional Engie de capital Frances.
- f4 Personal capacitado, con una edad promedio de 29 años
- f5 Solvencia y estabilidad económica en el mercado.
- f6 Altos estándares de operación y mantenimiento de planta.
- f7 Suministro permanente de recursos con prevención sobre averías.

OPORTUNIDADES

- o1 Nuevas licitaciones favorables de energías renovables en el mercado.
- o2 Alcanzar una mayor disponibilidad en Seguridad Industrial.
- o3 Acceder a una mayor asesoría técnica para revertir y solucionar problemas.
- o4 Dar oportunidades al mercado laboral para pertenecer a una empresa competitiva.
- o5 Ampliar las operaciones a nivel de producción energética frente a los competidores.
- o6 Obtener calificaciones de estándares de calidad en mantenimiento preventivo.
- o7 Mejorar de forma permanente incidencias de averías en planta.

DEBILIDADES

- d1 Activos fijos con un alto grado de uso en el tiempo en planta.
- d2 Deterioro de equipos e instrumentación por uso permanente en operaciones de producción de energía.
- d3 Rotación de personal técnico establecido con sustitución por personal nuevo.
Burocracia en algunos procesos para gestión de algunas órdenes de compra que se dilatan más de la cuenta lo que ocasiona demoras en otras órdenes de compra que son urgentes o críticas.
- d4 Innovación y rapidez al cambio algo lento, en comparación con un competidor trasnacional, nos lleva la delantera en la implementación de nuevas energías.
- d5 Coordinación entre áreas algo lenta, el SAP no es explotado de manera eficiente y la transición al nuevo SAP HANA es muy lento, el uso del Teams y manejo de PT se puede optimizar.
- d6 Sindicato de la empresa, nuevas peticiones a raíz de pandemia Covid 19 (bonos, ayuda familiar).

AMENAZAS

- a1 Accidentes en planta por averías a causa de factores o incidentes naturales.
- a2 Cambio coyuntural por factores políticos para la estabilidad de costos de energías en el mercado.
- a3 Variación costos y de reglas en el marco normativo para la operación en la producción energética nacional.
- a4 Permanencia de la pandemia por el COVID 19, con avances lentos en su mitigación.
- a5 Paralización de licitaciones, cierre de empresas, reducción de demanda para producción de energía por Covid 19 y coyunturas sociales.
- a6 Nuevas normas aplicadas a raíz de la pandemia lo que involucra un mayor presupuesto.
- a7 Sindicatos externos de la empresa (construcción civil) buscan incluirse en trabajos de mantenimiento de la central.

Fuente propia: (Urday Luna, 2021)

Estrategias preventivas

D1: En cuanto a los activos fijos con un alto grado de uso en el tiempo, si bien se viene realizando los mantenimientos preventivos adecuados, se programará la renovación según los activos fijos con mayor cantidad de horas de operación y criticidad para la planta.

D2: En los equipos e instrumentación de generación de energía de igual forma que los activos fijos se vienen realizando mantenimientos preventivos, predictivos para tener mejor control antes que se produzcan las fallas, se programará la renovación según de dichos equipos e instrumentación los que tienen mayor cantidad de horas de operación y criticidad para la central.

D3: El área de RRHH realiza las entrevistas, evaluaciones y filtro inicial, seguidamente el personal técnico con experiencia que es reemplazado con personal nuevo pasa por un periodo de capacitación e inducción en los diferentes sistemas, equipos y elementos relacionados al mantenimiento y operación según el área que será designado. Al final del periodo de capacitación es evaluado para verificar si cumple con las competencias y requerimientos del puesto dependiendo de la experiencia en centrales térmicas se designa un área de trabajo bajo supervisión de 2 meses, de esta manera garantizar asuma todas las responsabilidades del puesto de trabajo.

D4: El problema radica en el sistema de control de gastos ya que estos se realizan en base a varios filtros de control de gastos dependiendo de los montos y justificación para realizar las órdenes de compra previa elaboración de Solped. Según el monto de dinero de la Solped tiene que ser aprobada por diferentes responsables:

de 1 a 80.00\$ no necesita realizar una Solped el desembolso es por caja chica

de 80\$ hasta 1000.00\$ se realiza una Solped la cual será aprobada, firmada y liberada por el jefe de cada área según donde este destinada.

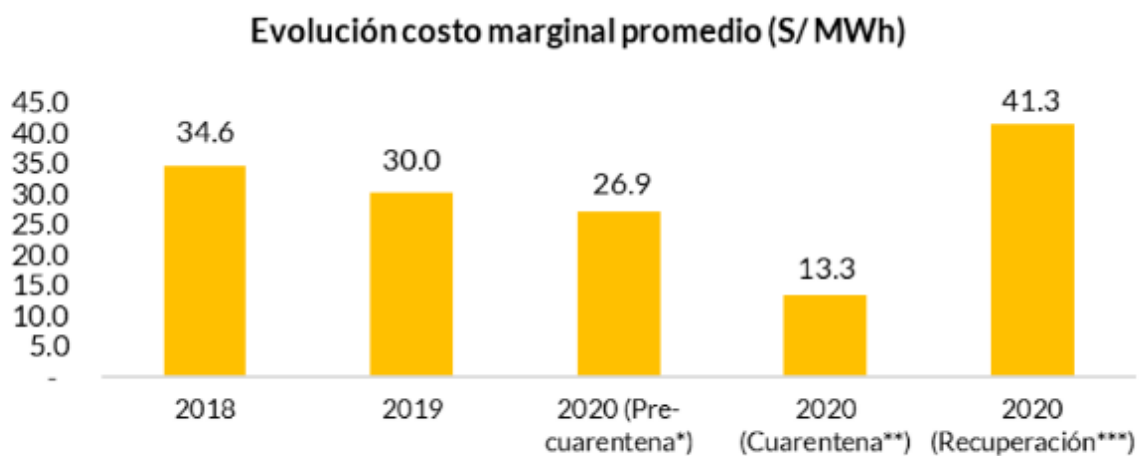
De 1000.00\$ a 100000.00\$ se realiza una Solped la cual será aprobada, firmada y liberada por el superintendente de la sede y jefe área según donde este destinada

Más de 100000.00\$ se realiza una Solped la cual será aprobada, firmada y liberada por el Gerente general, superintendente de la sede y jefe área según donde este destinada.

D5, O5: La implementación del nuevo proyecto eólico en la ciudad de Ica, Punta Lomitas con una potencia instalada de 260MW es una realidad que se viene desarrollando a pesar de todas las adversidades prueba que Engie sigue en la vanguardia de generación de energías renovables, gracias a la notable recuperación del costo marginal con la reactivación por parte del estado peruano.

Gráfico 3

Evolución Costo Marginal Pre y Postpandemia



*Pre-Cuarentena: Semanas 1-10 (04/01/2020 hasta el 13/03/2020)

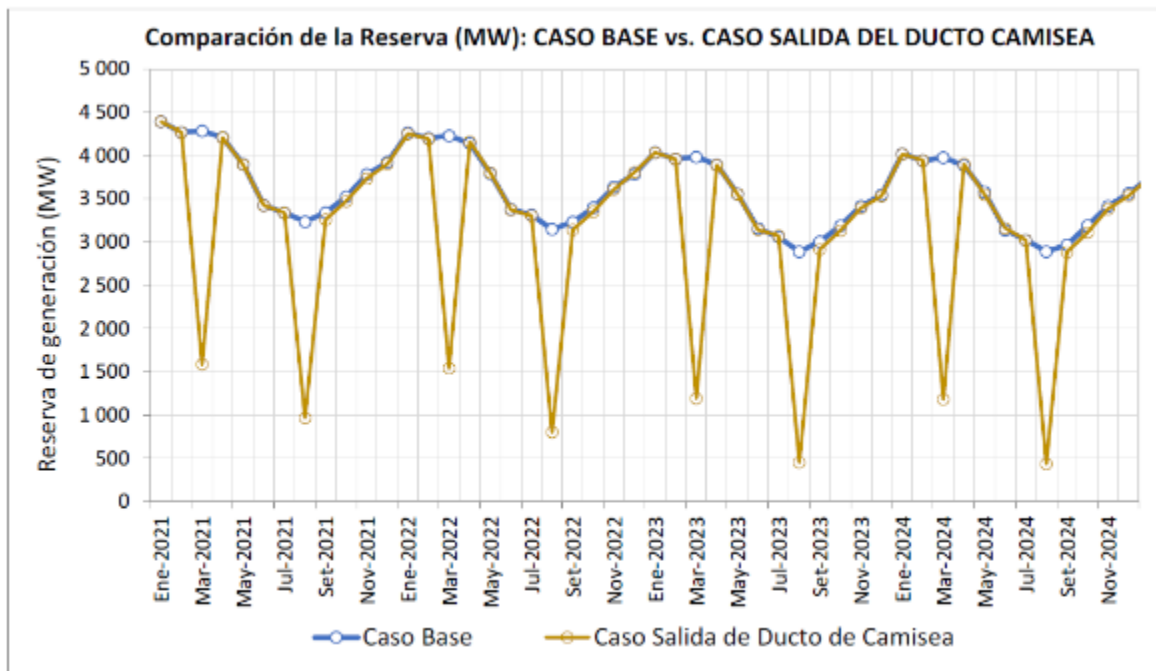
**Cuarentena: Semanas 11-21 (14/03/2020 hasta el 29/05/2020)

***Recuperación Semanas 22-42 (30/05/2020 hasta el 23/10/2020)

Evaluación del costo marginal de energía (COES, 2021).

Gráfico 4

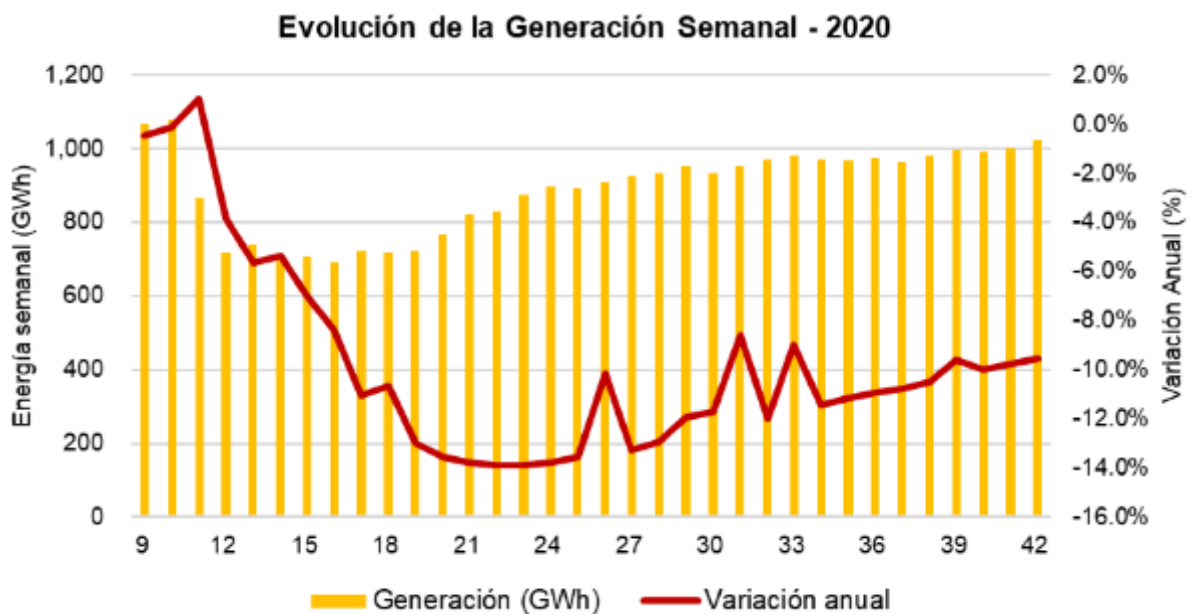
Proyección de Reserva de Energía en los Próximos 4 Años



Proyección de reserva de energía en los próximos 4 años (Coes, 2021).

Gráfico 5

Evolución de Generación Semanal Durante Pandemia 2020



Evolución de generación post confinamiento marzo 2020. (Coes, 2021)

De esta manera, la generación semanal promedio en las primeras 10 semanas del año (periodo pre-cuarentena) fue de 1,058 GWh, mientras que el promedio en el periodo más estricto del estado aislamiento, entre la semana 11 hasta la semana número 21 (entre el 14/03/2020 hasta el 29/05/2020) fue de 743 GWh (caída del 29.8% respecto al periodo pre-cuarentena).

Sin embargo, a partir de la semana 22, se mostró una recuperación de la demanda, la cual mostró una generación promedio entre la semana 22 a la 42 (30/05/2020 hasta el 23/10/2020) de 948.2 GWh, creciendo en 27.6% respecto al periodo más estricto del estado de aislamiento. (Engie, Reporte de Clasificación, 2020)

D6: Se viene avanzando contra marea con la digitalización de los procesos de la empresa tal es el caso de la nueva versión del SAP Hana, las diferentes APP's para los permisos de trabajos, registros de operación y lecturas y control de los procesos en campo; con un programa de capacitaciones y actualizaciones a todo el personal involucrado de la empresa, tanto en planta como los trabajadores que realizan trabajo remoto, la empresa presta el soporte técnico necesario para romper con la brecha de la comunicación.

O1: Si bien por la coyuntura actual se ve menguada las oportunidades de nuevas licitaciones de energías renovables en el mercado, la empresa viene trabajando en un nuevo proyecto de una nueva central eólica en la ciudad de Ica, la central Punta Lomitas que simboliza el avance a la transición a cero carbón.

O2: Gracias al sistema SGI tri-norma implementado desde hace 15 años, se tiene consolidado diferentes planes y metas e indicadores KPI's los cuales ayudan a llevar y medir la situación de manera mensual, semestral o anual según corresponda:

- Revisión de procesos y auditoría interna.
- Revisión de Gestión de Riesgos SGC, IPER e IAA.

- Oportunidades de mejora y accidentes e incidentes ambientales registras a través del Módulo de Gestión de Mejora de Continua (GMC); en este flujo se califica y también se puede descartar la oportunidad de mejora.
- Estas oportunidades de mejora son evaluadas por los responsables de cada proceso y se definen planes de acción a implementarse para que no vuelva a ocurrir; una vez definidas las acciones estas son ingresadas a los Indicadores KPIs mediante los cuales se les hace seguimiento semanal, mensual.
- Adicionalmente cada proceso puede identificar oportunidades de mejora en las diferentes actividades y revisiones internas de su proceso con ayuda del aplicativos.
- Informes mensuales a la vicepresidencia de desarrollo sobre el cumplimiento de los indicadores de MA y cumplimiento de PGA.

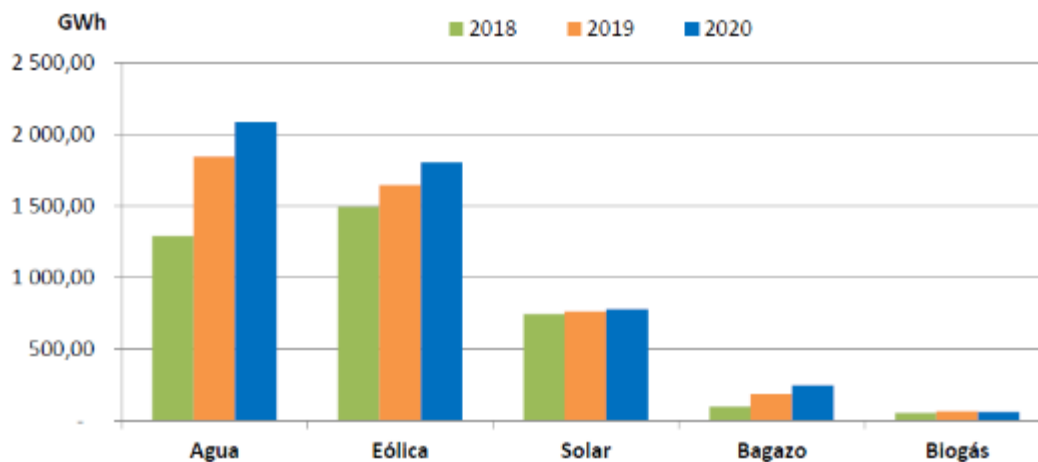
O3: En múltiples ocasiones se ha realizado consulta a expertos de otras sedes del Grupo Engie internacional, a futuro se tiene soporte técnico en temas especializados cuando se requiera solucionar fallas complejas que se presenten en la central.

O4: Por ser una empresa atractiva para el mercado laboral, se puede disponer de nuevo personal con altas competencias técnicas y de experiencia para formar parte del grupo Engie Energía Perú.

O5: Engie apuesta por la instalación de nuevas centrales de RER (Recursos energéticos renovables).

Gráfico 6

Participación de las RER en la Producción de Energía Eléctrica

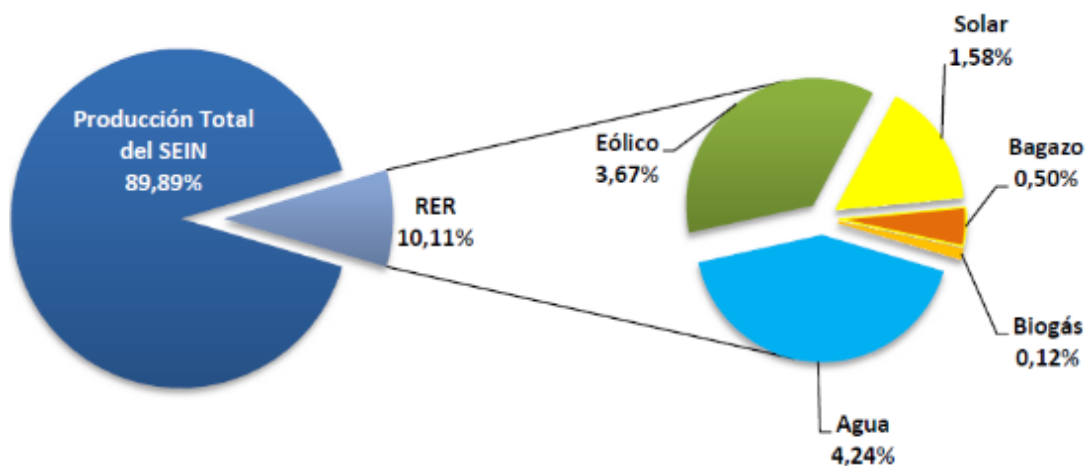


Participación de las RER en la Producción de Energía Eléctrica en el SEIN

Fuente: (COES, 2021)¹

Gráfico 7

Datos Estadísticos de Producción de Energía Eléctrica RER



Fuente: (COES, 2021)

Datos estadísticos de Producción de Energía Eléctrica en SEIN es de: TOTAL SEIN 2020 = 49 186,64 GWh, TOTAL RER 2020 = 4 970,55 GWh (10,11 %) (Coes, 2021)

¹ La participación y en la producción de energía eléctrica en el SEIN.

Podemos observar un incremento hasta 10.11% del total de la producción en el SEIN, razón por la cual está en proceso la instalación de la central eólica Punta Lomitas de 260MW con proyección a finalizar a comienzos del 2023.

O6: Se espera ser reconocido por los “altos estándares de calidad en mantenimiento preventivo”, se puede mencionar algunos premios ganados a nivel nacional:

- *Ranking Merco Talento 2020:* Mejor empresa del Sector Energía para atraer y retener talento.
- *Índice de Buen Gobierno Corporativo 2020 – Bolsa de Valores de Lima:* Por tercer año consecutivo, ENGIE Energía Perú fue incluida en el Índice de Buen Gobierno Corporativo (IBGC) de la Bolsa de Valores de Lima.
- *Ranking Merco Empresas 2019:* Empresa con Mejor Reputación Corporativa del Sector Energía.
- *Premio Creatividad Empresarial 2018 – UPC:* Categoría Servicios Públicos por la Central Solar Intipampa y su contribución al sector eléctrico con energías renovables.
- *The European & Thomson Reuters 2018:* Compañía líder en sostenibilidad en el sector de energía peruano.
- *Premio “Desarrollo Sostenible 2018” – SNMPE:* Mención Honrosa por el proyecto Bus 100% Eléctrico para Lima.
- *Premio a la Ecoeficiencia Empresarial 2009 – Ministerio del Ambiente:* Por buenas políticas ambientales orientadas al reciclaje del agua en el proceso de Tratamiento de Aguas Servidas y Forestación en la Central Termoeléctrica Ilo21 (Moquegua). (Engie, Engie Energía Perú, 2021)

A1: los accidentes por averías en planta son latentes por el tiempo de vida de los equipos ya que llevan funcionando 8 años de manera continua, con

paradas programadas por mantenimiento una vez al año, por cortos periodos de 2 a 3 semanas, en el caso de algunos equipos se tiene equipos de respaldo, los cuales se pueden realizar mantenimientos preventivos según plan de mantenimientos por horas de servicios: 4000h, 8000h, 32000h,80000hrs.

A2, A3: Ante el riesgo latente por el cambio coyuntural por factores políticos, nuevas normativas legales y la estabilidad de costos de energías en el mercado energético, la empresa tuvo que posponer dos de sus tres proyectos, los cuales ya se encontraban avanzados, sin embargo, decidió continuar con el proyecto eólico de Punta Lomitas en Ica, con la concesión definitiva de generación y transmisión otorgada por el Ministerio de Energía y Minas, y el inicio de su construcción se estima para el segundo semestre del año 2021.

Durante este periodo, ENGIE Energía Perú suscribió 3 nuevos contratos por un total de 151.55 MW y 14 adendas a los contratos vigentes por un total de 1.20 MW en hora punta. El contrato más resaltante se firmó con Anglo American Quellaveco. El acuerdo contempla convertir sus contratos actuales a suministro renovable, y a partir de 2029 y por un plazo de ocho años, un contrato de suministro eléctrico 100% verde (por 150 MW), respaldado principalmente por la futura Central Eólica Punta Lomitas.

Ilustración 1

Proyectos de energía renovables Engie energía Perú



Cronograma de proyectos futuros de Engie Energía Perú proyectados hasta el 2025 (Engie, Reporte de Clasificación, 2020)

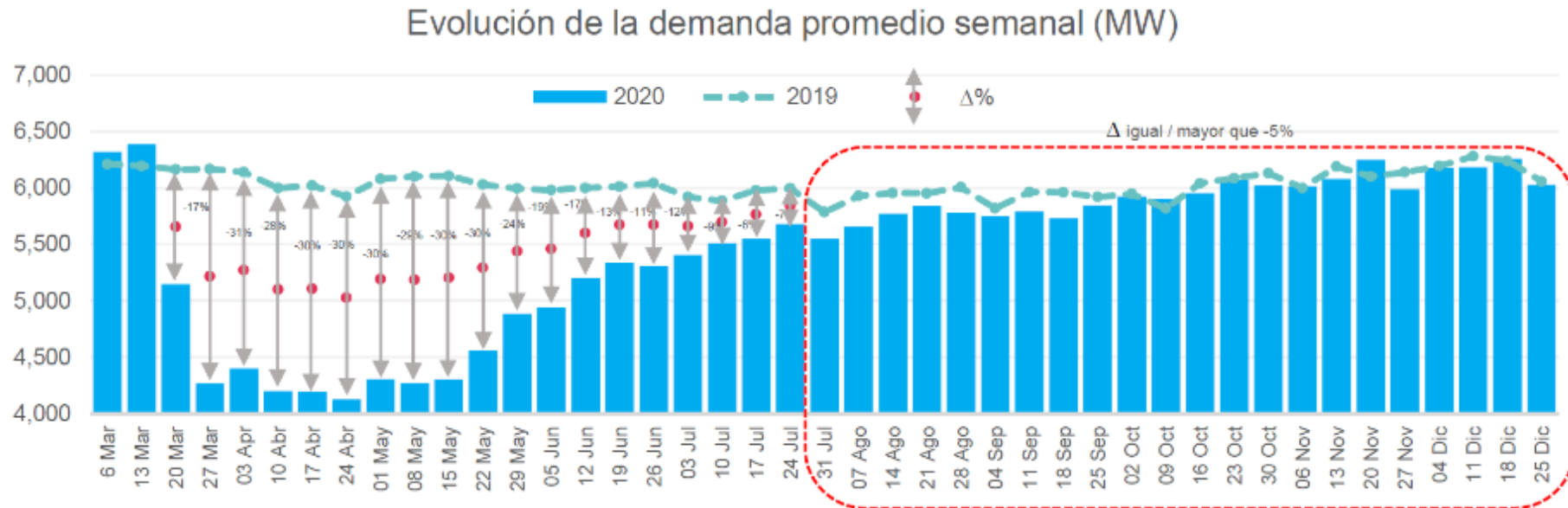
A4: independiente de la permanencia de la pandemia por el COVID 19, con avances lentos en su mitigación, la empresa ha implementado una serie de medidas preventivas con todo el personal de la empresa:

- En planta se aplica todos los protocolos de seguridad para la prevención desde el uso de EPPs, desinfección al ingreso, toma de temperatura al ingresar y salir de planta, lleno de ficha asintomática 24hrs antes del ingreso a planta la cual es revisada por el médico ocupacional.
- Se requiere solo el personal mínimo para las operaciones y mantenimiento de planta, el resto de personal realiza trabajo remoto.
- Para el personal mínimo que asiste a laborar a planta tiene una movilidad de uso exclusivo desde la central hasta sus casas.
- Todo el personal de planta pasa por pruebas mensuales de descarte de COVID 19, como manera preventiva personal extranjero que tuviese que trabajar en planta además de las pruebas COVID 19, debe pasar una cuarentena en un Hotel antes de su ingreso a planta.

A5: La reducción de la demanda para producción de energía, paralización de licitaciones, por COVID 19. Durante este periodo Engie Energía Perú suscribió 3 nuevos contratos por un total de 151.55 MW y 14 adendas a los contratos vigentes por un total de 1.20 MW en hora punta con la finalidad de contrarrestar los efectos de la reducción de la demanda de energía. Según estudio de verificación del margen de reserva firme objetivo (MRFO) del SEIN.

Gráfico 8

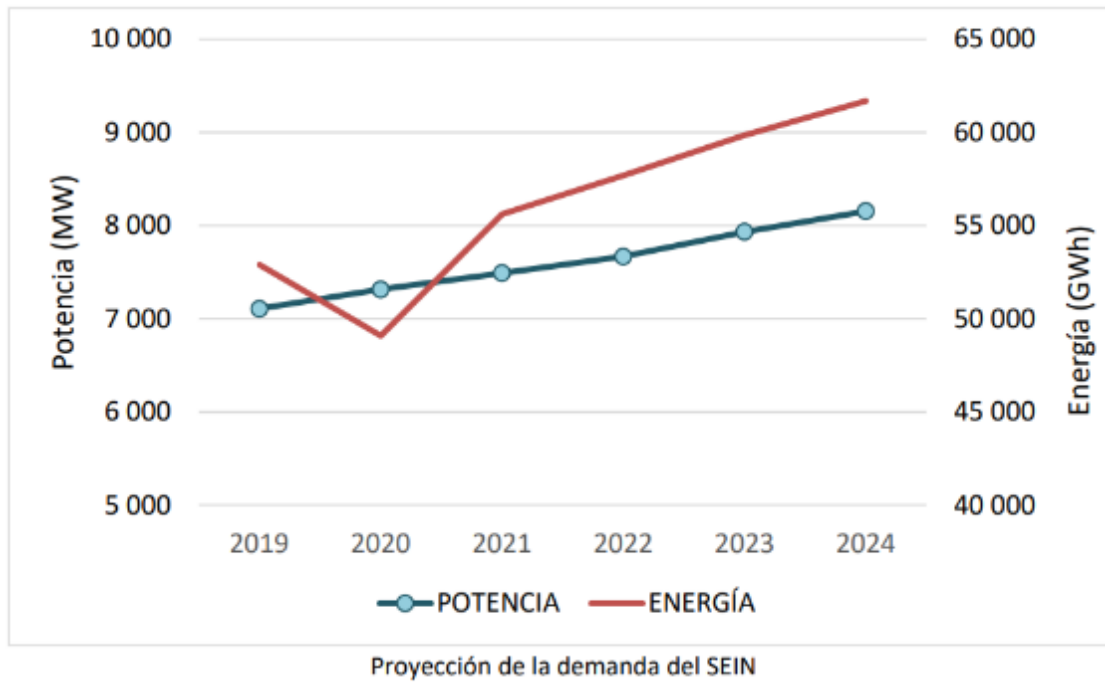
Evolución de la Demanda Promedio Semanal (MW)



Fuente: (Engie, Reporte de Clasificación, 2020)

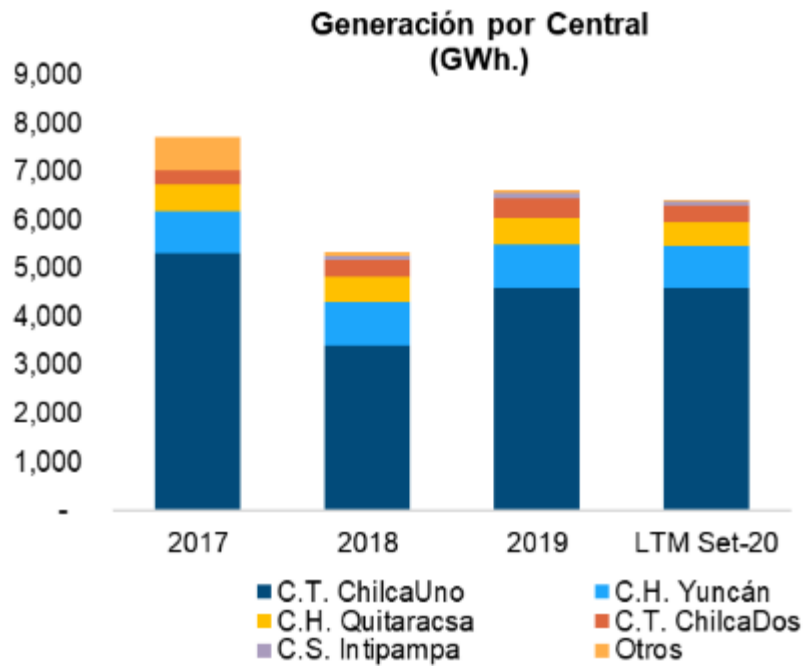
Se puede observar en el Gráfico N° 8, la caída drástica de la demanda de energía tras la cuarentena de marzo del 2020 (-17%) a sus valores mínimos de caída en abril del 2020 a -30% (24 de abril 4150MW), la recuperación de la demanda empieza en mayo del 2020 hasta -7%, manteniéndose en promedio en -5% hasta fin de año 25 diciembre 2020.

Gráfico 9
Margen de Reserva Firme Objetivo (MRFO)



Fuente: (COES, 2021)²

² Informe COES/DP-SPL-011-2021, correspondiente a la verificación anual del cumplimiento del MRFO para los siguientes cuatro años.

Gráfico 10*Generación Centrales Engie Energía Perú Últimos Años*

Fuente: (Engie, Engie Energía Perú, 2021)³

³ Disminución de generación últimos 4 años respecto a pandemia Setiembre 2020.

CAPÍTULO II

REALIDAD PROBLEMÁTICA

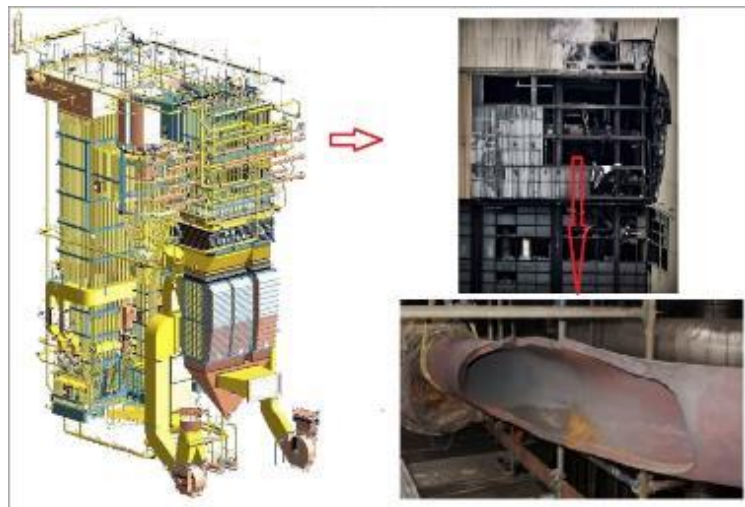
2.1. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA

2.1.1. Análisis del problema

Desde finales del siglo XX a nivel mundial se sabe de varios accidentes fatales en centrales termoeléctricas y nucleares, las cuales causaron pérdidas irreparables cobraron la vida de trabajadores dejando cientos de heridos y millonarias pérdidas materiales, por lo que es imprescindible proponer soluciones para las medidas de prevención para mitigar fallas en los cabezales y sobre calentadores de alta presión de la central termoeléctrica Chilca Uno.

Ilustración 2

Explosión de Vapor de Alta Presión



Fuente: (El Comercio, 2016).⁴

⁴ Explosión de vapor de alta presión en Complejo industrial de la ciudad de Dangyang, China, deja como saldo 21 muertos, 5 heridos y cuantiosas pérdidas y sanciones económicas.

En una central termoeléctrica las características a nivel de resistencia de materiales de los equipos se someten a factores físicos, principalmente a altas temperaturas con un nivel de 550°C y presiones de 125 bar; los cuales vienen a generar grandes esfuerzos de tracción y flexión en las paredes internas del material producto del vapor de agua.

Al existir como medio interno el vapor de agua, viene por defecto el estrés y envejecimiento del material. Otra forma de envejecimiento es por medio de la corrosión, las tuberías de acero, que se utilizan comúnmente en los sistemas de vapor, contienen una cantidad significativa de hierro y es vulnerable a la oxidación bajo ciertas condiciones, se producen diferentes tipos de envejecimiento del material de los tubos de sobre calentadores y cabezales de vapor de alta presión "HP".

El Óxido de hierro ocurre debido a la oxidación de la superficie del metal con la exposición al aire y el agua es necesario utilizar inhibidores de la corrosión, Fosfato y amonía para mejorar las propiedades del vapor y del agua (condensado) utilizado en el sistema ciclo agua vapor. Los Sistemas de tuberías de recuperación de condensado de acero son especialmente vulnerables porque los reactivos para la oxidación para formar (oxígeno, agua y hierro) son abundantes.

Por el contrario, en las tuberías de vapor en buen estado, existe significativamente menor cantidad de aire y agua después de la puesta en marcha, lo que reduce el avance del oxido. Adicionalmente, en un sistema de recuperación de condensado cerrado normalmente se generará menos oxido que en un sistema abierto debido a que en este existe menor exposición al aire. Sin embargo, la infiltración de aire en el sistema posterior al paro de este puede conducir a una corrosión significativa si no se drena correctamente. Es importante darse cuenta de que los sistemas con períodos de parada frecuentes pueden experimentar oxidación acelerada en todos los tubos si se permite que el condensado permanezca en el sistema durante el tiempo de paro.

Una buena medida para prevenir la oxidación durante el funcionamiento es emplear el uso adecuado de trampas de vapor las cuales eliminarán el condensado que se forme y ayudarán a mantener el vapor seco. El aire también debería ser eliminado del sistema a través de los venteos de aire de modo que se reduzcan al mínimo las oportunidades de formación de óxido. Cuando se producen paradas, es importante drenar manualmente el condensado desde todos los puntos de recuperación en los cuales el condensado pudiera no ser drenado de manera automática por las trampas de vapor. (TLV, 2021)

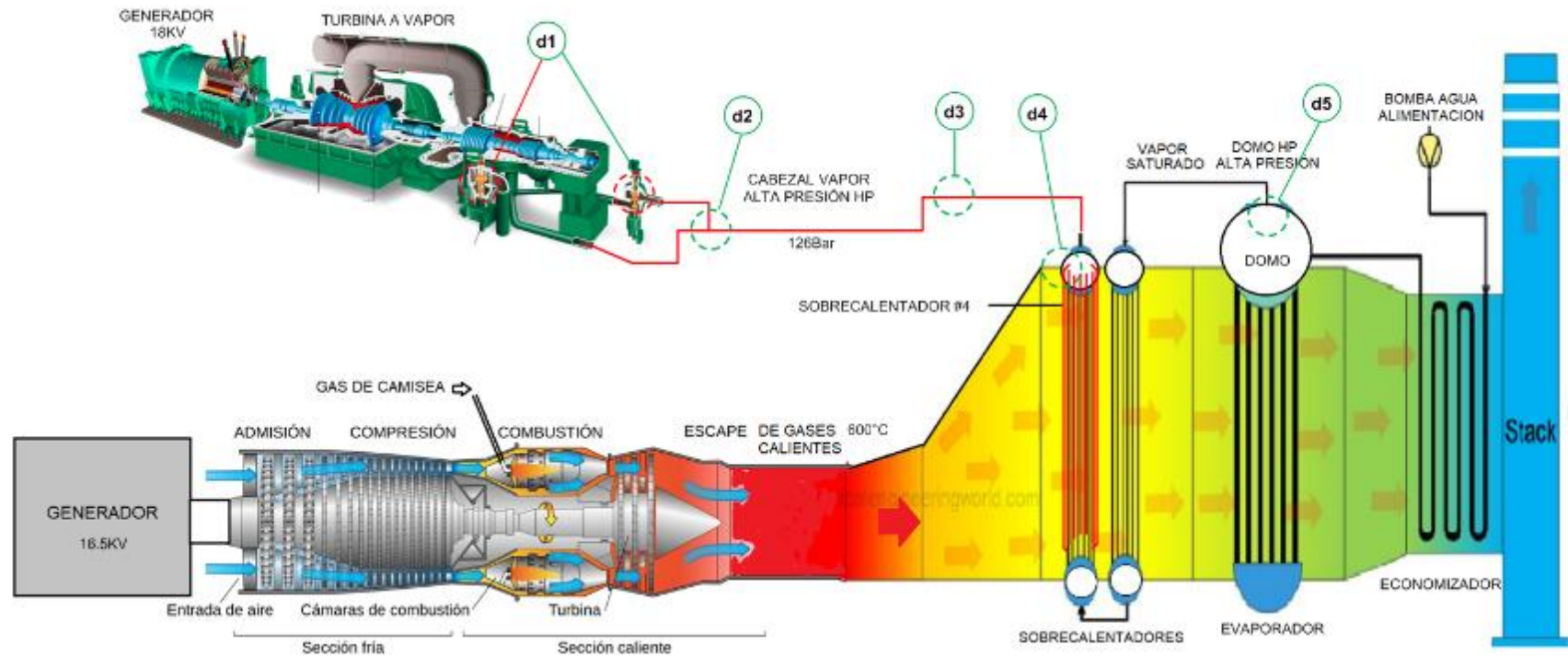
Si bien el material ASTM SA213-T91, ASTM SA335-P91 de los tubos de los sobrecalentadores y cabezales de vapor en alta presión "HP", respectivamente están diseñados para trabajar a estos rangos de presión y temperatura con una vida útil de 30 años bajo condiciones normales de operación, en la práctica, el tiempo de vida útil vendría a reducirse por cambios bruscos de temperatura y presión durante los arranques, paradas normales y paradas de emergencia.

Al mismo tiempo, se evidencian que los eventos externos del sistema nacional traen por consecuencia afectaciones o distorsiones en la carga o demanda de energía de la central, el cual vendría a generar variaciones de carga en el sistema eléctrico interconectado nacional "SEIN".

Agregar, que por requerimiento del COES SINAC principalmente al solicitarse sea para bajar o subir de demanda de carga, tendría un efecto negativo en la vida útil del material de los tubos y cabezales de vapor; pudiendo ocasionar serios accidentes que pondrían en riesgo la vida de los trabajadores de planta y los activos de la empresa.

Ilustración 3

Fallas en Ciclo Agua Vapor en una Central Termoeléctrica

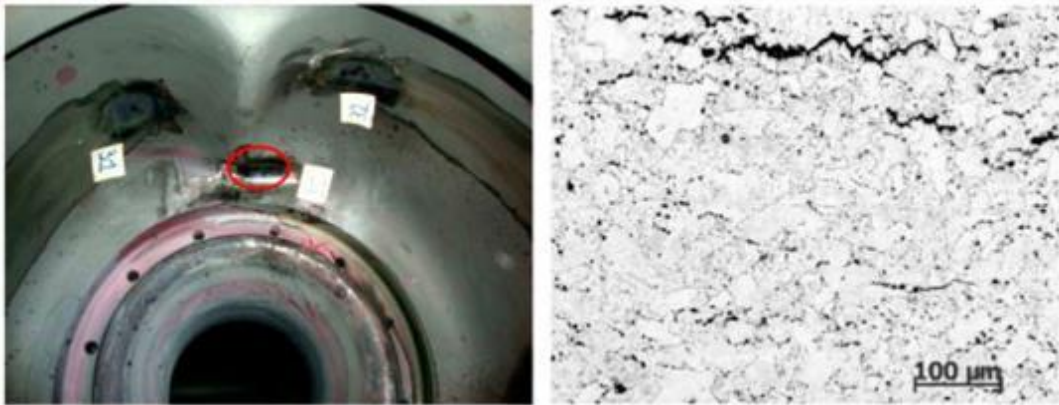


Fuente: (Free3d, 2021)⁵

⁵ En la Ilustración N° 3, se observa 5 fallas típicas del material en la zona de alta presión de vapor (126Bar), señaladas con d1: válvulas de control vapor, d2: unión en "T", d3: Hanger, d4: tubos SH4, d5: Domo HP las que se desarrollan a continuación, Adaptada de Free3d.

Ilustración 4

Detalle "d1" de la Ilustración 3



Fuente propia: (Urday Luna, 2021)

Ilustración 5

Asiento de Válvula de Control de Presión de Vapor HP

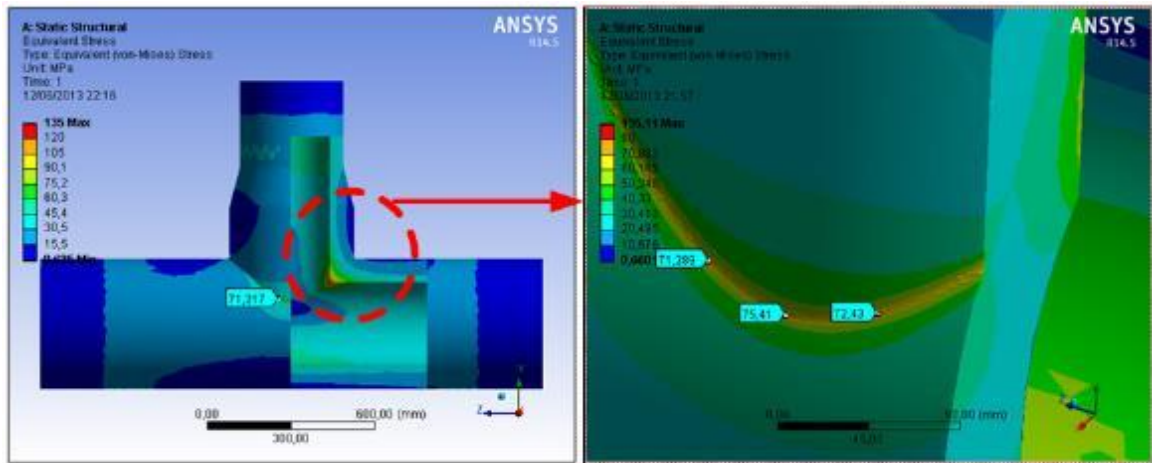


Fuente propia: (Urday Luna, 2021)

Se observa daños por fluencia (creep) severos en la cercanía del “anti-vortex rib” de válvula stop, en la metalografía lado superior derecha se observa zona de concentración de estrés presenta acumulación de esferoidización de los carburos laminares de la perlita, dando como resultado una fisura del material, según evaluación hay dos soluciones, por reemplazo del repuesto, en caso no hubiera repuesto se deberá resanar la zona afectada por proceso de soldadura TIG/GTAW, el cambio de la pieza será programado en el próximo mantenimiento anual.

Ilustración 6

Localización de Esfuerzo en Unión "T"



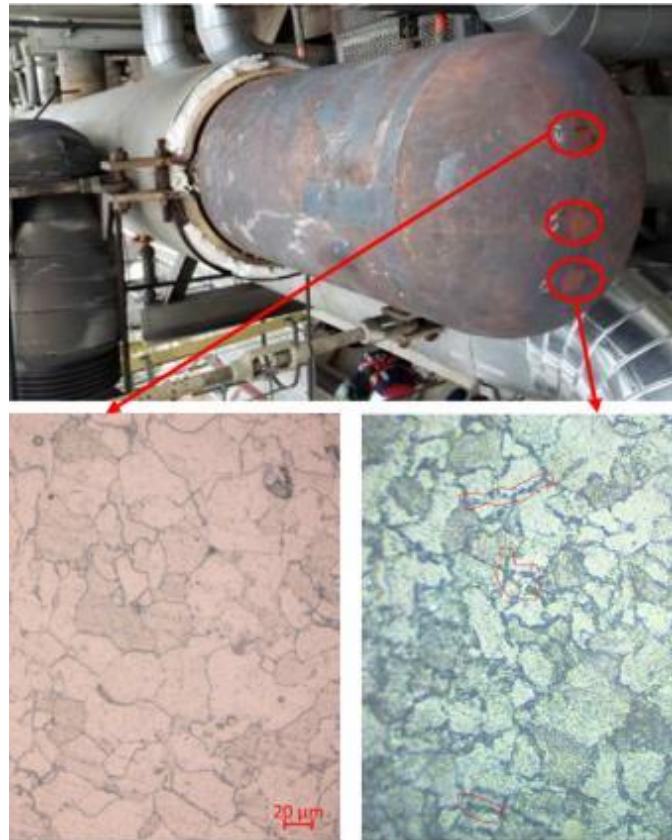
Fuente: (Automation, 2019)⁶

En el detalle "d2" las uniones en "T" son consideradas partes críticas, las geométricas con cambio de espesor se concentra stress, muestra los esfuerzos en la ubicación del ángulo derecho de la unión "T", estas zonas son más sensibles a la fatiga y son propensas a fallar.

⁶ Detalle "d2" de la Ilustración 3

Ilustración 7

Signos de Fluencia (Creep) en Cabezal de Alta Presión



Fuente: (Automation, 2019)⁷

En la Ilustración N° 7, inferior izquierda se evidencia cavidades aisladas con un consumo vida por fluencia (creep) 40-60% foto, en el caso de la foto inferior derecha se evidencia cavidades intergranulares consumo vida por fluencia (creep) 70-80% por lo que se deberá hacer seguimiento de la evolución de la falla en el próximo mantenimiento anual (máximo de horas de operación <10000hrs).

⁷ Detalle "d3" de la **Ilustración 3**

Ilustración 8

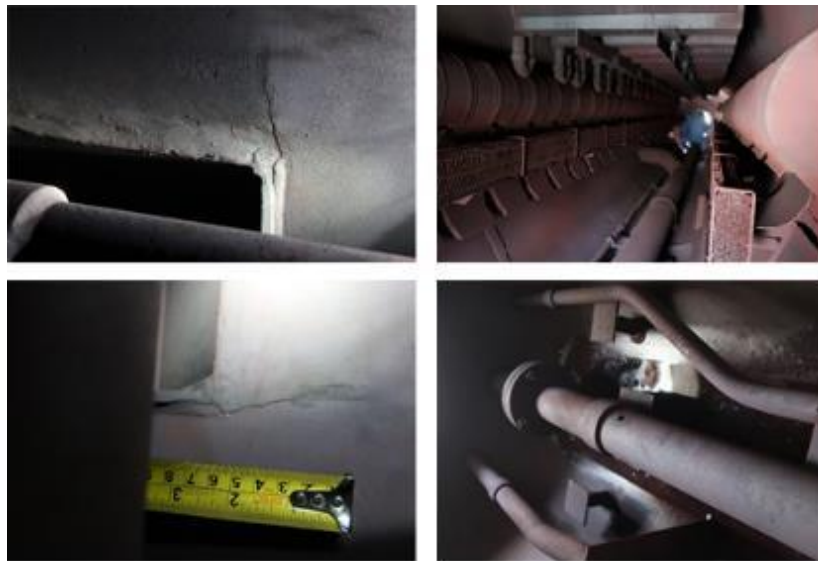
Tubos Sobre Calentadores Alta Presión Unión a Cabezal de Vapor



Fuente: (Automation, 2019)⁸

En estas zonas se pueden apreciar mediante replicas metalográficas indicios de fluencia debido al refuerzo (dispersión fina de carburos de Mo), durante una exposición prolongada a altas temperaturas, los precipitados se volverán más gruesos (una gran cantidad de pequeños precipitados crecerán juntos para formar una pequeña cantidad de grandes precipitados gruesos) para finalmente poder desencadenar en una falla por agrietamiento del material.

⁸ Detalle "d4" de la **Ilustración 3**

Ilustración 9*Grieta en Domo de Alta Presión*

Fuente: (Automation, 2019)⁹

Se evidencia grieta en domo de alta presión producto de las horas de operación, esta falla es evidente a simple vista en otros casos podemos detectar fallas insipientes en formación aplicando los NDT y las réplicas metalográficas.

Al mismo tiempo, se evidencian que los eventos externos del sistema interconectado nacional "SEIN" traen por consecuencia distorsiones en la carga o demanda de energía de la central, el cual vendría a generar variaciones de presión y temperaturas que a la larga generan stress y envejecimiento del material provocando la rotura del material.

Por lo que deberíamos proyectar en qué etapa de degradación se ubica aplicando las técnicas de NDT y replicas metalográficas.

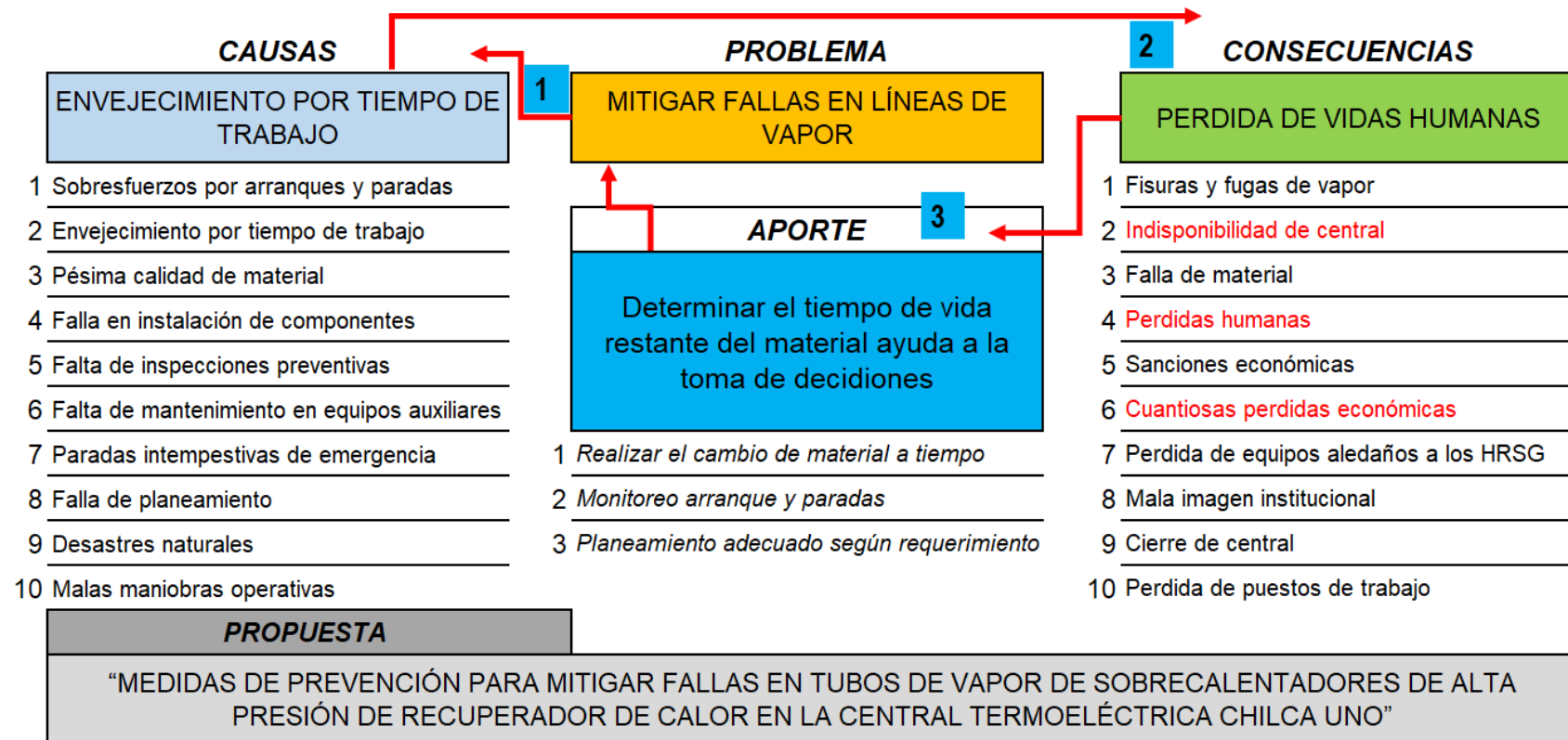
Finalmente, los desastres naturales, terremotos, maremotos, huracanes, etc. El caso de la central nuclear japonesa de Fukushima a causa de un terremoto y posteriormente un tsunami es un claro ejemplo como podría afectar el funcionamiento afectando negativamente la vida útil del material

⁹ Detalle "d5" de la **Ilustración 3**

de los tubos y cabezales de vapor; pudiendo ocasionar serios accidentes que pondrían en riesgo la vida de los trabajadores de planta y los activos de la empresa.

Como se puede observar en la Ilustración N° 9, el sistema tiene una composición donde se interrelacionan los elementos principales en ciclo, para finalmente tener la generación del vapor de agua que vendría ser utilizada para la generación de energía eléctrica:

Tabla 1
Realidad Problemática de la Investigación



Fuente propia: (Urday Luna, 2021)¹⁰

¹⁰ Tabla realizada en base al desarrollo de la fórmula Adónde, Quienes, Problema (AQP) y Causa, Consecuencia y Aporte (CCA) del Docente Mg. Ing. Rogelio Alexander López Rodas, para el Trabajo de Suficiencia Profesional.

2.2. Objetivos del proyecto de investigación

2.2.2. Objetivo Principal

Determinar medidas de prevención para mitigar fallas en los cabezales y de alta presión de la central termoeléctrica Chilca Uno.

2.2.3. Objetivos específicos

- Análisis y diagnóstico de los cabezales y sobre calentadores de alta presión, (ASTM A213-T91, ASTM SA335-P91).
- Establecer la prevención y mitigación de posibles fallas del material ASTM A213-T91, ASTM SA335-P9.
- Sugerir la optimización del plan de un mantenimiento mayor con provisión de repuestos, insumos, logística y mano de obra calificada.

CAPÍTULO III

DESARROLLO DEL PROYECTO

3.1 Descripción y desarrollo del proceso

3.1.1. Antecedentes

Desde finales del siglo XX a nivel mundial se sabe de varios accidentes fatales en centrales termoeléctricas y nucleares, las cuales causaron pérdidas irreparables cobraron la vida de trabajadores dejando cientos de heridos y millonarias pérdidas materiales; los niveles de alta presión de vapor en los cabezales y tubos de sobre calentadores de las centrales termoeléctricas alcanzando valores supercríticos en presiones hasta 330bar y temperaturas de 650° centígrados acumulando grandes cantidades de energía, en el caso de la “TV31”de central termoeléctrica Chilca Uno en el cual se desarrollará el estudio.

El problema que se manifiesta es el nivel de presiones de vapor de 126bar y temperaturas de 550°C lo que significa un alto riesgo para la vida de los trabajadores en el caso de llegar a fallar por fatiga, estrés, corrosión o alguna otra causa como desastres naturales, terremotos, maremotos, huracanes, etc; por ejemplo el caso de la central japonesa de Fukushima, estas fallas del material ya sea prematura o por alguna otra circunstancia se puede identificar de manera predictiva por diferentes ensayos no destructivos NDT (Non Destructing Testing); como replicas metalográficas, medición de dureza, ultrasonido, placas RX, líquidos penetrantes, partículas magnéticas y cálculos matemáticos aplicando el parámetro de Larson Miller “PLM” a los materiales de los tubos y cabezales de vapor de este modo poder prevenir los accidentes salvando vidas humanas y millonarias pérdidas para las empresas del rubro.

Actualmente ya se realizan ensayos no destructivos NDT a excepción de las réplicas metalográficas y evaluación de cálculos matemáticos aplicando el parámetro de Larson Miller “PLM”; para determinar de manera certera y optima la vida remanente de los tubos de sobre

calentadores y cabezales de vapor se debe evaluar en conjunto todos los ensayos no destructivos, para poder predecir certeramente cuando se tendría que planificar el recambio de los tubos de sobre calentadores y cabezales de vapor.

3.1.2. Accidentes por fallas del material

Los accidentes ocurridos por deterioro del material de los tubos de cabezales y sobre calentadores en centrales térmicas y nucleares las cuales trabajan con vapor a presiones y temperaturas altas se han dado en diferentes países a nivel mundial debido a diferentes causas.

3.1.3. Causas internas

Entre las cuales podemos mencionar:

- ✓ Envejecimiento natural o acelerado de los equipos y sistemas de la central (tiempo de servicio excede el tiempo de vida del material).
- ✓ Mala evaluación de la extensión de vida del equipo por mantenimientos o cambio de repuestos.
- ✓ La falta de un adecuado programa de mantenimiento preventivo.
- ✓ Cumplimiento de los programas según plan de mantenimiento.
- ✓ Mantenimientos mal ejecutados, daño de repuestos al momento del montaje.
- ✓ Falla de algún sistema de control de la central (tarjetas electrónicas comunicación).
- ✓ Errores humanos por una mala operación o falla de comunicación.
- ✓ Exceso de confianza.

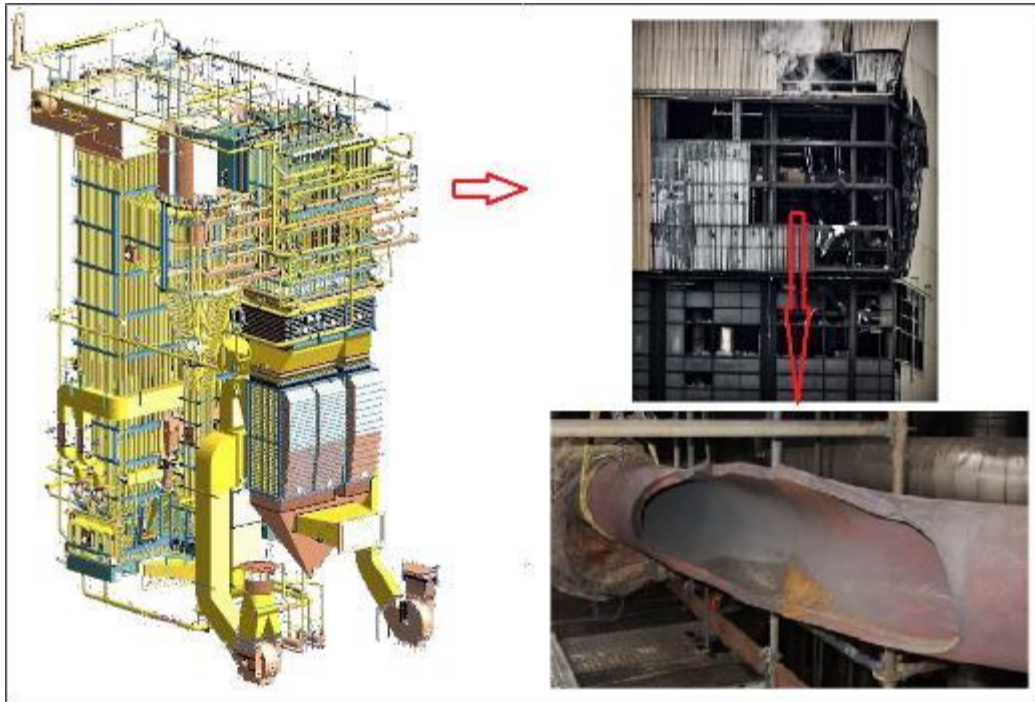
3.1.4. Causas Externas

Provocadas por desastres naturales como: inundaciones, terremotos, maremotos, tsunamis, huracanes, etc.

Tabla 2
Accidentes en Centrales Térmicas en el Mundo

Fecha	Descripción del accidente	Lugar accidente o Incidente	Consecuencias	Fuente
9/08/2004	Fuga de agua caliente y vapor	Central Nuclear de Mihama Japón	4 muertos, 7 heridos	(El mundo, 2004)
31/10/2006	Ruptura de la tubería principal de vapor	Central Eléctrica de Datong China	2 muertos, varios heridos.	
7/11/2007	Ruptura de la tubería de vapor	Central eléctrica de Salem, Massachusetts, Usa	3 muertos.	(EFE, 2007)
29/11/2011	La rotura de una tubería causa una fuga de vapor	Central nuclear de Cofrentes	Sin lesiones	(El mundo, 2011)
11/08/2016	Explosión de vapor alta presión	Complejo industrial de la ciudad de Danyang, China	21 muertos, 5 heridos	(El Comercio, 2016)

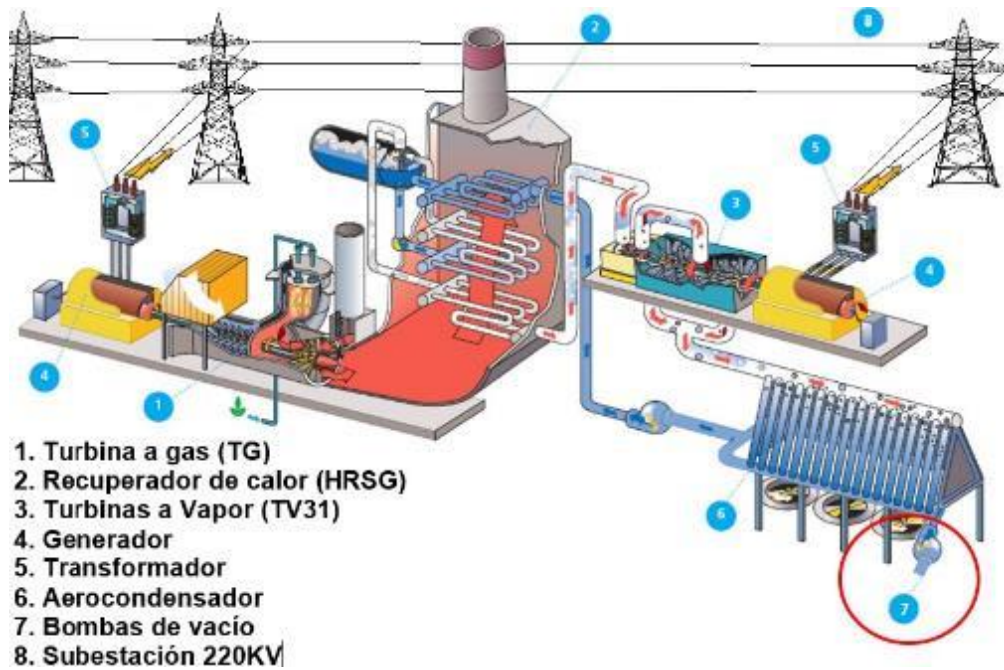
Fuentes: (EFE, 2017) (El Mundo, 2011) (El Comercio, 2016)

Ilustración 10*Ejemplo de Explosión de Línea de Vapor de Alta Presión*

Explosión de vapor de alta presión en complejo industrial de la ciudad de Danyang, China, deja como saldo 21 muertos, 5 heridos y cuantiosas pérdidas y sanciones económicas. Una explosión en una central eléctrica del centro de China producto de múltiples fallas ya que no es la primera vez que ocurre un suceso de esta índole, en octubre del 2006 sucedió un hecho similar dejando dos muertos y varios heridos, informó la agencia estatal Xinhua, que cita a las autoridades locales a realizar inspecciones y auditorías de las condiciones de trabajo y estado de sus instalaciones.

La tragedia reavivó las críticas al gobierno chino por las débiles medidas de seguridad en su sector industrial, donde los accidentes son frecuentes y en ocasiones las autoridades permiten a las empresas infringir normativas a cambio de beneficios, adaptado del diario (El Comercio, 2016).

Ilustración 11
Ciclo Combinado de Vapor



Fuente: (Directindustry, 2021)¹¹

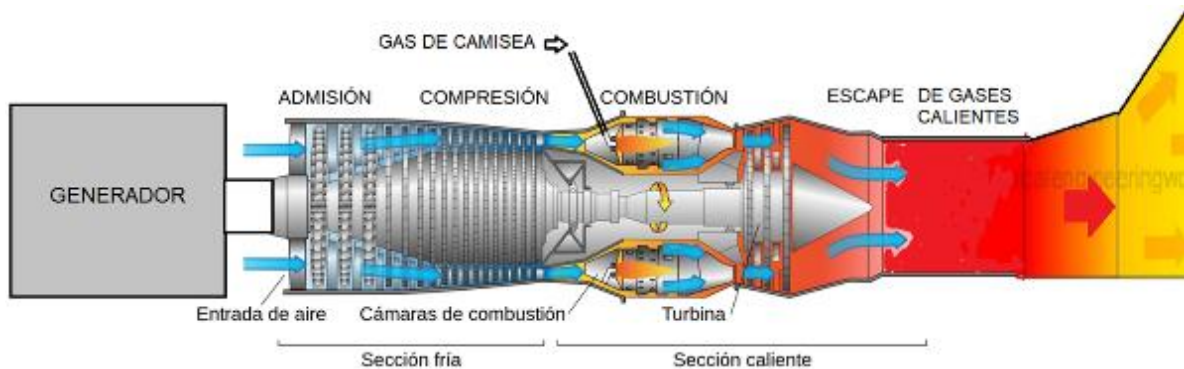
3.2. Base Teórica

3.2.1. Descripción del sistema ciclo combinado

Secuencia del proceso de combustión en una turbina a gas, muestra los componentes internos y flujo de gases calientes en dirección al exhaust rumbo al recuperador de calor HRSG. (Siemens, 2021).

¹¹ De la **Ilustración 11** se hará una breve descripción del proceso de ciclo agua vapor de una central termoeléctrica de ciclo combinado.

Ilustración 12
Componentes Turbina a Gas



Fuente: (Directindustry, 2021)

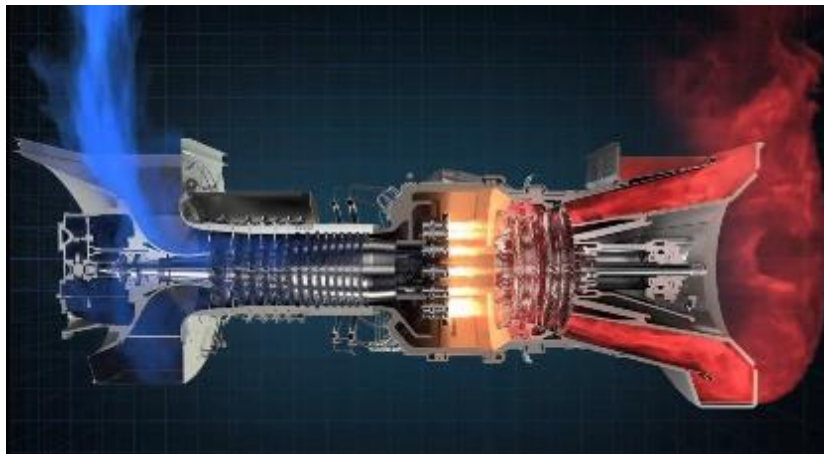
3.2.2. Turbina a gas o turbo gas

Consta de tres turbinas a gas en la marca Siemens con una potencia nominal de 167, 169 y 190MW constan de una turbina a gas, un compresor y un generador todos acoplados a un solo eje las cuales queman el gas de Camisea en las cámaras de combustión donde se produce la mezcla de aire desde el compresor y combustible (gas natural), los gases calientes producto de la combustión son inyectados mediante toberas a la turbina a gas de cuatro etapas, finalmente el flujo de gases calientes saldrá por el escape (exhaus) de la turbina a gas hacia el recuperador de calor (HRSG).

Ilustración 13*Desmontaje de Turbina a Gas Marca Siemens*

Fuente: (Siemens, 2021)

Desmontaje de carcasa superior de compresor cámara de combustión y turbina a gas.

Ilustración 14*Flujo de Gases de Combustión*

Fuente: (Siemens, 2021)

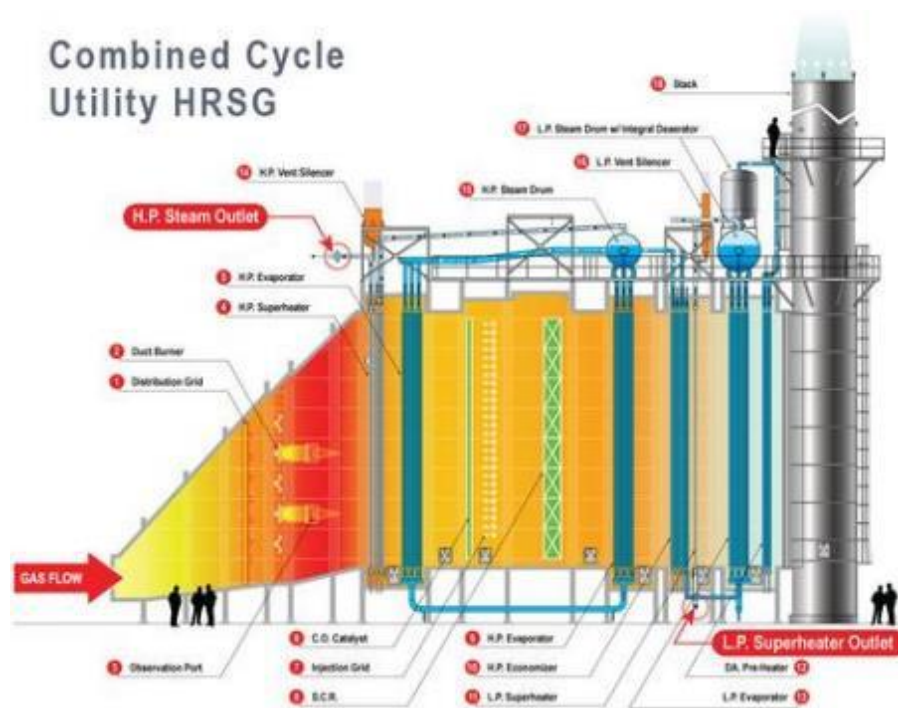
Descripción de flujo del sistema de combustión de la turbina a gas.

3.2.3. Sistema de combustión

Está formado por el sistema de aire filtrado para la combustión, sistema de quemadores de gas natural que cuentan con detectores de flama como protección, la cámara de combustión es donde se realiza la mezcla gas natural con la descarga de aire del compresor los gases calientes (600°C) de la combustión serán inyectados por toberas a la turbina a gas.

Ilustración 15

Partes Interna Recuperador de Calor



Fuente: (Automation, 2019)

Detalle de partes internas de recuperador de calor (HRSG).

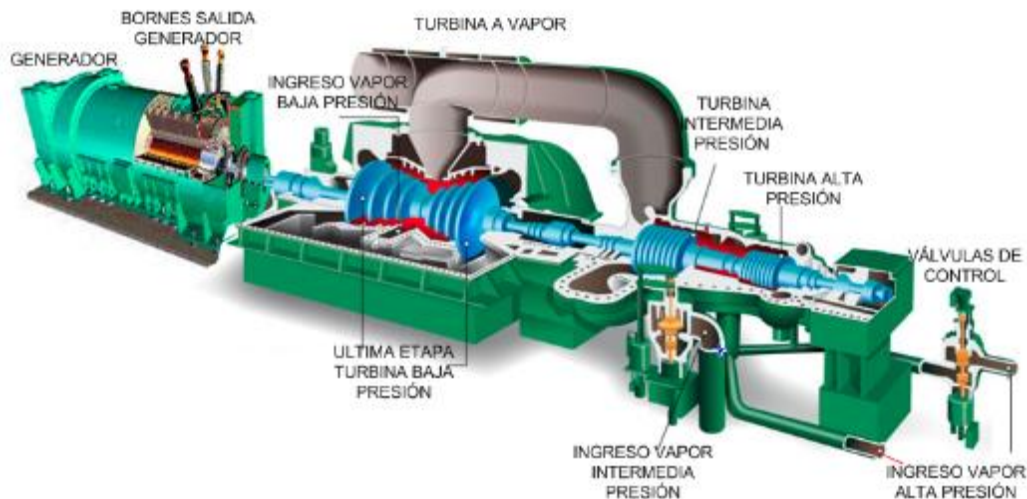
3.2.4. Recuperadores de calor (HRSG)

Es el encargado de recuperar el calor de los gases calientes quemados en la turbina a gas (TG), para poder calentar, evaporar el agua y sobrecalentar hasta 550 °C en alta e intermedia presión, en baja presión hasta 270 °C. Consta de tres niveles de presión: alta presión 125 bar (HP), media presión (IP) 35 bar y baja presión 6 bar (LP); en el interior del

HRSG consta de: economizadores de alta presión (HP) y media presión (IP), 4 sobre calentadores de alta presión (HP), dos recalentadores más un sobrecalentado de intermedia presión (IP) y un precalentador de condensado.

Ilustración 16

Partes Internas Turbina a Vapor

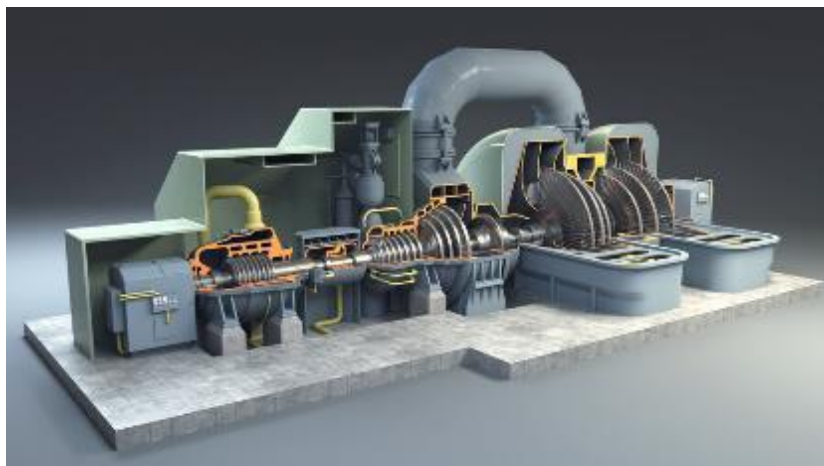


Fuente: (Directindustry, 2021)¹²

3.2.4. Turbina a vapor

La turbina a vapor es de marca General Electric con una potencia nominal de 277MW, turbina a vapor está compuesta de cuatro turbinas en disposición tándem acopladas a un mismo eje, una turbina de vapor de alta presión "HP" 125bar, una turbina de vapor de media presión "IP" 35 bar y dos turbinas de baja presión "LP" 5.5 bar las cuales están acopladas a un generador enfriado por hidrogeno.

¹² Partes internas sometidas a altas presiones 126bar y temperaturas de 550°C, figura adaptada.

Ilustración 17*Corte Detalle Turbina a Vapor*

Fuente: (General Electric, 2017)¹³

3.2.5. Generador eléctrico de la turbina a gas

Los generadores son de tres de marca Siemens con una potencia nominal de 201 MVA y 220 MVA; voltaje nominal de 16 KV y 16.5 KV respectivamente se encargan de convertir el torque de fuerza entregado por la combustión del gas natural en energía eléctrica la cual es transformada a 220 KV y transportada hasta la SSEE Subestación de Chilca para formar la red nacional SEIN.

¹³ Detalle en sección 3D de la turbina a vapor compuesta de cuatro turbinas en disposición tándem acopladas a un mismo, en la parte izquierda se puede apreciar el Front estándar donde se encuentra la instrumentación de protecciones de la turbina.

Ilustración 18

Detalle Instalación de Generador Eléctrico



Fuente: (General Electric, 2017)

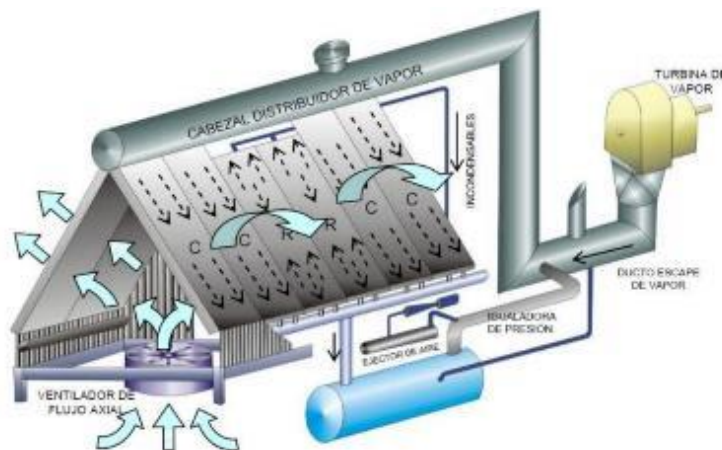
Condiciones de ensamblaje de un generador eléctrico General Electric.

3.2.6. Generador eléctrico de una turbina a vapor

El generador es demarca General Electric con una potencia nominal de 352 MVA; voltaje nominal de 18 KV respectivamente se encargan de convertir el torque de fuerza entregado por el vapor de agua en energía eléctrica la cual es transformada a 220 KV y transportada hasta la SSEE Subestación de Chilca para formar la red nacional SEIN.

Ilustración 19

Diagrama de Flujo del Aerocondensador



Fuente: (Aguilar-Alderete, 2015)

Partes y diagrama de flujo de un aerocondensador.

3.2.7. Aerocondensador

Consta de 10 calles formado por radiadores con 40 ventiladores, y 5 bombas de vacío, es encargado de realizar la condensación del vapor turbina de la última etapa de las turbinas de LP, este condensado será recolectado en el tanque de condensado para luego ser precalentado en los precalentadores de condensado de los HRSG y llevado al tanque de agua de alimentación.

Ilustración 20

Partes Interna Bomba de Agua Alimentación



Fuente: (Sulzer, 2021)

Bomba de agua y alimentación de alta presión multietapa.

3.2.8. Bombas agua alimentación baja, alta e intermedia presión

Son encargadas de suministrar agua a los tres domos de LP, IP y HP de los HRSG. El agua de alimentación que es precalentada desde los tres precalentadores de condensado hasta una temperatura de 155°C para mejorar la eficiencia, adicionalmente continúa ganando temperatura en los economizadores hasta llegar a los domos de HP a una temperatura de 328°C, en el domo de IP 245°C y domo LP 155°C.

3.2.9. Tratamiento de agua

La obtención de agua para el proceso del ciclo vapor es ultrapura y se realiza a partir del agua de mar la cual es recolectada por bombas de vacío, pasa por un pre tratamiento de separación, decantación y filtración de arena, pasando por varias etapas de osmosis inversa para finalmente pasar por un proceso de filtrado y electro-des ionización con valores de conductividad de $0.06\mu\text{S}/\text{cm}^2$ adicionalmente se realiza la inyección de fosfato y amonio para regular un pH de 9.9 antes de convertirse a vapor en los domos de los HRSG.

Ilustración 21

Proceso de Tratamiento del Agua



Fuente: (Sulzer, 2021)

3.3. Tipos de Mantenimiento

3.3.1. Mantenimiento preventivo

El mantenimiento preventivo (PM) llamado así por constar de la ejecución de una serie de tareas habitualmente programadas por tiempo de operación ejemplo 4000h, 8000h, 12000h, mensual, bimensual semestral, etc. Para extender la vida útil de los equipos, detectar alguna falla incipiente o para detectar el desgaste prematuro de los equipos. Este desgaste es la causa de daños y paradas no programadas, las cuales

pueden ser evitadas implementando y aplicando un programa de mantenimiento preventivo según horas de operación de los equipos.

3.3.2. Mantenimiento predictivo

El mantenimiento predictivo PDM está basado en el monitoreo continuo de las condiciones de operación de los equipos de la central mediante diferentes técnicas como las NDT, análisis vibraciones, medición de descargas parciales en generadores, análisis termográfico, etc.

Con el objetivo de detectar oportunamente alguna falla insipiente o señal de desgaste de cualquiera de sus componentes, monitoreando en el tiempo pudiendo determinar el tiempo de vida remanentes de los equipos o de partes de la máquina.

Debido a que permite usar una metodología y una técnica que identifique cualquier situación anormal o generadora de falla. Permitiendo no solo detectar la falla sino encontrando la causa del problema.

3.3.3. Ensayos no destructivos

Los ensayos no destructivos NDT son pruebas o ensayos de carácter no destructivo, que se realizan a las piezas mecánicas ya sean metálicas, plásticas, cerámicas o compuestas.

Sirven para detectar diferentes tipos de fallas o discontinuidades, concerniéndoles diferentes aspectos de caracterización de sólidos como: la microestructura, textura, morfología, composición química y propiedades físicas y químicas.

Por eso es tan importante la aplicación de la técnica en piezas en servicio donde se deben controlar todas las propiedades y factores que puede conllevar a la falla de esta.

Algunas técnicas utilizadas son la radiografía, el ultrasonido, partículas magnéticas, líquidos penetrantes y la inspección visual. Estos métodos

de NDT son sofisticados y relativamente simples de utilizar, para hacer productos confiables, seguros y económicos.

Los ensayos NDT son los encargados de la detección de defectos y discontinuidades en los elementos mecánicos de un equipo, siendo una parte esencial del control y el cuidado de la ingeniería en situaciones prácticas. En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se mencionan algunos modos de falla y la técnica de inspección NDT adecuada para la detección de cada uno de estas.

3.3.4. Mejora continua y análisis de fallas (PHVA)

Ilustración 22

Ciclo PHVA de E. W. Deming



Fuente: (E. W. Deming, 1960)

En el proceso de mejora continua buscaremos identificar los campos sensibles donde debemos prestar atención para lograr la excelencia en todos los campos: las capacidades del personal, el uso eficiente de los recursos, el manejo y buenas relaciones con nuestros stakeholders, apuntando a la mejora continua en todas las actividades de la empresa tanto nuestros clientes internos y externos llegando a la excelencia en operación, mantenimiento, logística, comercial, administración, finanzas, legal.

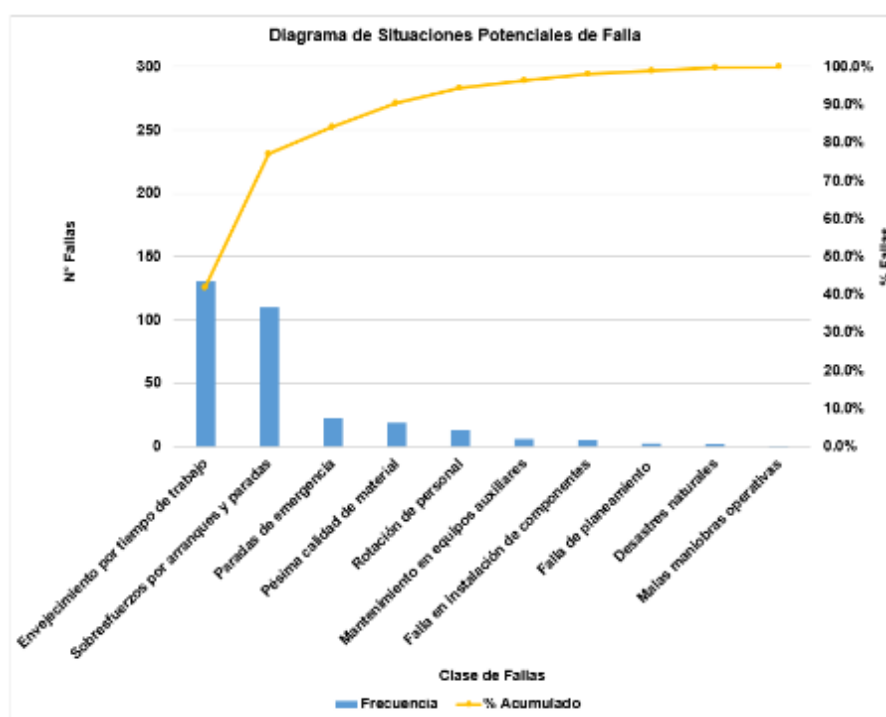
Por los antecedentes de la evaluación para garantizar y mitigar las situaciones potenciales de fallas que afectan a cabezales y sobre calentadores de alta presión (HP) se realizará un estudio que abarca diferentes situaciones que involucran desde los equipos, sistemas, áreas de trabajo, operaciones, mantenimiento, logística, así como situaciones fuera del entorno de la empresa.

3.3.5. Planear

Se detallan diez situaciones potenciales de fallas por porcentajes en las cuales se realizarán los análisis de las mejoras.

Gráfico 11

Diagrama de Situaciones Potenciales de Fallas



Fuente propia: (Urday Luna, 2021)¹⁴

¹⁴ Situaciones Potenciales de Fallas que afectan a cabezales y sobre calentadores de HP.

En planta se realiza el análisis de todos los eventos, fallas e historial detectados tanto de manera automática por el sistema de control.

- ✓ Registro de eventos de los equipos
- ✓ Horas de operación
- ✓ Número de arranques y paradas
- ✓ Número de paradas de emergencia
- ✓ Máximas temperaturas en servicio

Y como de manera manual en los registros de eventos, informes de operaciones y mantenimientos, los cuales detallaremos a continuación plasmados en los diagramas de Pareto, distribución circular y causa efecto:

Gráfico 12

Interpretación Circular de Situaciones Potenciales



Fuente propia: (Urday Luna, 2021)

Se detalla diez Situaciones Potenciales de Falla en un gráfico circular donde se aprecia claramente las dos situaciones en las cuales se realizará el análisis de las mejoras.

Tabla 3
Situaciones Potenciales de Fallas que Afectan a Cabezales

	Frecuencia Absoluta	Frecuencia Absoluta Acumulado	Porcentaje	Porcentaje Acumulado	Zona	Porcentaje Zona
Envejecimiento por tiempo de trabajo	130	130	41.80%	41.80%	A	77.17%
Sobresfuerzos por arranques y paradas	110	240	35.37%	77.17%	A	
Paradas intempestivas de emergencia	22	262	7.07%	84.24%	B	17.36%
Pésima calidad de material	19	281	6.11%	90.35%	B	
Rotación de personal	13	294	4.18%	94.53%	B	
Falta de mantenimiento en equipos auxiliares	6	300	1.93%	96.46%	C	5.47%
Falla en instalación de componentes	5	305	1.61%	98.07%	C	
Falla de planeamiento	3	308	0.96%	99.04%	C	
Desastres naturales	2	310	0.64%	99.68%	C	
Malas maniobras operativas	1	311	0.32%	100.00%	C	
	311					100.0%

Fuente propia: (Urday Luna, 2021) ¹⁵

Zona "A": Se observa dos clases posibles fallas, "sobresfuerzos por arranques y paradas" y "envejecimiento por tiempo de trabajo" que abarcan un 20% del total de clase de fallas, los cuales representan el 77.17% (240) del número de las fallas registradas (311).

En estos dos puntos de la zona "A" nos centraremos para aplicar las medidas de prevención para mitigar fallas en cabezales y tubos de vapor de sobre calentadores de alta presión en la central por representar el 77.17% (240) del total de ocurrencias.

¹⁵ Situaciones Potenciales de Fallas que afectan a cabezales y sobre calentadores de HP.

Tabla 4

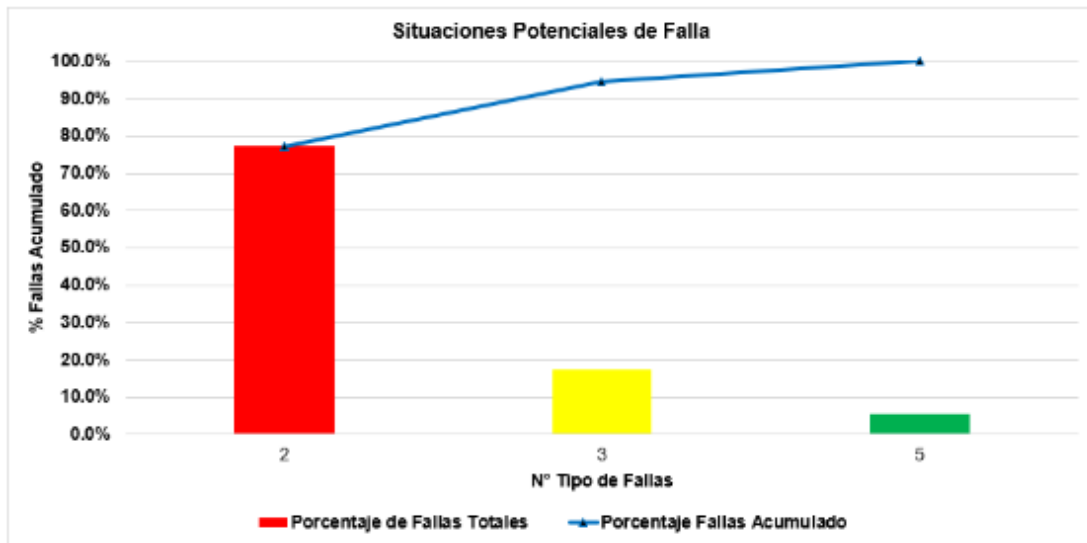
Análisis de Situaciones Potenciales de Falla por Zona ABC

	Zona	N° Clase de Falla	Porcentaje Clase de Fallas	Porcentaje Acumulado	Porcentaje de Fallas Totales	Porcentaje Fallas Acumulado
0-80%	A	2	20%	20%	77.2%	77.17%
80%-95%	B	3	30%	50%	17.4%	94.53%
95%-100%	C	5	50%	100%	5.5%	100.00%
	Total	10	100%		100%	

Fuente propia: (Urday Luna, 2021)

Se detallan las tres zonas A, B y C.

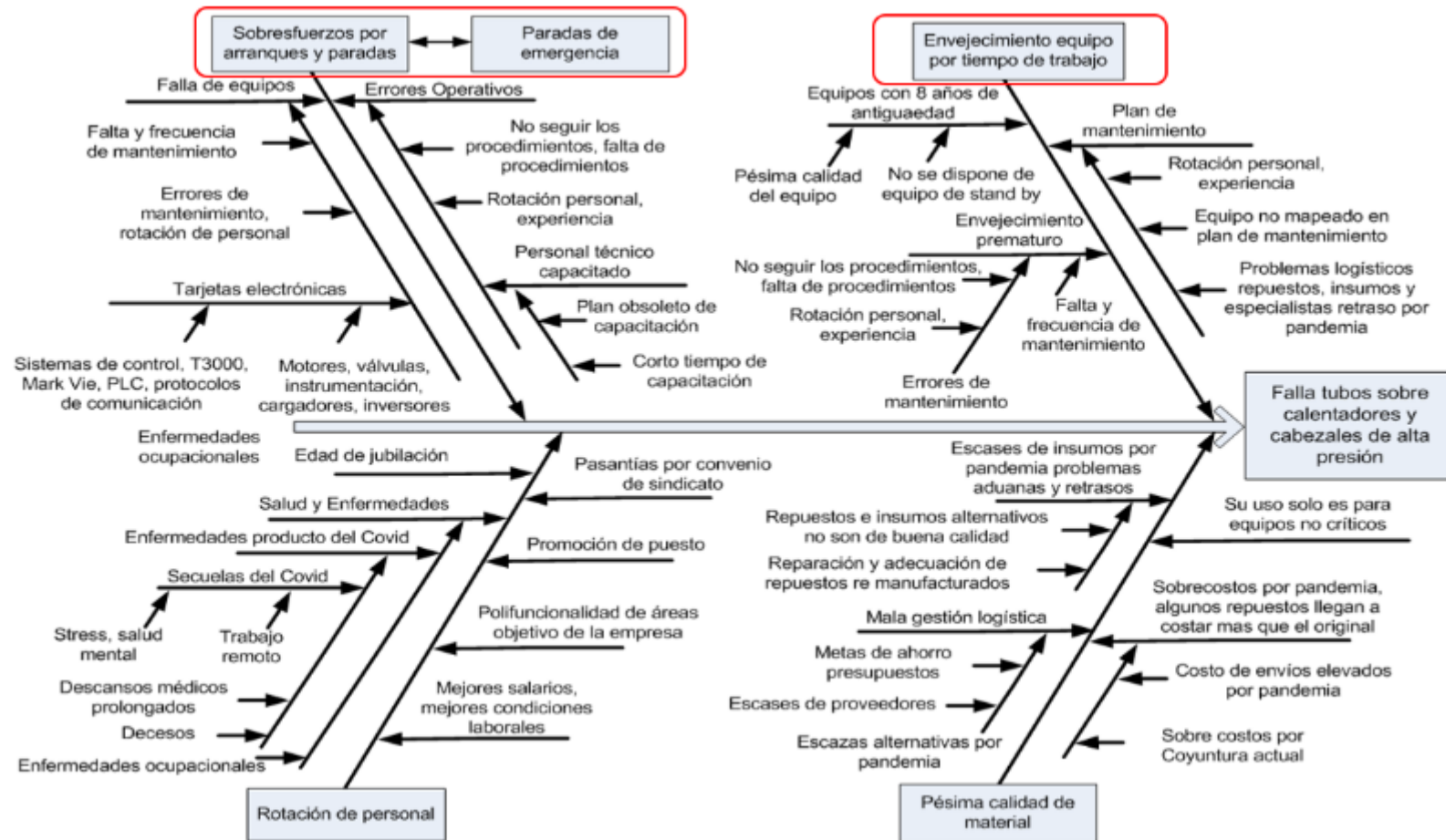
- ✓ **Zona "A"**: Se observa dos clases posibles fallas, "sobresfuerzos por arranques y paradas" y "envejecimiento por tiempo de trabajo" que abarcan un 20% del total de clase de fallas, los cuales representan el 77.17% (240) del número de las fallas registradas (311).
- ✓ **Zona "B"**: Se observa tres clases de falla; "pésima calidad de material", "falta de inspecciones preventivas", "falta de mantenimiento en equipos" que abarcan un 30% del total de clase de fallas, los cuales representan el 17.36% (54) del número de las fallas registradas (311).
- ✓ **Zona "C"**: Se observa cinco clases de falla abarca un 50% del tipo de falla; "Paradas intempestivas de emergencia", "Falla de planeamiento", "Falla en instalación de componentes", "desastres naturales", "Malas maniobras operativas" abarcando la mitad de las clases de falla, los cuales representan el 5.47% (17) del número de las fallas (311).

Gráfico 13*Situaciones Potenciales de Falla por Zona ABC*

Fuente propia: (Urday Luna, 2021)

Ilustración 23

Diagrama Causa Efecto Situaciones Potenciales de Fallas



Fuente propia: (Urday Luna, 2021)

3.3.6. Hacer

Según diagrama de Pareto y causa y efecto se identifica las fallas a las que se aplicara las mejoras para garantizar una correcta operación y mantenimiento, así mitigar fallas en líneas de vapor cabezales y sobre calentadores de HP aplicando la herramienta de calidad PHVA, concluyendo en atacar los más recurrentes y críticos según estudio fueron: “envejecimiento por tiempo de trabajo” y “sobresfuerzos por arranques y paradas”.

Se propone la aplicación de las mejoras por conveniente a partir del 02 de enero del 2022, por tener un costo bajo de energía por la abundante agua de la estación que se produce en los meses de enero a marzo.

A continuación, se detalla los cronogramas y presupuestos tanto en mano de obra, insumos y equipos que se detectaron con las horas de servicio por cumplir a mediados del 2022. Tomando como precaución unos meses anticipados por la coyuntura y fecha de su cumplimiento de vida útil.

3.3.7. Presupuesto proyecto

Tabla 5

Resumen de Presupuestos de Mantenimiento Enero 2022

ÍTEM	Descripción	Detalle de los servicios	
1	Mano de obra por Ensayos NDT	Precio incluye, insumos, mano de obra especialistas	\$ 39,800.00
2	Mano de obra por cambio equipos	Precio incluye, costos de prevencionista, personal especializado	\$ 439,700.00
3	Costo de equipos a ser reemplazados	Precio incluye, equipos e insumos y logística de traslados	\$ 72,954.00

Total **\$552,454.00**

Fuente propia: (Urday Luna, 2021)

Tabla 6
Resumen de Equipos e Insumos Para Reemplazar

	Equipos			Insumos			Subtotal
	cantidad	Costo unitario	Subtotal	cantidad	Costo unitario	Subtotal	
Grupo 01 Personal Electricista/mecanico							
Motoreductores 120KW Marca ABB	5	\$ 8,500.00	\$ 42,500.00	5	\$250.00	\$1,250.00	\$ 43,750.00
Motoreductor B vacio 70KW Marca Siemens	2	\$ 4,500.00	\$ 9,000.00	2	\$320.00	\$ 640.00	\$ 9,640.00
Bombas centrifuga Agua Enfriamiento Ebara	2	\$ 3,500.00	\$ 7,000.00	2	\$160.00	\$ 320.00	\$ 7,320.00
Bombas centrifuga Ebara	3	\$ 2,600.00	\$ 7,800.00	3	\$250.00	\$ 750.00	\$ 8,550.00
Ventiladores Marca Sew	4	\$ 28,000.00	\$112,000.00	4	\$850.00	\$3,400.00	\$115,400.00
Cambio de fajas ventiladores	8	\$ 600.00	\$ 4,800.00	8	\$ 50.00	\$ 400.00	\$ 5,200.00
Grupo 03 Personal Instrumentacion y control							
Valvulas de Globo Marca BHI	30	\$ 650.00	\$ 19,500.00	30	\$ 40.00	\$1,200.00	\$ 20,700.00
Válvulas neumaticas de control	10	\$ 2,500.00	\$ 25,000.00	10	\$320.00	\$3,200.00	\$ 28,200.00
Tarjetas electronicas sistema de control Upgrade	18	\$ 6,500.00	\$117,000.00	18	\$ 50.00	\$ 900.00	\$117,900.00
CPU sistema control	8	\$ 4,500.00	\$ 36,000.00	8	\$ 40.00	\$ 320.00	\$ 36,320.00
Servidores	2	\$ 2,500.00	\$ 5,000.00	2	\$ 25.00	\$ 50.00	\$ 5,050.00
Grupo 03 Personal Electricista							
Válvulas motorizadas Marca Vickers	22	\$ 1,200.00	\$ 26,400.00	22	\$ 25.00	\$ 550.00	\$ 26,950.00
Grupo 03 Personal Aire acondicionado							
Sistemas de HVAC	16	\$ 800.00	\$ 12,800.00	16	\$120.00	\$1,920.00	\$ 14,720.00
Total							\$439,700.00

Fuente propia: (Urday Luna, 2021)

Tabla 7
Resumen Costo de Mano de Obra

	Total horas ejecucion	Ayudantes			Personal especializado 01			Personal especializado 02			Costo Total mano de Obra
		cant	Costo hora hombre	Subtotal	cant	Costo hora hombre	Subtotal	cant	Costo hora hombre	Subtotal	
Grupo 01 Personal Electricista/mecanico											
Motoreductores 120KW Marca ABB	60	6	\$ 4.00	\$1,440.00	2	\$ 10.00	\$1,200.00	2	\$ 10.00	\$1,200.00	\$ 3,840.00
Motoreductor B vacio 70KW Marca Siemens	24	5	\$ 4.00	\$ 480.00	2	\$ 12.00	\$ 576.00	1	\$ 12.00	\$ 288.00	\$ 1,344.00
Bombas centrifuga Agua Enfriamiento Ebara	24	2	\$ 4.00	\$ 192.00	1	\$ 10.00	\$ 240.00	1	\$ 10.00	\$ 240.00	\$ 672.00
Bombas centrifuga Ebara	36	3	\$ 4.00	\$ 432.00	1	\$ 10.00	\$ 360.00	1	\$ 12.00	\$ 432.00	\$ 1,224.00
Ventiladores Marca Sew	72	8	\$ 4.00	\$2,304.00	2	\$ 12.00	\$1,728.00	2	\$ 14.00	\$2,016.00	\$ 6,048.00
Cambio de fajas ventiladores	48	2	\$ 4.00	\$ 384.00	2	\$ 8.00	\$ 768.00	1	\$ 10.00	\$ 480.00	\$ 1,632.00
Grupo 03 Personal Instrumentacion y control											
Valvulas de Globo Marca BHI	120	8	\$ 4.00	\$3,840.00	2	\$ 12.00	\$2,880.00	1	\$ 10.00	\$1,200.00	\$ 7,920.00
Válvulas neumaticas de control	60	6	\$ 4.00	\$1,440.00	1	\$ 50.00	\$3,000.00	1	\$ 35.00	\$2,100.00	\$ 6,540.00
Tarjetas electronicas sistema de control Upgrade	54	3	\$ 5.00	\$ 810.00	2	\$ 40.00	\$4,320.00	1	\$ 30.00	\$1,620.00	\$ 6,750.00
CPU sistema control	24	2	\$ 5.00	\$ 240.00	2	\$ 45.00	\$2,160.00	1	\$ 40.00	\$ 960.00	\$ 3,360.00
Servidores	24	1	\$ 4.00	\$ 96.00	2	\$ 55.00	\$2,640.00	1	\$ 45.00	\$1,080.00	\$ 3,816.00
Grupo 03 Personal Electricista											
Válvulas motorizadas Marca Vickers	264	6	\$ 5.00	\$7,920.00	2	\$ 12.00	\$6,336.00	2	\$ 12.00	\$6,336.00	\$ 20,592.00
Grupo 03 Personal Aire acondicionado											
Sistemas de HVAC	192	5	\$ 5.00	\$4,800.00	1	\$ 10.00	\$1,920.00	1	\$ 13.00	\$2,496.00	\$ 9,216.00
Total											\$ 72,954.00

Fuente propia: (Urday Luna, 2021)

3.3.8. Cronograma del proyecto

Tabla 8
Cronograma del Proyecto 1 de 1

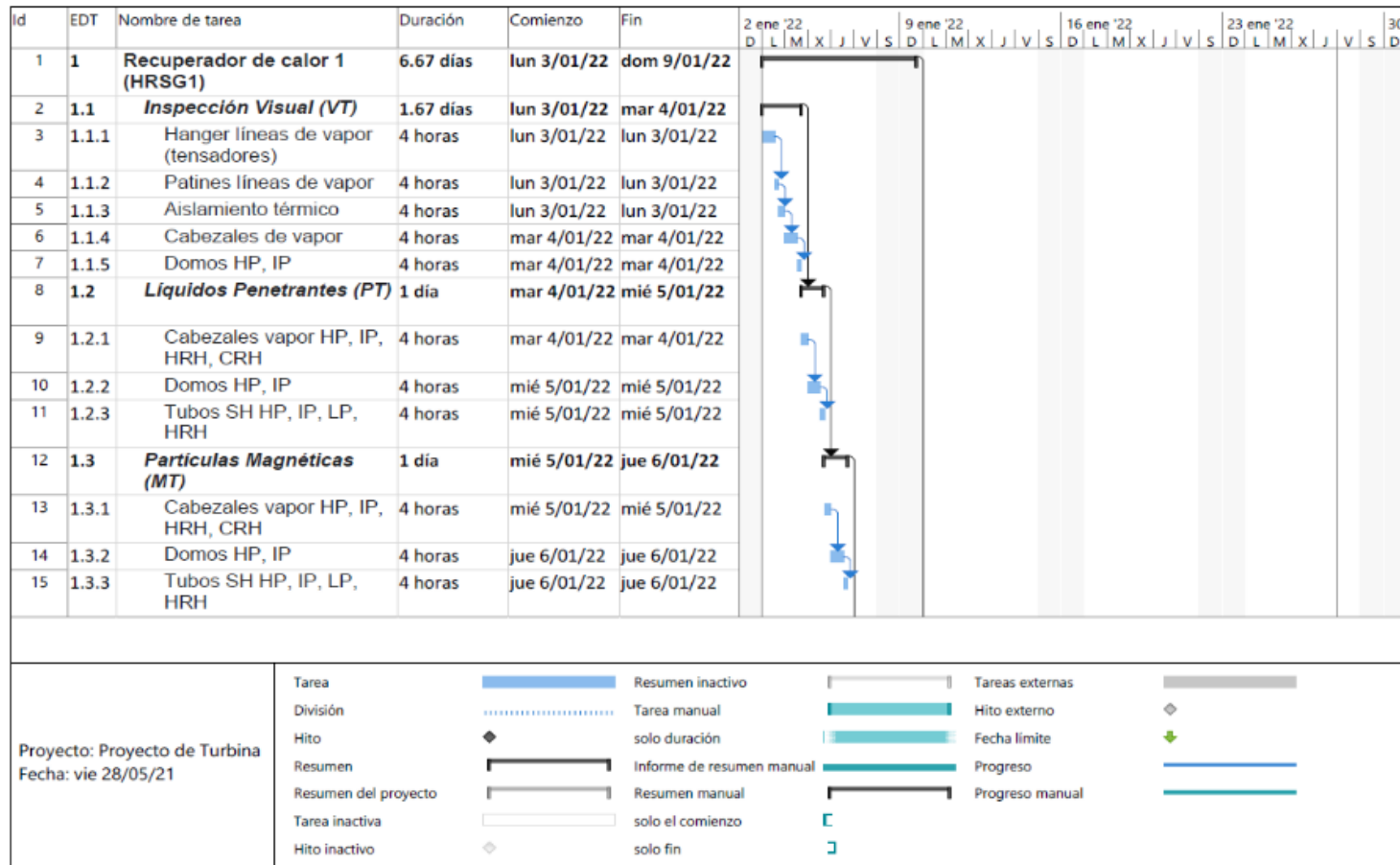


Tabla 15
Cronograma del Proyecto 1 de 8



3.4. Bases normativas

3.4.1. Vida útil del material

El tipo de material usado en los sobre calentadores “SH4” y de los cabezales de vapor de alta presión “HP” del recuperador de calor (HRSG) es el ASTM A213-T91, ASTM SA335-P91 respectivamente, el cual es utilizado ampliamente como tubos y cabezales de alta presión y temperatura en calderas supercríticas para plantas termoeléctricas avanzadas.

El material utilizado fue fabricado en hornos de inducción de alta frecuencia y al vacío, laminado en caliente y posteriormente aplicado diferentes tratamientos térmicos de normalizado y revenido. En los ensayos de fluencia se aplicaron diferentes y constantes $\sigma < Re$ y temperaturas de 550, 600 y 650° C., se analizar el tiempo de vida tomando los valores de los parámetros de Larson-Miller, Manson-Haferd y Orr-Sherby-Dorn, la adición de algunos elementos químicos (C, N, V, Nb, Ti, B) los cuales mejoran las propiedades mecánicas y químicas del material de los tubos los cuales se describen en tabla1, 2 y 3 para los materiales ASTM A213-T91 y ASTM SA335-P91.

Tabla 16
Propiedades Mecánicas ASTM A213-T91

Propiedades	Temperatura	Valor
Coefficiente de Poisson	23.0 °C	0.3
Dureza Brinell	23.0 °C	190 - 250
Dureza Rockwell B	23.0 °C	90
Dureza Rockwell C	23.0 °C	25
Dureza Vickers	23.0 °C	196 - 265
Elongación A50	23.0 °C	20%
Límite elástico	23.0 °C	415 MPa
Módulo de cizallamiento	23.0 °C	77 GPa
Módulo elástico	23.0 °C	220 GPa
Resistencia a la tracción	23.0 °C	585 MPa
Densidad	23.0 °C	7.6 - 7.7 g/cm ³

Fuente propia: (Urday Luna, 2021)

Tabla 17
Propiedades Químicas ASTM A213-T91

Propiedades	Porcentajes
Aluminio	0.02%
Azufre	0.01%
Carbono	0.07 - 0.14 %
Cromo	8 - 9.5 %
Fósforo	0.02%
Manganeso	0.3 - 0.6 %
Molibdeno	0.85 - 1.05 %
Niobio	0.06 - 0.1 %
Nitrógeno	0.03 - 0.07 %
Níquel	0.40%
Silicio	0.2 - 0.5 %
Vanadio	0.18 - 0.25 %

Fuente propia: (Urday Luna, 2021)

Tabla 18
Propiedades Físicas

Temperatura		Módulo de elasticidad		Conductividad térmica	Expansibilidad lineal		Calor específico	Densidad
°C	°F	GPa	10 ³ ksi	W/mK	10 ⁻⁶ /°C	10 ⁻⁶ /°F	J/kg*K	kg/m ³
20	68	218	31.6	26	0	0	440	7770
50	122	216	31.3	26	10.6	5.9	460	
100	212	213	30.9	27	10.9	6.1	480	
150	302	210	30.5	27	11.1	6.2	490	
200	392	207	30	28	11.3	6.3	510	
250	482	203	29.5	28	11.5	6.4	530	
300	572	199	28.9	28	11.7	6.5	550	
350	662	195	28.3	29	11.8	6.6	570	
400	752	190	27	29	12.1	6.7	630	
450	842	186	27	29	12.1	6.7	630	
500	932	181	26.3	30	12.3	6.8	660	
550	1022	175	25.4	30	12.4	6.9	710	
600	1112	168	24.4	30	12.6	7	770	
650	1202	162	23.5	30	12.7	7.1	860	

Fuente propia: (Urday Luna, 2021)

El tiempo de vida de los tubos de sobre calentadores “SH4” y de los cabezales de vapor de alta presión del recuperador de calor (HRSG) es de 20 años. Desde sus inicios en el CDO (inicio de operación comercial) de la central termoeléctricas Chilca Uno, tiene 68750hrs de servicio acumuladas, por lo cual teóricamente nos quedaría una vida útil de 12.15 años de vida restante.

Sin embargo, las condiciones climáticas, parámetros de temperatura, presión, condiciones de la calidad de vapor (tratamiento químico del agua) y condiciones de operación durante arranques, paradas y salidas de emergencia por fallas internas o externas, variaciones de carga en el sistema eléctrico interconectado nacional “SEIN” por requerimiento del “COES SINAC”, someten a estrés y fatiga al material de los tubos y

cabezales afectando negativamente la vida útil de los tubos y cabezales de sobre calentadores.

Por lo que es necesario determinar el estado actual de los tubos de vapor de sobre calentadores de "SH4" y cabezales de vapor de alta presión "HP" de los recuperadores de calor "HRSG", aplicando técnicas predictiva por diferentes ensayos no destructivos NDT (Non Destructing Testing); como replicas metalográficas, medición de dureza, ultrasonido, placas RX, líquidos penetrantes, partículas magnéticas y cálculos matemáticos aplicando el parámetro de Larson Miller "PLM" a los materiales de los tubos y cabezales de vapor.

3.4.2. Condiciones de trabajo de los tubos de SH y cabezales.

Los parámetros de trabajo del metal ASTM SA213 T91 de los tubos de sobrecalentado de alta presión "HP" del recuperador de calor ("HRSG" caldera) son:

- ✓ Máxima temperatura de vapor de sobre calentadores SH4: 555°C.
- ✓ Presión de vapor sobre calentadores SH4: 125 Bar.
- ✓ Estos valores aplican de igual manera para los tubos de los recalentadores.
- ✓ Máxima temperatura de metal de sobre calentadores SH4: 575°C.

Se debe considerar condiciones especiales donde estos valores de temperatura y presión pueden variar durante el proceso de arranque, parada y salidas de emergencia por fallas internas o externas al proceso, variaciones de carga a requerimiento del COES SINAC Las cuales pueden ocasionar serios efectos a la vida útil del material de los tubos.

Para determinar la vida útil del material de los tubos de sobre calentadores se aplicarán dos ensayos:

- ✓ Replicas metalográficas

- ✓ Cálculos matemáticos aplicando el parámetro de Larson Miller "PLM".

Para tener un mejor diagnóstico deben ser acompañadas por otras técnicas predictivas de ensayos no destructivos NDT (Non Destructing Testing); medición de dureza, ultrasonido, placas RX, líquidos penetrantes, partículas magnéticas a los materiales de los tubos y cabezales de vapor. para poder determinar el tiempo de vida del material de los tubos.

Para el caso de los calderos acuatubulares de carbón mineral se realiza metalografía de secciones la cual consiste en cortar una sección de muestra de tubo el cual será analizado por un especialista, para los recuperadores de calor "HRSG" se realizan las réplicas metalográficas del material reemplazando la metalografía de sección con lo que favorece y evita se realicen cortes de sección de tubos del recuperador de calor "HRSG".

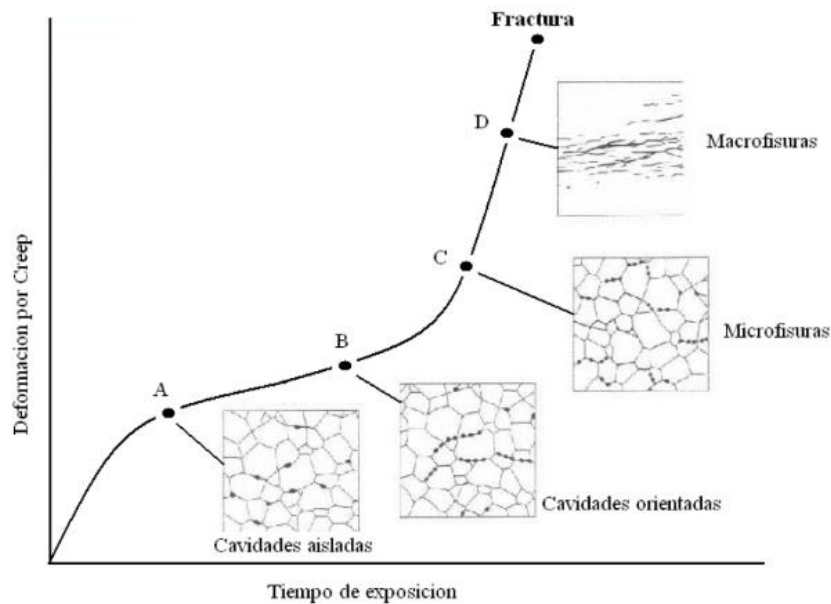
3.4.3. Determinación de tiempo de vida por Larson Miller LPM

Para la evaluación de vida remanente se realizará el cálculo, en base a lo siguiente:

- ✓ Criterios para incrementar el nivel de monitoreo
- ✓ Consumo teórico de vida por fluencia $\geq 60\%$
- ✓ Consumo teórico de vida por fatiga $\geq 50\%$
- ✓ Horas de Operación $\geq 100\text{kOH}$ (CTA/H: $\sim 70\text{k}$)

Gráfico 14

Tendencia de Evolución de Falla de Material por Creep



Fuente: (ASTM E112, 2013)

Curva de evolución deterioro de material por análisis de tamaño del grano.

3.4.4. Norma API 510:

Este código de inspección abarca los procedimientos para la inspección de mantenimiento, reparación, modificación, de recipientes a presión usados en la industria petrolera y química, este código se usa para recipientes construidos de acuerdo con los códigos API y ASME Sec. VIII división 01.

3.4.5. ASTM E112, edición 2013

Estos métodos de prueba cubren procedimientos para estimar y reglas para expresar el tamaño de grano promedio de todos los metales que consisten total o principalmente en una sola fase. El tamaño de grano de las muestras con dos fases, o una fase y un constituyente, se puede medir usando una combinación de dos métodos, una medición de la fracción de volumen de la fase y un recuento planimétrico o intercepto. Los métodos

de prueba también se pueden utilizar para cualquier estructura que tenga una apariencia similar a la de las estructuras metálicas que se muestran en las tablas de comparación. Los tres procedimientos básicos para la estimación del tamaño de grano son:

- ✓ **Procedimiento de comparación:** El procedimiento de comparación no requiere el recuento de granos, intersecciones o intersecciones, pero, como sugiere el nombre, implica la comparación de la estructura de granos con una serie de imágenes graduadas, ya sea en forma de gráfico mural, superposiciones de plástico transparente o una retícula de ocular. Parece haber un sesgo general en que las clasificaciones de tamaño de grano de comparación afirman que el tamaño de grano es algo más grueso de lo que realmente es. La repetibilidad y la reproducibilidad de las calificaciones de la tabla de comparación son generalmente ± 1 número de tamaño de grano.
- ✓ **Procedimiento planimétrico:** El método planimétrico implica un recuento real del número de granos dentro de un área conocida. El número de granos por unidad de área, N_A , se usa para determinar el número de tamaño de grano ASTM, G . La precisión del método es una función del número de granos contados. Se puede lograr una precisión de $\pm 0,25$ unidades de tamaño de grano con un esfuerzo razonable. Los resultados están libres de sesgos y la repetibilidad y la reproducibilidad son inferiores a $\pm 0,5$ unidades de tamaño de grano. Un recuento preciso requiere marcar los granos a medida que se cuentan.
- ✓ **Procedimiento de intersección:** El método de intersección implica un recuento real de la cantidad de granos interceptados por una línea de prueba o la cantidad de intersecciones del límite de grano con una línea de prueba, por unidad de longitud de la línea de prueba, que se utiliza para calcular la longitud de intersección lineal media, ℓ . ℓ se utiliza para determinar el número de tamaño de grano ASTM, G . La precisión del método es una función del

número de intersecciones o intersecciones contadas. Se puede lograr una precisión mejor que $\pm 0,25$ unidades de tamaño de grano con un esfuerzo razonable. Los resultados están libres de sesgos; la repetibilidad y la reproducibilidad son inferiores a $\pm 0,5$ unidades de tamaño de grano. Debido a que se puede realizar un recuento preciso sin necesidad de marcar intersecciones o intersecciones, el método de intersección es más rápido que el método planimétrico para el mismo nivel de precisión.

3.4.6. ISO 9712: 2012:

Es una certificación emitida por el instituto alemán de normalización. certifica al personal que trabaja en pruebas no destructivas. Esta norma evalúa y documenta la competencia del personal cuyas tareas requieren el conocimiento de pruebas no destructivas.

3.4.7. ANSI / ASNT CP-106/ISO 9712:

Es una norma que sirve para la cualificación y certificación del personal respecto a los ensayos no destructivos. Los ensayos no destructivos son aquellos ensayos que no alteran la forma ni las propiedades de un objeto. No producen ningún tipo de daño en él o e daño es prácticamente imperceptible. Este tipo de ensayos sirven para estudiar propiedades físicas, químicas o mecánicas de algunos materiales., en la mayoría de las industrias, entre los cuales tenemos:

- ✓ Inspección Visual (VT)
- ✓ Líquidos Penetrantes (PT)
- ✓ Partículas Magnéticas (MT)
- ✓ Electromagnetismo (ET)
- ✓ Radiografía Industrial (RT)
- ✓ Ultrasonido Industrial (UT).
- ✓ Medición de dureza
- ✓ Replicas metalográficas.

3.5. Conclusiones

- ✓ Se realiza un estudio de eventos y situaciones, donde se registró de manera automática en el sistema de control (horas de operación, arranques, paradas de emergencia, etc), así mismo se realiza la recolección de datos históricos y registros de situaciones de eventos y fallos. Dentro de la base de datos podemos identificar diez posibles y potenciales condiciones las cuales pueden desencadenar en una falla latente que pone en riesgo la vida de los trabajadores y los activos, sanciones de parte de los entes supervisores poniendo en riesgo el cierre temporal o definitivo de la central.
- ✓ Para aplicar las medidas de prevención para mitigar fallas en los cabezales y sobre calentadores de alta presión de la central termoeléctrica Chilca Uno aplicando la herramienta de calidad PHVA, concluyendo en atacar los más recurrentes y críticos según estudio fueron: “envejecimiento por tiempo de trabajo” y “sobresfuerzos por arranques y paradas”.
- ✓ Se realiza el cronograma de trabajos para cambio de equipos que ya cumplieron con su ciclo de vida e inspecciones NDT para los equipos que tiene un 60% de horas de trabajo considerando un 100000hrs de servicio al 100%; con esta acción nos aseguramos y evitamos se puedan presentar las fallas del material ASTM A213-T91, ASTM SA335-P91 para evitar pérdidas de vidas humanas, que conlleva desde sanciones económicas hasta cierre temporal o definitivo del negocio por los entes gubernamentales encargados, ya sea el caso de SUNAFIL, Ministerio de trabajo o Ministerio de energía y minas, a su vez millonarias pérdidas materiales ya que una falla de esta naturaleza a estas presiones y temperaturas destruye grandes áreas y estructuras aledañas pudiendo significar una parada de planta de varios meses.

3.5 Recomendaciones.

- ✓ Determinar el tiempo de vida restante del material ASTM A213-T91, ASTM SA335-P91 de los tubos de sobre calentadores y cabezales de vapor alta presión "HP" respectivamente, se aplica las inspecciones de replicas metalográficas juntamente con los ensayos NDT.
- ✓ Si bien todas las maniobras operativas y de mantenimiento cuentan con procedimientos se debe realizar la revisión mensual de los procedimientos más críticos para poder hacer un simulacro en conjunto con los grupos de operaciones y mantenimiento así fortalecer y refrescar los procedimientos y maniobras por personal antiguo y con poca experiencia llegando a la excelencia y mejora continua de operaciones y mantenimiento nos ayudara a mitigar fallas en los cabezales y sobre calentadores de alta presión de la central termoeléctrica Chilca Uno.
- ✓ Se propone la aplicación de las mejoras por conveniente a partir del 02 de enero del 2022, por tener un costo bajo de energía por la abundante agua de la estación que se produce en los meses de enero a marzo.

CAPÍTULO IV

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BIBLIOGRAFÍA

Aguilar-Alderete. (10 de 2015). *Revista Mexicana*. Obtenido de <http://www.scielo.org.mx/pdf/rmiq/v14n3/v14n3a19.pdf>

Automation, H. (2019). *Hindustan automation*. Obtenido de Hindustan automation: <http://hindustanautomationchennai.blogspot.com/2015/02/blog-post.html>

COES. (2021). Obtenido de COES: <https://www.coes.org.pe/Portal/Planificacion/MargenReserva/>

Coes. (2021). *Coes Evaluacion anual*. Obtenido de Coes Evaluacion anual: <https://www.coes.org.pe/Portal/PostOperacion/Informes/EvaluacionAnual>

COES. (2021). *COES informes*. Obtenido de COES: <https://www.coes.org.pe/Portal/PostOperacion/Informes>

Directindustry. (2021). *Directindustry*. Obtenido de Directindustry: <https://www.directindustry.es/prod/ge-steam-turbines/product-116289-1893857.html>

E. W. Deming. (1960). *Mejora continua*. Estados Unidos.

EFE. (07 de 11 de 2017). *EFE*. Obtenido de EFE: <https://www.efes.com/efe/espana/sociedad/investigacion-apunta-a-la-ruptura-en-una-tuberia-como-causa-de-explosion-letal-china/10004-3010943>

El Comercio. (11 de 08 de 2016). *El Comercio*. Obtenido de <https://elcomercio.pe/mundo/asia/china-21-muertos-explosion-central-electrica-246379-noticia/?ref=ecr>

El Mundo. (29 de 11 de 2011). *El Mundo*. Obtenido de <https://www.elmundo.es/elmundo/2011/11/30/natura/1322674360.html>

Engie. (2020). *Engie Energia Perú S.A.* Obtenido de <https://engie-energia.pe/>

Engie. (2020). Reporte de Clasificación. 2.

Engie. (2021). *Engie Energía Perú*. Obtenido de https://engie-energia.pe/wp-content/uploads/2021/04/HI-005-2021_PPA-AAQSA.pdf

Free3d. (2021). *Free3d*. Obtenido de Free3d: <https://free3d.com/es/modelo-3d/steam-turbine-generator-4035.html>

General Electric. (10 de 2017). *General Electric*. Obtenido de General Electric: <https://www.youtube.com/watch?v=6RaY4ciEMO0>

Mundo, E. (10 de 08 de 2004). *El Mundo*. Obtenido de El Mundo: <https://www.elmundo.es/elmundo/2004/08/09/sociedad/1092040388.html>

Siemens. (2021). *Siemens*. Obtenido de Siemens: <https://www.siemens-energy.com/global/en/offerings/power-generation/gas-turbines/sgt6-5000f.html>

Sulzer. (2021). *Sulzer*. Obtenido de <https://www.sulzer.com/es-es/spain/shared/products/md-high-pressure-stage-casing-pump>

TLV. (2021). *TLV*. Obtenido de <https://www.tlv.com/global/LA/steam-theory/corrosion.html>

Urday Luna, R. (2021). Trabajo de Suficiencia Profesional de la EPII - Para obtener el título de Ingeniero Industrial. Lima, Perú.

CAPÍTULO V

GLOSARIO DE TÉRMINOS

Energía: La energía es la capacidad de los cuerpos o conjunto de éstos para efectuar un trabajo. La energía eléctrica se mide en kilowatt-hora (kWh MWh, GWh).

Energía eólica: La energía cinética que se aprovecha por el movimiento del aire al accionar unas aspas fijas o móviles la cual se transforma en mecánica y acoplada a un turbogenerador se transforma en energía eléctrica; su aprovechamiento va en función de la velocidad del viento y de la tecnología del aerogenerador.

Ensayos NDT: son los ensayos no destructivos que se practica a los materiales sin realizar alteraciones físicas o químicas al material base.

Energía hidráulica: Es la energía potencia del agua de los ríos y lagos que se aprovecha en una caída de agua, por diferencia de altura en una presa o por el paso de ésta, la cual se transforma en energía mecánica por el paso del agua por una rueda hidráulica o turbina acoplada a un turbogenerador que la transforma en energía eléctrica.

Energía solar: Energía producida por el efecto del calor o radiación del sol. Esta radiación se utiliza para excitar celdas fotovoltaicas que producen electricidad.

Energía térmica: Es la energía que se obtiene del poder calórico de la combustión de diferentes combustibles la cual convierte agua en vapor que se conduce a una turbina acoplada a un generador que produce energía eléctrica. Estas unidades emplean como combustible el gas, carbón combustóleo, diésel.

Recuperador de calor: Equipo encargado de generar vapor sobre calentado para el uso de la turbina a vapor.

Turbina a gas: Equipo encargado de generar energía eléctrica a partir de la fuerza mecánica de la combustión del gas natural.

Turbina a vapor: Equipo encargado de generar energía eléctrica a partir de la fuerza mecánica del vapor.

CAPÍTULO VI

ANEXOS

Anexo 1

Contrato de Suministro Eléctrico



Señores
SUPERINTENDENCIA DEL MERCADO DE VALORES
BOLSA DE VALORES DE LIMA
Lima.-

ASUNTO: HECHO DE IMPORTANCIA

GF-HI-005-2021

Lima, 31 de marzo de 2021

De nuestra consideración:

De conformidad con lo dispuesto en el artículo 28 del TUO de la Ley del Mercado de Valores, aprobada por el D.S. N° 093-2002-EF y el Reglamento de Hechos de Importancia e Información Reservada, mediante la presente informamos que el día de hoy nuestra compañía ha suscrito con la empresa Anglo American Quellaveco S.A. ("**AAQSA**") un nuevo contrato de suministro de electricidad por un total de 150 MW por el plazo de ocho (8) años (2029-2037) para el Proyecto Minero Quellaveco de AAQSA (el "Contrato de Suministro"), actualmente en construcción en la región Moquegua.

Con el Contrato de Suministro, AAQSA es la primera gran empresa minera en promover la construcción de una central de energía renovable no-convencional, para emplear 100% energía renovable-no convencional en sus operaciones.

En efecto, la electricidad objeto del Contrato de Suministro (150 MW) será 100% verde y estará respaldada con las fuentes de energía renovable de ENGIE Energía Perú, en especial su futura Central Eólica "Punta Lomitas" ("Proyecto Punta Lomitas"), que consiste en la construcción de un parque eólico con una capacidad nominal conjunta de 260 MW ubicado en Ocucaje-Ica, y una línea de transmisión de 60 kilómetros que conectará la central con el Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN).

A la fecha, el Proyecto Punta Lomitas cuenta con la concesión definitiva de generación y transmisión otorgada por el Ministerio de Energía y Minas¹ y se ha suscrito con las empresas SIEMENS GESA RENEWABLE ENERGY S.A. DE C.V. y SIEMENS GAMESA RENEWABLE ENERGY S.A.C. el contrato para el suministro de las turbinas eólicas para su implementación. El Proyecto Punta Lomitas representa una inversión total estimada de aproximadamente USD 300 millones y el inicio de su construcción se estima para el segundo semestre del año 2021.

Sin otro particular, quedamos de ustedes.

Alberto Salinas
Representante Bursátil

Fuente: (Engie, 2020)