

**UNIVERSIDAD TÉCNICO FEDERICO SANTA MARÍA**  
**SEDE VIÑA DEL MAR - JOSÉ MIGUEL CARRERA**

**“ELABORACIÓN DE BASES TÉCNICAS PARA LICITACIÓN DE  
MANTENIMIENTO DE CENTRAL TÉRMICA DEL HOSPITAL SAN JUAN DE  
DIOS DE LA CIUDAD DE LOS ANDES.”**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PARA  
OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL  
DE INGENIERÍA DE EJECUCIÓN EN  
MECÁNICA DE PROCESOS Y  
MANTENIMIENTO INDUSTRIAL**

**ALUMNO: DANIEL ALEJANDRO  
HENRÍQUEZ ESCUDERO.**

**PROFESOR GUÍA: INGENIERO CIVIL  
MECÁNICO LUIS AUGUSTO  
GUTIERREZ MENESES.**

## **DEDICATORIA**

A mi familia por entregarme todos los valores en mi formación personal, a mi madre que ha estado en los momentos más difíciles y pudo darme los consejos de vida que hoy comprendo. A mi padre por toda la sabiduría y fortaleza para enfrentar los momentos más difíciles. A mi hermano quien me ha enseñado a no olvidar lo esencial de la vida, y mantenerse enfocado en lo que uno es, y desea.

A todos los profesores con vocación en la educación desde mi educación básica hasta universitaria, se convirtieron en una inspiración para dominar los conocimientos enseñados. A mis compañeros de carrera por todas las experiencias en el proceso universitario, y prontas a vivir como colegas.

A mis colegas de trabajo del departamento de Operaciones del Hospital San Juan de Dios de la ciudad de Los Andes, excelentes profesionales que hacen del ambiente laboral un agrado, solucionando problemas para el beneficio de los pacientes y funcionarios del hospital.

## RESUMEN

**KEYWORDS:** CENTRAL TÉRMICA, BASES TÉCNICAS, MANTENIMIENTO.

El hospital San Juan de Dios de la ciudad de los Andes, región de Valparaíso, forma parte de los hospitales de alta complejidad en Chile, cuenta con su propia central térmica capaz satisfacer las necesidades de calefacción y agua caliente para el consumo del recinto Hospitalario. La central térmica se encuentra constituida por una sala de máquinas donde se realiza la producción, 3 (tres) subestaciones térmicas ubicadas en: placa técnica del edificio urgencias, subterráneo del edificio de hospital, patio consultorio adosado a especialidades (CAE).

El mantenimiento realizado a la central térmica y subestaciones, se realizan bajo la modalidad de licitaciones en el mercado público, donde las empresas interesadas en prestar el servicio postulan.

Durante el año 2021, se da termino a la licitación del mantenimiento de los últimos dos años realizados en la central térmica del hospital San Juan de Dios de la ciudad de los Andes, y surge la necesidad de elaborar las nuevas bases técnicas que cubran con la totalidad de máquinas y equipos que constituyen la central térmica y subestaciones.

Las pautas mínimas de mantenimiento de las nuevas bases técnicas serán elaboradas de acuerdo con el Decreto Supremo 10 “*Aprueba reglamento de caldera, autoclaves y equipos que utilizan vapor de agua*”, y manuales técnicos de los equipos presentes como referencia. La finalidad es determinar a la empresa responsable del servicio de mantención, para mantener las variables de la central dentro de los indicadores de mantenimiento MTTR y Tasa de fallas.

Primeramente, se reconoce la importancia de la central térmica en el funcionamiento diario del hospital, clasificando todos los equipos presentes en la sala de máquinas mediante un diagrama de flujos, asociado a la producción de vapor saturado y agua caliente de la central. Para luego evidenciar todos los sectores del recinto hospitalario que utilizan la producción de la central, tanto para diferentes servicios del hospital, como también para la calefacción implementada mediante el uso de agua caliente, e intercambiadores de calor industrial.

Una vez reconocidas todas las instalaciones, se procederá a detectar la frecuencia de fallas de la sala de máquinas ocurridas en el año 2020, y en base a un análisis de gráficos de dispersión logarítmica Jack-Knife, se priorizará y justificará los trabajos de mantención preventiva en las frecuencias determinadas en las nuevas bases técnicas.

## ÍNDICE

<b>DEDICATORIA</b>	<b>2</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>3</b>
<b>ÍNDICE</b>	<b>4</b>
<b>INDICE DE FIGURAS</b>	<b>5</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	¡Error! Marcador no definido.
<b>OBJETIVOS</b>	<b>7</b>
<b>OBJETIVO GENERAL</b>	<b>7</b>
<b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b>	<b>7</b>
<b>CAPÍTULO 1: CENTRAL TÉRMICA Y SUB ESTACIONES.</b>	<b>8</b>
<b>1. CENTRAL TÉRMICA DEL HOSPITAL</b>	<b>9</b>
1.1. PRESENTACIÓN DEL TEMA	9
1.2. PRESENTACIÓN FLOWSHEET ASOCIADO A LA PRODUCCIÓN DE VAPOR Y AGUA CALIENTE	9
1.3. FRECUENCIA DE FALLAS SISTEMA PRODUCCIÓN DE CENTRAL TÉRMICA	16
1.4. IMPORTANCIA DEL MANTENIMIENTO EN LA CENTRAL TÉRMICA	17
<b>CAPÍTULO 2: JERARQUIZACIÓN FALLAS SALA DE MÁQUINAS CENTRAL TÉRMICA.</b>	<b>19</b>
<b>2. DIAGRAMA JACKKNIFE</b>	<b>20</b>
2.1. DIAGRAMA JACK-KNIFE APLICADO A FALLAS SALA MÁQUINAS	21
2.2. JERARQUIZACIÓN FALLAS CENTRAL TÉRMICA	22
2.3. GRÁFICO JACK-KNIFE	24
2.4. ANÁLISIS GRÁFICO JACK-KNIFE	26
<b>CAPÍTULO 3: ELABORACIÓN BASES TÉCNICAS.</b>	<b>29</b>
<b>3. BASES TÉCNICAS</b>	<b>30</b>
3.1. REQUERIMIENTOS TIEMPOS TRABAJO SALA DE MÁQUINAS	30
3.2. CENTRAL TÉRMICA Y SUBESTACIONES	31
3.3. BASES TÉCNICAS PARA EL MANTENIMIENTO CENTRAL TÉRMICA	31
3.4. INDICADORES DE MANTENIMIENTO Y CRITERIOS DE EVALUACIÓN	36
3.5. DECLARACIÓN Y CUMPLIMIENTO DE LAS ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	37
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>39</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>41</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>42</b>
<b>ANEXO N°1: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS SALA DE MÁQUINAS</b>	<b>42</b>
Sala de máquinas térmicas.	42
<b>ANEXO N°2: PAUTAS MÍNIMAS DE MANTENIMIENTO EQUIPOS CRÍTICOS AGUDOS</b>	<b>47</b>
1 Pautas mínimas de mantenimiento calderas	47
1.1 Descripción pautas mínimas de mantenimiento preventiva calderas	49
2. Pautas mínimas de mantenimiento preventivo quemadores.	52
2.1 Descripción pautas mínimas de mantenimientos preventivos quemadores.	53

## **ÍNDICE DE FIGURAS**

- Figura I: (1.1) Flowsheet asociado a producción sala máquinas
- Figura II: (1.2) Simbología Flowsheet asociado a producción sala de máquinas
- Figura III: (1.3) Manifold N°4 (MD-04)
- Figura IV: (1.4) Caldera (CV-03) producción vapor saturado
- Figura V: (1.5) Caldera N°2 (CV-02), de producción de vapor saturado
- Figura VI: (1.6) Manifold circuito cerrado agua caliente
- Figura VII: (1.7) Caldera N°1 (CA-01) generadora de agua caliente
- Figura VIII: (1.8) Bombas de calor de sala de máquinas
- Figura IX: (2.1) Presentación diagrama Jack-Knife
- Figura X: (2.2) Gráfico Jack-Knife, fallas correctivas 2020
- Figura XI: (3.1) Distribución de tiempos, máquinas térmicas
- Figura XII: (3.2) Central térmica y subestaciones
- Figura XIII: (3.3) Equipos críticos y agudos.
- Figura XIV: (3.4) Puntaje Oferta Económica

## INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de título fue elaborado para la creación de las nuevas bases técnicas para la licitación del mantenimiento de la central térmica del Hospital San Juan de Dios de la ciudad de Los Andes. En el mes de marzo del presente año 2021, se da por finalizada la licitación anterior del mantenimiento a la central térmica. Sin embargo, se presenta la siguiente problemática: ¿Por qué es necesario realizar nuevas bases técnicas y no utilizar las bases anteriores para la licitación?

Porque las antiguas bases técnicas no consideran la totalidad de los equipos que constituyen la central térmica y sus tres subestaciones, dejando una importante brecha al momento de considerar o no considerar, las fallas de máquinas y equipos que se encontraban fuera de las antiguas bases técnicas, generando problemas asociadas a retrasos en los tiempos de reparación de los sistemas de producción, problemas económicos por falta de manejo de presupuestos, y problemas en la organización por deficiente disponibilidad de empresas para los trabajos de mantención.

Para elaborar las nuevas bases técnicas se ha realizado un trabajo en terreno durante la práctica profesional de la carrera a optar en el presente trabajo de título. A través de la elaboración de un flowsheet asociado a la sala de máquinas donde se realiza la producción de la central térmica. Se indicará gráficamente los flujos de entrada y salida de cada elemento presente, también se reconocerá la importancia de la central térmica en el funcionamiento diario del recinto hospitalario y los servicios que dependen de la producción.

Se reconocerán la frecuencia de fallas, tiempos de reparación, que afectan a las instalaciones encargadas de la producción durante el año 2020, para luego mediante un análisis Jackknife determinar el impacto en la disponibilidad de las máquinas y equipos de la sala de máquinas y como impacta su detención en el proceso productivo. Se infiere que el gráfico de dispersión obtenido será un análisis cuantitativo de las fallas ocurridas en el periodo de (12) meses, determinado el impacto de la disponibilidad en las máquinas agrupadas en los cuatro cuadrantes que ofrece la herramienta Jack-Knife.

En las pautas mínimas del mantenimiento de la central térmica, estarán definidos los servicios de mantenimiento preventivo, mantenimiento correctivo, y asistencia de emergencia las 24 horas, 7 días de la semana.

El proceso de licitación finaliza con la adjudicación del servicio a la empresa que obtenga la mayor puntuación según un criterio de evaluación, que considera aspectos administrativos, técnicos, y económicos.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Elaborar bases técnicas para licitación de mantenimiento de central térmica del Hospital San Juan de Dios de la ciudad de los Andes, de acuerdo con el Decreto Supremo 10/2013 MINSAL y manuales técnicos de referencia, evaluando según indicadores de mantenimiento.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- I. Reconocer la importancia de la central térmica en el funcionamiento diario del hospital, mediante elaboración de un flowsheet asociado al ciclo de vapor y agua caliente, indicando las fallas más comunes.
- II. Jerarquizar las fallas asociadas a la central térmica de acuerdo con Jackknife, priorizando las máquinas y equipos a intervenir, para no tener una indisponibilidad mayor a la esperada en el mantenimiento.
- III. Establecer las bases técnicas del mantenimiento de la central térmica y subestaciones, de acuerdo con la disponibilidad de los sistemas, y subsistemas a intervenir, estableciendo indicadores de mantenimiento y criterio de evaluación.

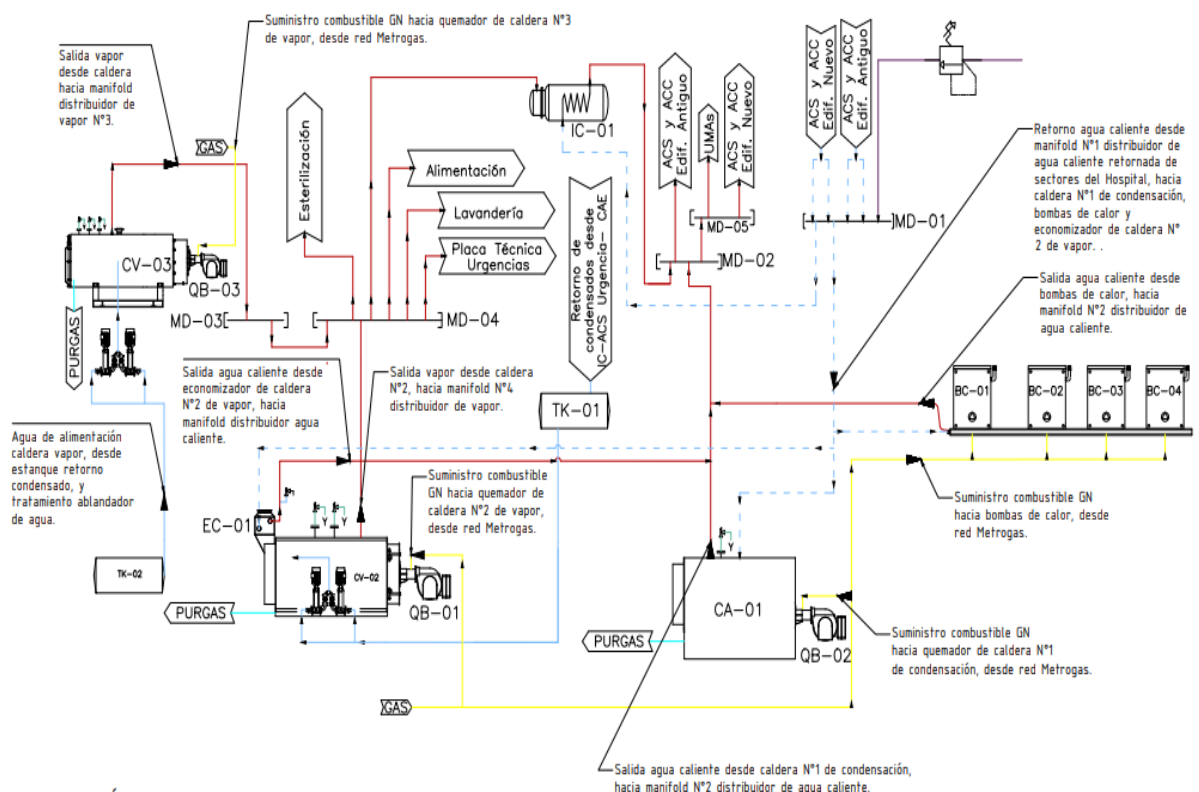
**CAPÍTULO 1: CENTRAL TÉRMICA Y SUB ESTACIONES.**

## 1. CENTRAL TÉRMICA DEL HOSPITAL

### 1.1. PRESENTACIÓN DEL TEMA

La producción de vapor saturado y agua caliente para uso de calefacción y consumo respectivamente comienza en la sala de máquinas de la central térmica, la cual es capaz de satisfacer todas las necesidades diarias de los diferentes sectores ubicados en el interior del Hospital San Juan de Dios de la ciudad de los Andes. En el presente capítulo se evidenciará el funcionamiento diario de la central térmica mediante la elaboración de un Flowsheet explicativo representado en la Figura I, donde se indicarán los sectores que dependen de la producción las máquinas responsables de la producción. Una vez representado el proceso de producción de la sala de máquinas térmicas se procederá a explicar la importancia que tiene la disponibilidad de la central en el funcionamiento diario del hospital, explicando brevemente la funcionalidad de los sectores que consumen vapor y agua caliente. Para finalizar el presente capítulo, se indicarán las fallas ocurridas durante el año 2020, gracias al registro de fallas.








### 1.2. PRESENTACIÓN FLOWSHEET ASOCIADO A LA PRODUCCIÓN DE VAPOR Y AGUA CALIENTE



Fuente: Elaboración propia mediante AutoCAD 2021.

Figura I: (1.1) Flowsheet asociado a producción sala máquinas

En la Figura I se grafica la producción y destino del vapor saturado y agua caliente a través de 7 unidades térmicas, y su respectiva configuración de conexiones hidráulicas correspondientes. En la Figura II se representa la simbología del presente flowsheet.

SIMBOLOGÍA					
	Cañería gas natural.		Válvula reguladora de presión.	IC-01	Intercambiador de calor.
	Cañería retorno agua caliente desde sectores del hospital.	BC	Bomba calor (01-02-03-04).	TK-01	Estanque retorno condensados para alimentar caldera N°2 y N°3 de vapor.
	Cañería agua blanda para alimentar caldera vapor.	QB	Quemador (01-02-03).	MD	Manifold distribución de vapor (03-04), manifold distribución de agua caliente (01-02-05)
	Cañería suministro calderas.	CA-01	Caldera N°1, de condensación.		
	Cañería de purgas.	CV-02	Caldera N°2, de vapor.		
	Cañería suministro agua a sistema cerrado agua caliente.	EC-01	Economizador caldera N°2.		
		CV-03	Caldera N°3, de vapor.		

Fuente: Elaboración propia mediante AutoCAD 2021.

Figura II: (1.2) Simbología Flowsheet asociado a producción sala de máquinas

### 1.2.1. Producción vapor en central térmica

Las máquinas encargadas de realizar la producción de vapor en la sala de máquinas térmicas son las calderas N°2 y N°3, denominadas con la simbología CV-02 y CV-03 respectivamente. Ambas calderas poseen una alimentación de agua blanda sometida a un proceso ablandador de agua para eliminar los carbonatos y minerales presentes en el fluido proveniente desde la red urbana, a diferencia de la producción de agua caliente, al momento que el fluido cambia de fase quedarán incrustadas en el interior de las paredes de la caldera y cañerías, ya que los residuos que vienen incorporados con el agua de la red urbana quedan presentes una vez se evapora el agua. Por lo mismo el Decreto Supremo 10 obliga la utilización de sistemas ablandadores de agua de alimentación para calderas encargadas de producir vapor.

La presión de producción de vapor saturado es de 80[PSI], para el caso de la caldera N°2 (CV-02) tiene capacidad de producción de 1350 [kVh], el producto de la máquina es suministrado directamente el manifold N°4 (MD-04), manifold encargado de suministrar vapor los sectores del hospital. Mientras que para la caldera N°3 (CV-03), su capacidad de producción gira en torno a 5000 [kVh], su producto es suministrado al manifold surtidor N°3 (MD-03), para luego alimentar al manifold N°4 (MD-04). La configuración de cañerías está definida en base a la arquitectura del lugar y antiguas instalaciones, lo que justifica la existencia de un manifold para el producto de la caldera N°3 (CV-03) antes de alimentar al manifold principal suministrador de vapor hacia los sectores del hospital.

En la siguiente Figura III, se muestra fotografía del manifold principal que suministra el vapor al hospital.



Figura III: (1.3) Manifold N°4 (MD-04)

Los sectores del hospital que consumen la producción de vapor saturado de la sala de máquinas, y que su funcionamiento diario depende directamente son:

- Alimentación

El vapor suministrado al sector de alimentación es utilizado para alimentar la máquina lava vajillas y marmitas presentes en el recinto hospitalario, y su funcionamiento depende de suplir diariamente las demandas de alimentación tanto para los pacientes, como para los funcionarios que se encuentran diariamente trabajando en sus instalaciones.

La máquina lava vajillas cumple una importante función en el proceso de alimentación, debido a que se encarga de la limpieza y secado de los utensilios de cocina, mientras que las marmitas utilizan vapor para acelerar el proceso de cocción de los alimentos. En el manifold N°4 (MD-04) para suministrar vapor al sector de alimentación, fue necesario instalar un tren reductor de presión compuesto por una válvula reguladora de presión, y un bypass de válvulas 3 cuerpos que permite regular y disminuir la presión del vapor desde 80[PSI] a 6[PSI].

- Lavandería

El vapor suministrado al sector de lavandería es utilizado principalmente en las máquinas secadoras y rodillos para planchar la ropa. La limpieza e higiene que debe mantener el recinto hospitalario depende directamente de la ropa utilizada tanto para ropa de pabellones, sábanas, toallas, entre otras prendas.

El proceso de lavado y secado son de gran importancia para el funcionamiento diario del recinto, ya que ayuda a disminuir los riesgos asociados a la contaminación asociada al uso de ropa sucia. Actualmente en el recinto hospitalario no dispone de otra alternativa para secar la ropa sin el consumo del vapor entregado por la sala de máquinas,

cuando se detiene la producción de vapor se ve afectada la parte final, y no menos importante del proceso de lavado realizado en el sector de lavandería.

- Placa técnica urgencias del hospital

Una de las salidas de flujo de vapor que se encuentran en el manifold distribuidor N°4 (MD-04), va dirigida a la placa técnica del edificio de urgencias del recinto hospitalario, donde se encuentra ubicado un intercambiador de calor industrial, máquina térmica capaz de aprovechar la energía del flujo de vapor para obtener agua caliente y usarla para sistemas de climatización y agua caliente sanitaria del edificio de urgencias.

En las nuevas bases técnicas de mantenimiento se encuentran considerados todos los equipos que administran el agua caliente convertida en el intercambiador de calor, en caso de que se corte la alimentación del vapor a la placa técnica, se ve comprometida la calefacción y agua caliente de todo el edificio de urgencias.

- Intercambiador de calor patio Consultorio Adosado a Especialidades (CAE)

Uno de los sistemas convencionales para obtener agua caliente en un sector determinado y que se encuentre alejado de la central de producción de vapor saturado, corresponde al sistema de generación de agua caliente por medio de un intercambiador de calor. El intercambiador de calor ubicado en el patio del CAE y placa técnica de urgencias trabajan bajo el mismo principio, donde ingresa vapor caliente a un sistema cerrado mientras que al mismo tiempo ingresa agua recirculada a una temperatura de 30°C a un serpentín, para que luego esa agua salga de la máquina a una temperatura de 80°C, gracias a la energía incorporada por el vapor caliente suministrado desde el manifold N°4 (MD-04). La discontinuidad de la alimentación de vapor al intercambiador de calor del patio CAE, compromete directamente el confort de calefacción del edificio.

- Esterilización

Para finalizar con los sectores que consumen vapor saturado desde el manifold N°4 ubicado en la sala de máquinas de la central térmica del hospital, esterilización es el sector donde se realiza el proceso de eliminación de cualquier vida en el material de uso de los servicios clínicos, materiales médicos, instrumental quirúrgico para variados servicios asistenciales del hospital, entre otros. Las máquinas encargadas de realizar la esterilización y que consumen vapor caliente son las máquinas autoclaves y lavadoras instrumentales.

La discontinuidad del suministro de vapor hacia el sector de esterilización expone al hospital al cierre de pabellones quirúrgicos por la falta de instrumental médico.

A continuación, para mejor comprensión del proceso de producción de vapor saturado y las máquinas involucradas, se adjuntan fotografías de las calderas N° 2 y 3, con sus quemadores correspondientes.



Fuente: Caldera N°3 y quemador, central térmica Hospital de Los Andes.

Figura IV: (1.4) Caldera (CV-03) producción vapor saturado



Fuente: Caldera N°2 y quemador, central térmica Hospital de Los Andes.

Figura V: (1.5) Caldera N°2 (CV-02), de producción de vapor saturado

### 1.2.2. Producción agua caliente en central térmica

Las máquinas y equipos encargados de la producción de agua caliente para suplir demandas de calefacción y consumo sanitario son: calderas N°1 (CA-01) de condensación con una potencia útil de 1820 [kW], cuatro bombas de calor (BC-00) con ciclo de absorción con una potencia es de 38.3 [kW] cada una, un economizador instalado en la salida de gases de combustión de la caldera de vapor N°2 (CV-02), tres intercambiadores

de calor industrial de condensación ubicados en sala de máquinas-placa técnica urgencias-patio Consultorio Adosado Especialidades “CAE”, cuatro Boiler conectados a intercambiadores de calor de placas de acero A36 ubicados en el subterráneo del edificio de hospitalización.

El circuito para la producción del agua caliente es del tipo cerrado, es decir, la gran mayoría del agua calentada en las máquinas térmicas es suministrada hacia los sectores del hospital para luego retornar a la sala de máquinas a una temperatura mayor a la temperatura ambiente. Las bombas encargadas de recircular el agua caliente de retorno se encuentran en el manifold N°1 (MD-01), en uno de los suministros del manifold mencionado ingresa la alimentación de agua externa al circuito cerrado de agua caliente la que se encuentra conectada a una válvula de llenado automático que en función de la presión que se desee mantener, la válvula actúa y hace ingresar agua desde la red urbana hacia el circuito, y así mantener la presión del sistema para asegurar buen nivel de agua dentro del circuito cerrado. Las salidas de distribución del manifold N°1 (MD-01) va dirigida a la alimentación de la caldera N°1, intercambiador de calor de la sala de máquinas y bombas de calor de sala de máquinas.

En cuanto al manifold N°2 (MD-02), es el elemento encargado de recibir la producción de agua caliente desde las máquinas responsables de proceso de producción, para luego distribuir hacia el sector antiguo del hospital y subterráneo del edificio hospitalización. El sector antiguo del hospital se encuentra constituido por el laboratorio, jardín infantil, y oficinas administrativas, el consumo de agua caliente va destinado al sistema de calefacción por radiadores, y una discontinuidad del proceso de producción de agua caliente, afecta directamente al confort en cuanto a la calefacción.

El flujo de agua caliente desde el manifold N°2 (MD-02), que va dirigido a la subestación térmica subterráneo del edificio de hospitalización, e ingresa al manifold N°5 (MD-05), para suministrar a los radiadores del hospital y unidades manejadoras de aire de pabellones, elementos encargados de mantener la temperatura de confort mediante la calefacción del edificio. El manifold N°5 (MD-05) también suministra agua caliente hacia cuatro intercambiadores de calor de placa de acero A36 conectado a 4 estanques de agua caliente, donde el agua hace ingreso y retorna a una alta temperatura a la sala de máquinas junto a los otros flujos de la red hidráulica. Los cuatro Boilers instalados en la configuración hidráulica de la subestación tiene la funcionalidad de mantener agua caliente para uso sanitario del edificio de hospitalización. A continuación, para mejor comprensión del proceso de producción de agua caliente, manifold, y máquinas involucradas, se adjuntan las siguientes figuras:



Fuente: Sala de máquinas central térmica Hospital de Los Andes.

Figura VI: (1.6) Manifold circuito cerrado agua caliente



Fuente: Caldera N°1 y quemador, central térmica Hospital de Los Andes.

Figura VII: (1.7) Caldera N°1 (CA-01) generadora de agua caliente



Fuente: Bombas de calor, central térmica Hospital de Los Andes.

Figura VIII: (1.8) Bombas de calor de sala de máquinas

### 1.2.3. Distribución de tiempo de las máquinas térmicas en la central térmica

La distribución del tiempo para el uso de equipos en el proceso de producción de la sala de máquinas de la central térmica se divide en 2 temporadas al año, con una duración de 6 meses por temporada.

- Temporada primavera-verano: Corresponde al periodo del tiempo en el año donde las jornadas con bajas temperaturas comienzan a disminuir, como también la demanda de vapor saturado y agua caliente para calefacción. Para el caso de la central térmica las máquinas utilizadas en el proceso de producción son la caldera N°2, y bombas de calor. Con la caldera N°2 se produce el vapor saturado para los diferentes sectores del hospital, y con las bombas de calor se produce el agua caliente para uso sanitario.
- Temporada Otoño-Invierno: Corresponde al periodo del tiempo en el año donde comienzan a aparecer las jornadas con bajas temperaturas, el uso del vapor saturado además de ir destinado a los diferentes sectores del hospital, también ira destinada a los intercambiadores de calor industrial, para obtener agua caliente que será utilizada en radiadores que mantendrán la calefacción en espacios cerrados. Para el caso de la central térmica, las máquinas utilizadas en el periodo de otoño-invierno son la caldera N°3, y caldera N°1. Con la caldera N°3 se produce el vapor saturado, y con la caldera N°1 se produce el agua caliente para uso sanitario y calefacción.

### **1.3. FRECUENCIA DE FALLAS SISTEMA PRODUCCIÓN DE CENTRAL TÉRMICA**

Se presenta la frecuencia de fallas asociadas a las máquinas y equipos encargados del proceso de producción de vapor saturado y agua caliente, la información obtenida fue recopilada por la unidad de Calidad del departamento de Operaciones del Hospital de los Andes. Las visitas técnicas realizada por mantenimiento correctivo durante el año 2020, dejo registro de la frecuencia de fallas y tiempos de reparación por equipos. Una vez obtenida las frecuencias de falla y tiempo fuera de servicio de cada equipo y componente, se podrá elaborar los gráficos de dispersión logarítmico basado en la metodología de jerarquización de fallas llamada Jackknife.

Tabla 1-1: Frecuencia fallas central térmico año 2020.

MÁQUINA O EQUIPO QUE FALLA DURANE EL AÑO	CANTIDAD DE FALLAS EN EL AÑO
Bomba de calor 01	6
Bomba de calor 02	4
Bomba de calor 03	4
Bomba de calor 04	4
Quemador caldera N°01	6
Quemador caldera N°02	6
Quemador caldera N°03	6
Caldera N°1	10
Cadera N°2	6
Economizador caldera N°2	2
Caldera N°3	10
Intercambiador de calor	2
Manifold N°01	4
Manifold N°02	2
Manifold N°03	4
Manifold N°04	10
Manifold N°05	2
Estanque alimentación caldera N°2	2
Estanque alimentación caldera N°3	4

Fuente: Departamento Operaciones Hospital San Juan de Dios de Los Andes.

#### **1.4. IMPORTANCIA DEL MANTENIMIENTO EN LA CENTRAL TÉRMICA**

El mantenimiento es un concepto que se puede definir como el conjunto de acciones necesarias para conservar o restablecer un sistema en un estado que permita garantizar su funcionamiento a un costo mínimo. También, se puede decir que el mantenimiento tiene como finalidad asegurar que un activo físico continúe haciendo lo que sus usuarios quieren que haga.

Contextualizando el mantenimiento en la central térmica, adquiere un valor importante debido a las consecuencias que tendría el recinto hospitalario si se detuviera la producción de vapor saturado y agua caliente, los servicios que dependen de ella no podrían funcionar, y no se podrán satisfacer las demandas que requiere el centro asistencial de alta complejidad.

También adquiere importancia el mantenimiento para resguardar la seguridad de los operadores que manejan las máquinas térmicas durante las 24 horas, sin un buen plan de mantención, aumenta el riesgo de exposición al peligro de la salud de los trabajadores,

debido a que estarán expuestos en un ambiente cerrado con máquinas y equipos sometidos a altas presiones y temperaturas, y pueden presentar fallas desde una fuga en la red hidráulica, hasta una explosión de caldera por un aumento de presión y falla en sus válvulas de seguridad.

El objetivo de la mantención y que es aplicable a la central térmica y subestaciones se basa en los siguientes fundamentos:

- Atención permanente a la conservación del patrimonio instalado:  
La conservación de los activos de la central térmica es uno de los objetivos más importantes, para lograrlo se deben ejecutar acciones en el momento oportuno del ciclo de mantención. Este fundamento constituye puntos de discordia tradicionales entre el personal de producción, que desearía nunca tener que parar las máquinas y equipos.
- Mejoramiento de las prestaciones:  
La conservación de los activos debe buscarse con un mejoramiento y adecuación continua dentro de las exigencias cualitativas y cuantitativas que varían constantemente.
- Aumento de la disponibilidad:  
Se define disponibilidad como la razón entre las horas de funcionamiento productivo de una máquina o elemento determinado, y el tiempo de funcionamiento programado y esperado.
- Reducción costos de mantención:  
La reducción de costos de mantención no puede producirse en forma artificial ni debe estar vinculada a dificultades económicas contingentes. Está demostrado que intentos por ahorrar y limitar las operaciones de mantención, conduce casi siempre a un aumento de los costos globales. El camino correcto para la reducción de costos en la mantención es mediante la aplicación cada vez más amplia de la mantención condicional y el mejoramiento continuo. Reducir las fallas mediante categorización de eventos marginales, hace posible la programación y la preparación de los trabajos y conduce a una configuración organizacional funcional del servicio de mantención.

En el siguiente capítulo se abordará el mantenimiento a la central analizando las fallas ocurridas en el año 2020 y los tiempos de reparación media, mediante el uso de la herramienta Jack-Knife que nos permite un análisis cuantitativo respecto a la criticidad y agudez de las máquinas y equipos que producen vapor saturado y agua caliente en la central térmica del hospital.

**CAPÍTULO 2: JERARQUIZACIÓN FALLAS SALA DE MÁQUINAS CENTRAL  
TÉRMICA.**

## 2. DIAGRAMA JACKKNIFE

Dentro de la gestión del mantenimiento los gráficos Jack-Knife permiten un análisis cuantitativo respecto a las detenciones de máquinas, equipos, o sistemas que requieran mantenimiento. A través de un gráfico de dispersión logarítmicas el uso de la herramienta Jack-Knife permite clasificar la naturaleza de los modos de fallas en más de un tipo: Fallas agudas, fallas crónicas, y fallas agudas-crónicas. Esta clasificación nos permite el análisis para detectar donde se está generando mayores cantidades de pérdidas, producto de las detenciones no previstas en el mantenimiento. El esquema que presenta un gráfico de dispersión logarítmica se presenta en la siguiente Figura IX.

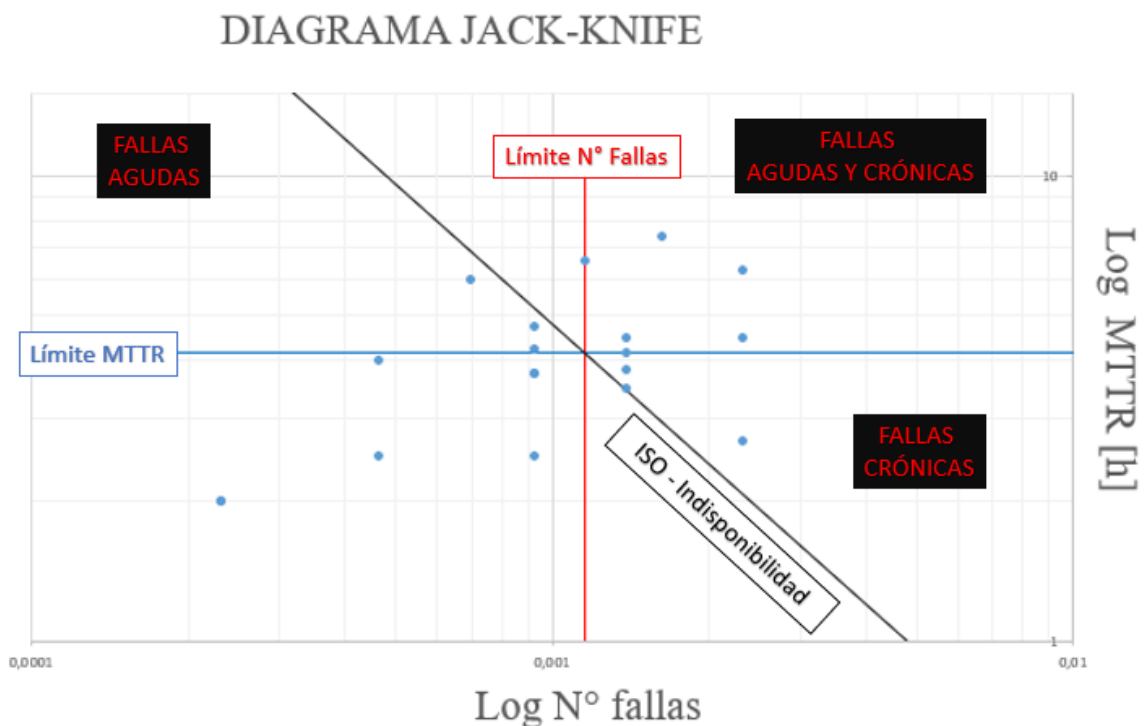


Figura IX: (2.1) Presentación diagrama Jack-Knife

En la columna de las ordenadas se encuentran los datos en escala logarítmica de MTTR, de las siglas en inglés (mean time to repair), que significa el tiempo medio reparación. En el eje de las abscisas se encuentran los datos en escala logarítmica de las cantidades de fallas ocurridas en un tiempo determinado. El gráfico se encuentra dividido en cuatro cuadrantes, gracias a la intersección de los ejes (límite MTTR) y (límite Fallas), donde se agruparán los equipos o paradas en base a la naturaleza de la falla. En el lado superior izquierdo se encuentra el cuadrante donde se ubicarán las fallas agudas, en el cuadrante inferior derecho se encontrarán las fallas crónicas, y finalmente en el cuadrante superior derecho se encontrarán las fallas agudas crónicas.

Conceptualmente el método de jerarquización Jack-Knife permite un estudio multicriterio de diferentes variables que inciden en los modos de falla, algunas de esas variables son: frecuencia ocurrencia de falla, número de fallas, tiempo de reparación, costos asociados, entre otros. El mecanismo de análisis y obtener conclusiones, es un diagrama en dos o más dimensiones, en donde cada una de éstas corresponde a una variable de estudio.

## **2.1. DIAGRAMA JACK-KNIFE APLICADO A FALLAS SALA MÁQUINAS**

Para el caso del presente trabajo de título se elaborará un gráfico Jack-Knife con las variables nombradas a continuación:

- Cantidad de fallas por equipos en el año 2020.
- Tiempo fuera de servicio por reparación.
- Tiempo medio de reparación.
- Tasa de falla.
- Disponibilidad media.

Los datos obtenidos para trabajar fueron obtenidos por la unidad de calidad, del departamento de Operaciones, del Hospital San Juan de Dios de las Ciudad de los Andes. En el gráfico elaborado la intersección de la columna de ordenadas y eje de las abscisas, corresponden a las líneas de referencia que denotan el número promedio de fallas, y el tiempo promedio de reparación de los modos de falla, generando los cuatro cuadrantes donde se agruparán cada uno de los equipos que se encuentran en la sala de máquinas, y que han sido intervenidos con las mantenciones correctivas registradas durante el año 2020.

Los modos de fallas ubicados cuadrante (agudos), son aquellos que poseen un número de fallas menor al promedio, pero con una alta tasa de tiempo de reparación. Los equipos o modos de fallas agrupados en el cuadrante (crónico) son reparaciones con un número de fallas mayor al promedio, pero con una baja tasa de reparación en el tiempo. Las fallas o equipos agrupadas en el cuadrante (agudos-crónicos), corresponden a las detenciones con una alta frecuencia de fallas, y un alto tiempo de reparación.

Adicionalmente se agregará una recta de ISO-Indisponibilidad, de manera que se identifiquen los modos de falla que generen una indisponibilidad mayor a la esperada. Se utiliza la escala logarítmica para que línea de indisponibilidad sea una recta. Para hacer la recta de indisponibilidad, es necesario tener los valores extremos de la frecuencia de fallas, y el valor de la indisponibilidad valor medio, que se obtiene por el producto del promedio del valor MTTR y promedio del valor tasa de fallas.

La interpretación de la recta es simple, los equipos o modos de fallas que estén sobre la recta, repercute en una indisponibilidad mayor a la esperada.

## 2.2. JERARQUIZACIÓN FALLAS CENTRAL TÉRMICA

Se adjunta a continuación en la tabla 2-1 elaborada mediante Excel, con los datos obtenidos después de cada mantenimiento correctivo a los equipos y máquinas encargados de la producción de la central. Los datos nos entregan la posibilidad de jerarquizar las fallas en los distintos cuadrantes, y determinar si su detención impacta en la disponibilidad esperada.

Tabla 2-1: Tabla datos mantenciones.

TIEMPO (HORAS) POR EQUIPO	4380				
MÁQUINA O EQUIPO QUE FALLA DURANTE EL AÑO	CANTIDAD DE FALLAS EN EL AÑO	TIEMPO FUERA DE SERVICIO POR REPARACIONES	MTTR (HORAS)	TASA DE FALLAS	INDISPONIBILIDAD
Bomba de calor 01	6	25	4,1666667	0,00136986	0,571%
Bomba de calor 02	4	19	4,75	0,00091324	0,434%
Bomba de calor 03	4	17	4,25	0,00091324	0,388%
Bomba de calor 04	4	15	3,75	0,00091324	0,342%
Quemador caldera N°01	6	23	3,8333333	0,00136986	0,525%
Quemador caldera N°02	6	21	3,5	0,00136986	0,479%
Quemador caldera N°03	6	27	4,5	0,00136986	0,616%
Caldera N°1	10	45	4,5	0,00228311	1,027%
Caldera N°2	7	52	7,4285714	0,00159817	1,187%
Economizador caldera N°2	2	8	4	0,00045662	0,183%
Caldera N°3	10	63	6,3	0,00228311	1,438%
Intercambiador de calor	3	18	6	0,00068493	0,411%
Manifold N°01	4	15	3,75	0,00091324	0,342%
Manifold N°02	5	33	6,6	0,00114155	0,753%
Manifold N°03	1	2	2	0,00022831	0,046%
Manifold N°04	10	27	2,7	0,00228311	0,616%
Manifold N°05	1	2	2	0,00022831	0,046%
Estanque alimentación caldera N°2	2	5	2,5	0,00045662	0,114%
Estanque alimentación caldera N°3	4	10	2,5	0,00091324	0,228%

Fuente: Unidad de calidad, departamento de Operaciones, Hospital San Juan de Dios de Los Andes.

A continuación, se explicará cómo se calcula las variables MTTR (horas), tasa de fallas, indisponibilidad, indisponibilidad media, columna coordenadas y eje abscisas del gráfico Jack-Knife.

- MTTR (horas): El cálculo del tiempo medio de reparación se obtiene gracias a la división entre el tiempo fuera de servicio por reparaciones (horas), y la cantidad de fallas del equipo o máquina. Por ejemplo, el tiempo medio de reparación de la caldera N°3 es de 6.3 (horas) por fallas correctivas.

La fórmula para el MTTR es la siguiente.

$$MTTR = \frac{\text{TIEMPO FUERA DE SERVICIO POR REPARACIONES}}{\text{CANTIDAD DE FALLAS POR EQUIPO O MÁQUINA}}$$

- Tasa de fallas: El cálculo de la tasa de fallas se realiza mediante la siguiente ecuación.

$$\text{TASA DE FALLAS} = \frac{1}{\left( \frac{\text{TIEMPO REQUERIDO POR EQUIPO}}{\text{CANTIDAD DE FALLAS POR EQUIPO O MÁQUINA}} \right)}$$

- Disponibilidad: El cálculo de la variable disponibilidad, se realiza mediante el producto del MTTR, y la Tasa de Fallas. La casilla en Excel debe estar configurada en (%), y la ecuación es la siguiente.

$$\text{INDISPONIBILIDAD} = \text{MTTR} * \text{TASA DE FALLAS}$$

- Disponibilidad media: El cálculo de la disponibilidad media se realiza mediante el producto del promedio MTTR y el promedio de la variable Tasa de Fallas.
- ISO-Tasa de Fallas: La representación de la columna coordenadas en el gráfico de la figura 2-2, corresponde a una recta denominada ISO-Tasa de Fallas. Los valores serán agregados a un gráfico de dispersión, herramienta que ofrece Excel, y los datos asignados para (X), será el promedio de la Tasa de Fallas, y los valores para (Y) serán los valores extremos de la frecuencia de fallas. En la tabla 2-2 se expresa la asignación de casillas para ingresar la recta en el gráfico.

Tabla 2-2: Tabla representación cálculo ISO-Tasa de fallas.

ISO-Tasa de fallas	
X	Y
0,001141553	1
0,001141553	10

Fuente: Elaboración propia mediante Excel.

- ISO-MTTR: La representación de eje de las abscisas en el gráfico de la figura 2-2, corresponde a una recta denominada ISO-MTTR. Los valores serán agregados al gráfico Jack-Knife, y los datos asignados para (X) serán los extremos de la frecuencia de fallas representado con valores en escala logarítmica base 10. Para los datos de (Y) será el promedio MTTR. En la tabla 2.3 se puede representar la asignación de valores.

Tabla 2-3: Tabla representación cálculo ISO-MTTR.

ISO-MTTR	
X	Y
0,0001	4,15940
1	4,15940

Fuente: Elaboración propia mediante Excel.

- ISO-Indisponibilidad: El cálculo de la recta ISO-Indisponibilidad, se realiza con los valores extremos de la frecuencia de fallas representada en el gráfico Jack-Knife, valores que se encuentran en escala logarítmica base 10. Con la variable indisponibilidad media, se realiza la división con los valores extremos de la frecuencia de fallas. Posterior a la obtención de los cálculos, se ingresa la recta al gráfico elaborado mediante Excel representado en la figura 2-2, ingresando en las casillas X, e Y, los valores de las casillas representadas en la tabla 2-4.

Tabla 2-4: Tabla representación cálculo ISO-Indisponibilidad.

ISO INDISPONIBILIDAD	
X	Y
0,0001	47,48172
1	0,004748172

Fuente: Elaboración propia mediante Excel.

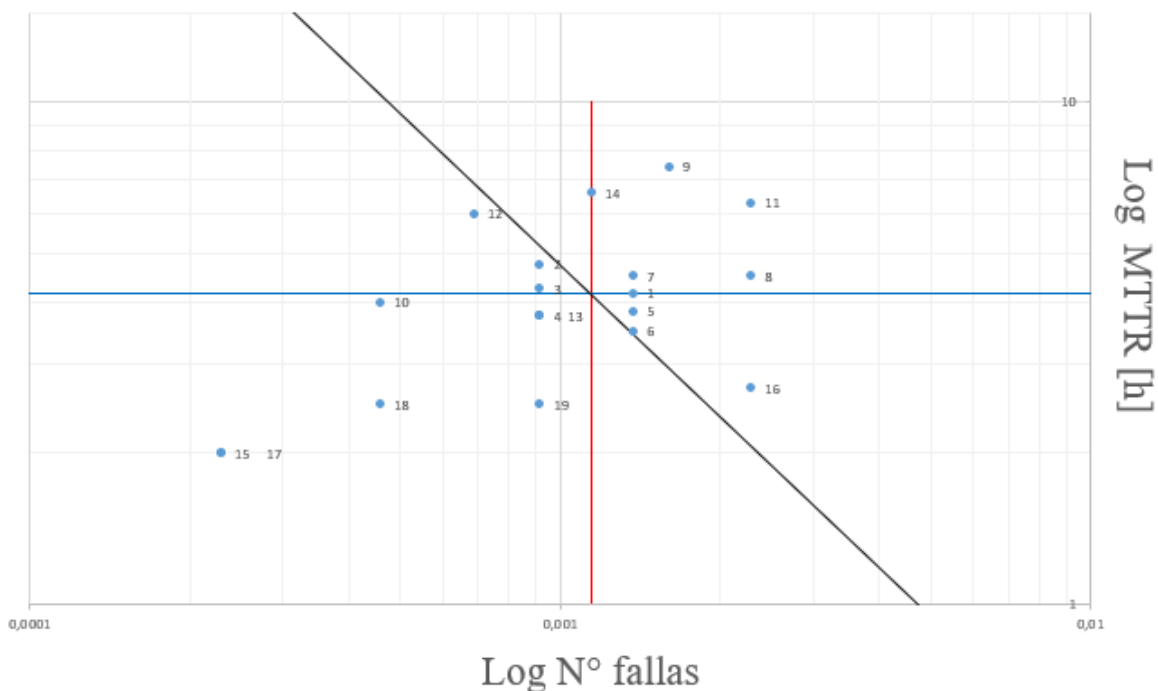
El valor (0.0001) y (1), son los extremos de la frecuencia de falla representados en la escala logarítmica del gráfico Jack-Knife. El valor (47.48172) es el resultado de la división de la indisponibilidad media, sobre el límite inferior de la frecuencia de fallas. La ecuación para realizar el cálculo de la recta es el siguiente:

$$Y' = \frac{\text{INDISPONIBILIDAD MEDIA}}{\text{LÍMITE INFERIOR FRECUENCIA FALLAS}} \Leftrightarrow 47.48172 = \frac{0.004748172}{0.0001}$$

### **2.3. GRÁFICO JACK-KNIFE**

Se presenta en la Figura X el gráfico de dispersión logarítmico Jack-Knife, que representa una herramienta bastante útil para el proceso de análisis, ya que podemos obtener conclusiones en base a datos cuantitativos. Posterior al proceso de análisis sigue la elaboración de las nuevas bases técnicas para el mantenimiento de la central térmica.

### DIAGRAMA JACK-KNIFE



• MÁQUINAS Y EQUIPOS SALA MÁQUINAS    — ISO-Tasa de fallas    — Límite MTTR    — ISO-Indisponibilidad  
 Fuente: Elaboración propia mediante Excel.

Figura X: (2.2) Gráfico Jack-Knife, fallas correctivas 2020

Tabla 2-5: Tabla simbología máquinas y equipos en gráfico.

SIMBOLOGÍA MÁQUINAS Y EQUIPOS GRÁFICO JACK-KNIFE	
1	Bomba de calor 01
2	Bomba de calor 02
3	Bomba de calor 03
4	Bomba de calor 04
5	Quemador caldera N°01
6	Quemador caldera N°02
7	Quemador caldera N°03
8	Caldera N°1
9	Cadera N°2
10	Economizador caldera N°2
11	Caldera N°3
12	Intercambiador de calor
13	Manifold N°01
14	Manifold N°02
15	Manifold N°03
16	Manifold N°04
17	Manifold N°05
18	Estanque alimentación caldera N°2
19	Estanque alimentación caldera N°3

Fuente: Elaboración propia mediante Excel.

## **2.4. ANÁLISIS GRÁFICO JACK-KNIFE**

Ya se ha mencionado las características de los cuadrantes formados en el gráfico de dispersión logarítmica, y tenemos las variables necesarias para realizar el análisis del gráfico.

### **2.4.1. Equipos y máquinas presentes en el I cuadrante (agudos – críticos)**

Los equipos presentes en el I cuadrante del gráfico corresponden a equipos que poseen una alta tasa de fallas, y una alta tasa de tiempo de reparación. El listado de equipos es el siguiente:

- Equipo 8, Caldera N°1.
- Equipo 11, Caldera N°3.
- Equipo 9, Caldera N°2.
- Equipo 7, Quemador caldera N°3.
- Equipo 1, Bomba de calor 01.
- Equipo 14, Manifold N°02.

Las calderas corresponden a las máquinas que presentaron la mayor tasa de frecuencia de fallas y tasa en el tiempo de reparación, lo que convierte a estas máquinas en críticas, es decir, su detención afecta en gran medida a la mantenibilidad y continuidad del proceso. Por lo que se deberá dar un énfasis mayor a la hora de determinar las actividades del mantenimiento y frecuencia, para lograr disminuir los indicadores MTTR y Lím Cant Fallas.

Respecto a la naturaleza de la falla en las calderas, es correcto afirmar que es más complicado disminuir los tiempos de reparación que la frecuencia de fallas, debido a que en algunas ocasiones es necesario mantener las calderas fuera de operación, llegando incluso a 3 días de detención hasta el momento de realizar la mantención. Esto es debido a que principalmente en las calderas de producción de vapor saturado, en su interior existe una gran cantidad de energía acumulada, y la disipación completa de la energía se logra en un plazo máximos de 3 días, por experiencia, el proceso se puede adelantar si hay un aumento de las purgas para facilitar la disipación de la energía en el interior de las calderas.

Lo más factible será proyectar llevar a las calderas al cuadrante II, donde la frecuencia de fallas es más baja que el promedio, pero con una tasa de tiempo de reparación sobre o en el límite del promedio.

El equipo N°7, que corresponde al quemador de la caldera N°3, es un equipo donde sí se puede proyectar al cuadrante donde se encuentran las fallas con variables bajo al promedio de la frecuencia de fallas y tiempos de reparación.

Para los equipos representados en la simbología como (N°1) bomba de calor N°1, y equipo (N°14) manifold N°2, las variables se encuentran en los límites de N° fallas y MTTR, por lo que el plan de mantenimiento deberá ir enfocado a dejar las variables bajo los promedios de los indicadores.

#### 2.4.2. Equipos y máquinas presentes en el II cuadrante (agudos)

Los equipos presentes en el II cuadrante del gráfico corresponden a equipos que poseen una alta tasa de fallas menor al promedio, y una alta tasa de tiempo de reparación mayor al promedio. El listado de equipos es el siguiente:

- Equipo N°2, bomba de calor N°2.
- Equipo N°3, bomba de calor N°3.
- Equipo N°12, Intercambiador de calor.

La interpretación de la gráfica señala que las fallas ubicadas en este cuadrante, es un factor para considerar en la creación de las nuevas bases, que irán orientadas a bajar la frecuencia de las fallas de los equipos mencionados, es importante mencionar que las variables se encuentran proyectados por debajo de la línea ISO-Indisponibilidad, por lo que, en la situación actual, no representa un problema la disponibilidad del proceso.

#### 2.4.3. Equipos y máquinas presentes en el IV cuadrante (críticos)

Los equipos presentes en el IV cuadrante del gráfico corresponden a equipos que poseen una alta tasa de fallas, mayor al promedio, y una tasa de tiempo de reparación menor al promedio. El listado de equipos que se encuentran en el cuadrante es el siguiente:

- Equipo N°5, quemador caldera N°1.
- Equipo N°6, quemador caldera N°2.
- Equipo N°16, Manifold N°4.

Respecto a los quemadores ubicados en el III cuadrante, con disminuir la tasa de fallas podemos proyectar los quemadores por debajo de la línea ISO-Indisponibilidad, y disminuir los problemas de disponibilidad por detenciones correctivas. Respecto al manifold N°4, lo más factible será proyectar mover la variable por debajo de la línea ISO-Indisponibilidad, disminuyendo principalmente la frecuencia de fallas, debido a que los tiempos de reparación son relativamente bajos en comparación a la cantidad de fallas registradas.

#### 2.4.4. Equipos y máquinas presentes en el III cuadrante

Los equipos presentes en el III cuadrante del gráfico corresponden a equipos que poseen una tasa de fallas y tiempos de reparación, por debajo del promedio y debajo de la línea ISO-Indisponibilidad, por lo que las detenciones de los equipos y maquinas, no representa un riesgo a la disponibilidad del sistema, y son corresponden a:

- Equipo N°4, bomba de calor N°4.
- Equipo N°10, economizador caldera N°2.
- Equipo N°13, manifold N°1.
- Equipo N°14, manifold N°2.
- Equipo N°17, manifold N°5.
- Equipo N°18, estanque alimentación caldera N°2.
- Equipo N°19, estanque alimentación caldera N°3.

#### 2.4.5. Equipos y máquinas ubicados sobre línea ISO-Indisponibilidad

La interpretación de la recta es simple, todos los equipos que se encuentren por sobre la recta ISO-Indisponibilidad, presentan una indisponibilidad mayor a la esperada, lo que podría generar interrupciones en la producción de la central térmica.

#### 2.4.6. Priorización del mantenimiento

De todos los equipos y máquinas que están encargadas del proceso de producción de la central térmica, los tienen prioridad al momento de realizar las mantenciones preventivas para disminuir los índices MTTR, y tasa frecuencia de Fallas, corresponden a las 3 calderas. En un segundo lugar la priorización de las nuevas bases técnicas deberá ir orientadas en los cinco surtidores (manifold).

Si bien las bombas de calor presentan variables en el cuadrante crítico-agudo, se puede continuar con la producción de agua caliente mediante el uso de intercambiadores industriales, diferente situación para las calderas, debido a que, si se presenta una detención por falla correctiva, el riesgo de la detención de la producción se ve amenazado por los altos índices expresados en el gráfico Jack-Knife.

La jerarquización de fallas de los equipos mencionados anteriormente, permiten proyectar los servicios de mantenimiento preventivo con una frecuencia bimensual-semestral-anual. Los cuales estarán definidos en la elaboración de las bases técnicas en el capítulo siguiente.

**CAPÍTULO 3: ELABORACIÓN BASES TÉCNICAS.**

### 3. BASES TÉCNICAS

Los aspectos que cubre un contrato de licitación son administrativos, económicos, y técnicos, las bases técnicas para el mantenimiento a la central térmica y subestaciones recogen las prescripciones técnicas que regirán la contratación del servicio de mantenimiento preventivo, correctivo, y disponibilidad de equipo de asistencia de emergencia 24/7.

Mantener la continuidad de la producción de la central térmica y redes de vapor y agua caliente es una necesidad determinante para el funcionamiento diario del Hospital, ya que compromete servicios de alta complejidad. Las pautas mínimas de mantenimiento de las bases técnicas tendrán como referencia el Decreto Supremo N°10 “Aprueba reglamento de calderas, autoclaves y equipos que utilizan vapor de agua”, y manuales disponibles de los equipos térmicos de la sala de máquinas.

#### 3.1. REQUERIMIENTOS TIEMPOS TRABAJO SALA DE MÁQUINAS

Se presenta en la figura XI un esquema que representa la distribución de tiempo de las máquinas encargadas de la producción de la central térmica.

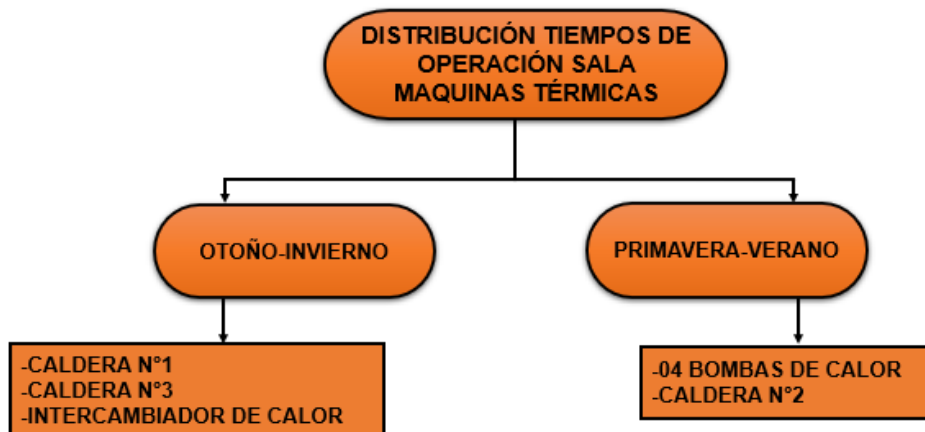
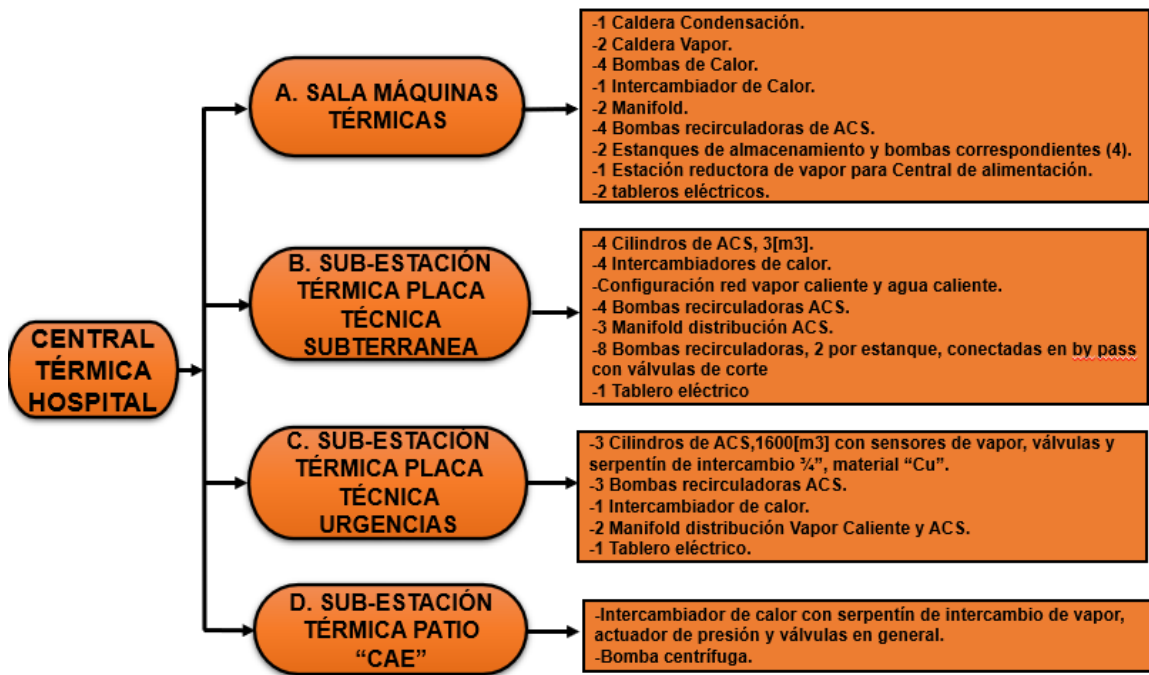


Figura XI: (3.1) Distribución de tiempos, máquinas térmicas

El tiempo total que se requiere disponible los equipos presentes en el esquema es de 4380 horas, lo que corresponde a 6 meses del año. En base al gráfico Jack-Knife, representado en la Figura X, las nuevas bases técnicas requerirán un trabajo preventivo bimensual, semestral y anual a todos los equipos y máquinas encargados de la producción, y que se encuentren en el cuadrante I del gráfico Jack-Knife elaborado.

### 3.2. CENTRAL TÉRMICA Y SUBESTACIONES

Ya se conocen las máquinas que trabajan en la producción de la sala de máquinas de la central térmica, y las subestaciones corresponden a lugares alejados de la sala de máquinas, pero que se encuentran conectadas a través de una red de vapor y agua caliente, además de una infinidad de accesorios incluidos en los metros de tubería. En el siguiente esquema representado en la Figura XII, se puede evidenciar como se encuentra constituida la central térmica.



Fuente: Elaboración propia mediante Power Point.

Figura XII: (3.2) Central térmica y subestaciones

### 3.3. BASES TÉCNICAS PARA EL MANTENIMIENTO CENTRAL TÉRMICA

Las prestaciones de las nuevas bases técnicas podrán ser aclaradas mediante el portal público o en la visita a terreno designada, si la ofertante estima oportuno.

El alcance de las bases técnicas define los servicios de mantenimiento preventivo, mantenimiento correctivo, asistencia de emergencia 24/7, para los próximos 36 meses.

La metodología de las bases técnicas busca que el ofertante exprese claramente la gestión del mantenimiento a implementar para la prestación del servicio requerido, y que deberá contar como mínimo de los siguientes apartados, considerados como básicos y necesarios para la consecución de los objetivos de calidad que pretende el departamento de Operaciones del Hospital San Juan de Dios de Los Andes.

### 3.3.1. Informes y documentación técnica sobre instalaciones

El adjudicatario comprobará y realizará en un plazo máximo de 2 meses, desde la firma del contrato, un informe con todas las intervenciones correctivas necesarias para implementar el plan de mantenimiento preventivo, y deberá presentar un resumen con toda la información técnica y organizada de los tiempos de reparación por cada elemento intervenido.

Así mismo y en idéntico plazo, el ofertante elaborará un documento detallando el estado de todas las instalaciones, tanto desde el punto de vista técnico como legal: fechas últimas pruebas hidrostáticas, control emisión de gases, estado agua alimentación calderas de vapor saturado, y brechas existentes de acuerdo con el DS10. Lo no considerado en este informe y correspondiente a las instalaciones objeto de esta licitación, será aceptado tácticamente por el adjudicatario como correcto, pudiendo ser exigida por el departamento de Operaciones para la posterior corrección de defectos y anomalías detectadas y no señaladas en el informe.

### 3.3.2. Mantenimiento preventivo

En las ofertas técnicas se indicarán las actuaciones de mantenimiento preventivo que el adjudicatario llevará a cabo sobre las instalaciones objeto del servicio y sus equipos componentes, de forma programada, y en las que buscará cubrir riesgos de indisponibilidad. Las actividades que incluye el mantenimiento preventivo son:

- I. Limpieza.
- II. Lubricación
- III. Ajustes.
- IV. Reparaciones generales.
- V. Reparaciones específicas.
- VI. Soldaduras, pinturas y acabados.
- VII. Inspecciones.
- VIII. Reemplazo de elementos deteriorados (pernos, empaquetaduras, instrumentación, válvulas, cabezales, entre otros).

Cuando las revisiones preventivas dejen al descubierto partes sujetas a deterioro del material, desgaste, o que dejen de cumplir con su función en la instalación, el proveedor deberá informar la situación al departamento de Operaciones, para proceder a la planificación y ejecución del mantenimiento correctivo.

Sin perjuicio de los aspectos mencionados anteriormente respecto al mantenimiento preventivo, además se realizarán todas aquellas intervenciones que fueran precisas para que la central térmica se encuentre en perfecto estado de funcionamiento.

El adjudicatario estará obligado a la elaboración, en el plazo máximo de 2 meses, desde la adjudicación del servicio, del “Manual del Mantenimiento Preventivo”, que define la estrategia a desarrollar para bajar los índices de mantenibilidad representados en el gráfico Jack-Knife, y que deberá estar basado en el Anexo N°2. Se adjunta al presente trabajo de título el Anexo N°2 “Actividades mínimas del mantenimiento preventivo equipos críticos-agudos”, documento que resume las actividades del mantenimiento bimensual, semestral y anual, a cada equipo que se encuentra en I cuadrante del gráfico Jack-Knife.

En la oferta técnica el ofertante deberá también indicar las pautas mínimas de mantenimiento al resto de los equipos que constituyen la totalidad de la central térmica y subestaciones.

Las mantenciones preventivas deberán realizarse durante los primeros 10 días de cada mes, y el proveedor deberá hacer ingreso al recinto hospitalario a más tardar 11:00 [AM]. Además, después de cada intervención deberá entregar al departamento de Operaciones un informe escrito con los datos relacionados al trabajo realizado, el informe contendrá como mínimo datos relativos al tiempo, detalle de la actividad, recomendaciones, entre otros. El documento será básicamente una base de datos que resuma y refleje de forma clara y comprensible, el estado y actuaciones realizadas sobre las distintas instalaciones. Cada concursante expondrá el esquema de informe que considere más adecuado.

### 3.3.3. Mantenimiento correctivo

Consistirá en la reparación o sustitución si aquella no fuera posible de las partes o elementos averiados de las instalaciones objeto del servicio. Este criterio será válido también en el caso de que en el transcurso de una mantención preventiva a criterio del adjudicatario junto al departamento de Operaciones estimen necesario realizar una intervención correctiva. Asimismo, también quedan incluidas aquellas modificaciones o actuaciones que mejoren el estado y rendimiento de las instalaciones, optimizando su funcionamiento, y mejorado los índices de mantenibilidad.

El mantenimiento correctivo será realizado sobre la totalidad de las instalaciones objeto del servicio, y que se encuentren incluidas en el informe elaborado por el adjudicatario durante los primeros meses del contrato.

Se priorizará la criticidad de la falla para la rapidez de la intervención, siendo necesario un servicio 24/7 para fallas asociadas a equipos ubicados en el primer cuadrante del gráfico Jack-Knife.

Si las reparaciones implican parada de equipos o instalaciones, riesgos de parada sobre otras instalaciones principales o dependientes en marcha, se requerirá la autorización previa del departamento de Operaciones en los horarios más idóneos a su juicio.

La estrategia de mantenimiento correctivo a implementar busca que el adjudicatario priorice la calidad del trabajo para que este sea ejecutado idealmente solo una vez.

El adjudicatario elaborará un informe para cada una de las intervenciones, incluyendo horas de trabajo, materiales utilizados y descripción pormenorizada de lo realizado.

Para manejar el control del presupuesto, y agilizar ordenes de trabajos para el periodo que dure el contrato, el proveedor deberá incluir en su oferta técnica el contenido y mecánica de actuaciones en las intervenciones del mantenimiento correctivo, tanto desde el punto de vista de tareas, como de documentación necesaria para llevarlas a cabo. A continuación, se darán una cantidad de trabajos que se han definido como estándar, y sobre ellos los proveedores darán su mejor precio por Mantenimiento Correctiva. En la siguiente tabla 3-1, se representa las tareas de reparación para la red de vapor saturado y agua caliente.

Tabla 3-1: Categorización y costo suministro y montaje red hidráulica central térmica

CATEGORIZACIÓN Y COSTO SUMINISTRO Y MONTAJE	
ITEM	DESCRIPCIÓN
1	PRECIO METRO CAÑERÍA ACERO A-53 6" Sch 40 Gr.A Y FITTING ASOCIADO
2	PRECIO METRO CAÑERÍA ACERO A-53 4" Sch 40 Gr.A Y FITTING ASOCIADO
3	PRECIO METRO CAÑERÍA DE ACERO A-53 3" Sch 40 Gr.A Y FITTING ASOCIADO
4	PRECIO METRO CAÑERÍA DE ACERO A-53 2" Sch 40 Gr.A Y FITTING ASOCIADO
5	PRECIO METRO CAÑERÍA DE ACERO A-53 1" Sch 40 Gr.A Y FITTING ASOCIADO
6	PRECIO METRO CAÑERÍA DE ACERO A-53 3/4" Sch 40 Gr.A Y FITTING ASOCIADO
7	PRECIO METRO CAÑERÍA DE ACERO A-53 1/2" Sch 40 Gr.A Y FITTING ASOCIADO
8	PRECIO METRO CAÑERÍA DE ACERO A-53 1 1/4" Sch 40 Gr.A Y FITTING ASOCIADO
9	PRECIO METRO CAÑERÍA DE ACERO A-53 1 1/2" Sch 40 Gr.A Y FITTING ASOCIADO
10	PRECIO METRO AISLACIÓN CAÑO DE LANA MINERAL, ESPESOR 76[mm]
11	PRECIO METRO AISLACIÓN ELASTOMÉRICA TIPO "K" O SIMILAR DIAMETROS 1 1/2" A 6"
12	CAMBIO MANÓMETRO 1/2" BSP, RANGO 0-16 [bar]
13	CAMBIO MANÓMETRO 1/2", INOS. 2 CUERPOS BSP
14	CAMBIO SENSOR TEMPERATURA PT-100
15	CAMBIO CONEXIÓN DN100, EMISOR DE PULSO CONT. DE AGUA
16	PRECIO UNITARIO CAMBIO VÁLVULA MARIPOSA 6" PN16, Fe. FUND, DISCO INOX
17	CAMBIO VÁLVULA BOLA 3", INOX 2 CUERPOS BSP
18	CAMBIO VÁLVULA BOLA 2", INOX 2 CUERPOS BSP
19	CAMBIO VÁLVULA BOLA 1", INOX 2 CUERPOS BSP
20	CAMBIO VÁLVULA BOLA 3/4", INOX 2 CUERPOS BSP
21	CAMBIO VÁLVULA BOLA 1/2", INOX 2 CUERPOS BSP
22	CAMBIO VÁLVULA BOLA 1 1/4", INOX 2 CUERPOS BSP
23	CAMBIO VÁLVULA BOLA 1 1/2", INOX 2 CUERPOS BSP
24	CAMBIO FILTRO "Y", 6". Fe. FUNDIDO BSP, CANASTILLO INOX.

25	CAMBIO FILTRO "Y", 3". Fe. FUNDIDO BSP, CANASTILLO INOX.
26	CAMBIO FILTRO "Y", 2". Fe. FUNDIDO BSP, CANASTILLO INOX.
27	CAMBIO FILTRO "Y" Fe. FUNDIDO BSP, CANASTILLO INOX.
28	CAMBIO FILTRO "Y" Fe. FUNDIDO BSP, CANASTILLO INOX.
29	CAMBIO CAP 3", ASTM A-234
30	CAMBIO VÁLVULA GLOBO 2" , Fe. FUNDIDO
31	CAMBIO REGULADOR DE GAS, DIN PN16
32	CAMBIO VÁLVULA DE ALIVIO 1/2"
33	CAMBIO VÁLVULA TERMOSTÁTICAS
34	CAMBIO JUNTAS HERMETICIDAD A MANIFOLD
35	CAMBIO JUNTAS HERMETICIDAD ENTRE VÁLVULAS
36	CAMBIO BOMBAS WILO CORRESPONDIENTE A BOMBAS DE CALOR
37	CAMBIO DE TRAMPAS DE VAPOR
38	REVISION Y CAMBIO DE SELLOS BOMBAS CENTRÍFUGAS
39	CAMBIO VÁLVULA ACTUADORA DE PRESIÓN
40	CAMBIO VÁLVULA SOLENOIDE
41	CAMBIO VÁLVULAS DE 3 CUERPOS CORTE RAPIDO DIAMETRO DESDE 1 1/2 A 1"

Fuente: Elaboración propia mediante Excel.

En la siguiente tabla 3-2, se representan las actividades correctivas a las máquinas térmicas, y que el ofertante deberá considerar al momento de presentar la categorización y costos de las actividades en su oferta.

Tabla 3-2: Categorización y costo suministro y montaje máquinas térmicas

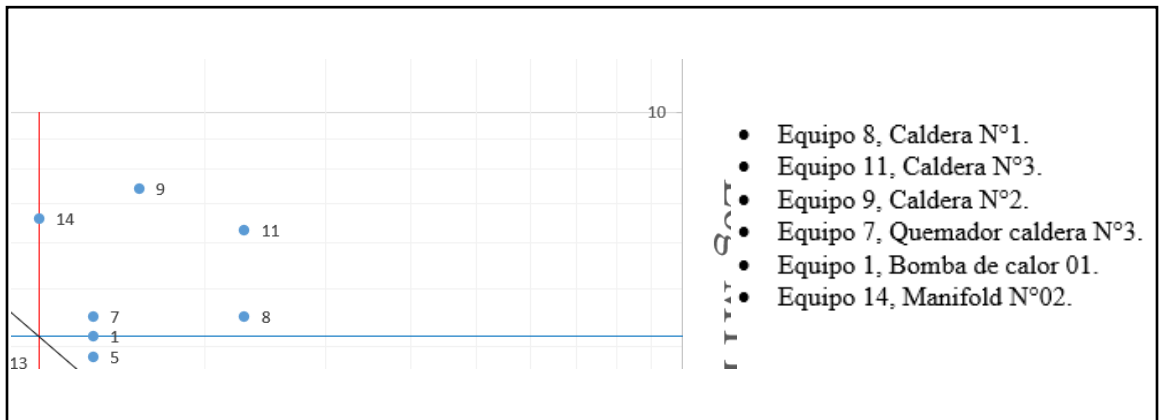
CATEGORIZACIÓN Y COSTO SUMINISTRO Y MONTAJE	
ITEM	DESCRIPCIÓN
1	CAMBIO JUNTAS HERMETICIDAD PUERTAS ACCESO A CALDERA N°1
2	CAMBIO JUNTAS HERMETICIDAD PUERTAS ACCESO A CALDERA N°2
3	CAMBIO JUNTAS HERMETICIDAD PUERTAS ACCESO A CALDERA N°3
4	REALIZACIÓN PRUEBAS DS 10 FUERA DEL PERIODO MANTENCIONES PREVENTIVAS
5	PINTURA EXTERIOR CALDERA N°3
6	RECTIFICACIÓN PUERTAS DE ACCESO A CALDERA N°1
7	RECTIFICACIÓN PUERTAS DE ACCESO A CALDERA N°2
8	RECTIFICACIÓN PUERTAS DE ACCESO A CALDERA N°3
9	TRABAJOS DE SOLDADURAS EN ESTRUCTURAS METÁLICAS
10	REPARACIÓN SOPORTES DE CALDERA N°1
11	REPARACIÓN SOPORTES DE CALDERA N°2
12	REPARACIÓN SOPORTES DE CALDERA N°3
13	REEMPLAZO TUBOS INTERIOR INTERCAMBIADOR DE CALOR
14	LIMPIEZA, AJUSTE Y CALIBRACIÓN DE INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN
15	CAMBIO VÁLVULAS DE PURGA
16	CAMBIO VÁLVULAS DE SEGURIDAD
17	CAMBIO REFRACTARIO

Fuente: Elaboración propia mediante Excel.

#### 3.3.4. Asistencia de emergencia 24/7

Consistirá en el servicio de asistencia técnicas disponible las 24 horas del día, y los 7 días de la semana. El criterio para realizar la visita de emergencia será válido para todas las instalaciones presentes en el primer cuadrante, y que afectan en gran medida a

la disponibilidad de la producción de la central térmica. En la Figura XIII, se grafican los equipos que validan el servicio de asistencia de emergencia.



Fuente: Elaboración propia mediante Excel.

Figura XIII: (3.3) Equipos críticos y agudos.

El departamento de Operaciones en sus avisos de emergencia a la empresa adjudicataria, indicará el nivel de criticidad y la respuesta vendrá determinada por las consecuencias que la avería pudiera provocar. Respecto a los tiempos de respuesta, por parte del proveedor deberán ser con un mínimo de 4 horas, mientras que el tiempo de solución de fallas serán con un mínimo de 24 horas para fallas críticas agudas.

La empresa responsable del servicio deberá presentar en su oferta técnica el listado del equipo de asistencia de emergencia, y el equipo de reemplazo correspondiente.

### **3.4. INDICADORES DE MANTENIMIENTO Y CRITERIOS DE EVALUACIÓN**

Los indicadores de mantenimiento definidos en el presente trabajo de título son los representados en el gráfico Jack-Knife, donde en base a las intersecciones entre las rectas ISO-Tasa de fallas ( límite tasa de fallas), y la recta ISO-MTTR (límite MTTR), se agruparán los equipos que presenten fallas correctivas y su tiempo de reparación, justificando la frecuencia del mantenimiento preventivo, y el servicio de asistencia de emergencia 24/7.

En síntesis, los indicadores de referencia para el mantenimiento de la central térmica corresponden a la tasa de fallas y tiempos medios de reparación en fallas correctivas.

Los criterios de evaluación para la selección de la empresa que se adjudique el servicio de mantenimiento a la central irán determinados por el cumplimiento de los requerimientos técnicos descrito en la siguiente tabla.

Tabla 3-3: Criterio evaluación ofertas

	Criterio	Porcentaje
	Cumplimiento Requerimientos Técnicos	Cumple Si/No
1	Oferta Económica	45%
2	Calidad Técnica de los Bienes o Servicios	25%
3	experiencia	30%

Fuente: Aprueba bases de licitación “Mantenimiento preventiva y correctiva de central térmica y red de sistema vapor y agua caliente del Hospital San Juan de Dios de los Andes.

Donde el criterio de evaluación mas importante corresponde a la oferta económica, ponderando un 45% del total de la evaluación final que define a la empresa que realizará el servicio requerido por el hospital. El puntaje de la oferta económica será calculado como se expresa en la siguiente Figura XIV, donde el valor será obtenido mediante la razón entre el precio mínimo de todos los oferentes, y el precio mínimo ofertado, entregando un resultado que será multiplicado por (5).

El puntaje se calculará de la siguiente manera:

**Oferta Económica:** Este criterio tiene una ponderación del **45%** respecto a la evaluación final. El cálculo de los sub criterios se efectuará de acuerdo a la siguiente fórmula y respecto de la información ingresada en el formulario N°6:

$$\text{Puntaje} = \left( \frac{\text{Min Precio entre Oferentes}}{\text{Precio Oferente } i} \right) * 5$$

Donde Min Precio entre oferentes, corresponde al mínimo precio entre oferentes y el precio oferente i corresponde al precio del oferente a evaluar puntaje.

**%Total= Puntaje Total X 45%**

Fuente: Aprueba bases de licitación “Mantenimiento preventiva y correctiva de central térmica y red de sistema vapor y agua caliente del Hospital San Juan de Dios de los Andes.

Figura XIV: (3.4) Puntaje Oferta Económica

### **3.5. DECLARACIÓN Y CUMPLIMIENTO DE LAS ESPECIFICACIONES TÉCNICAS**

Las empresas interesadas de prestar el servicio requerido la licitación, y que se encuentran descritas en las bases técnicas, deberán presentar sus ofertas el formulario que declara y obliga a cumplir las especificaciones técnicas descrita en las bases, para evidenciar explícitamente que aceptan el conocimiento de las especificaciones técnicas requeridas en las bases para la licitación del servicio de mantenimiento preventivo y

correctivo de la central térmica y subestaciones del recinto hospitalario. Se adjunta en la tabla 3-4 la declaración y cumplimiento de las especificaciones técnicas.

Tabla 3-4: Declaración cumplimiento de EETT

<b>DECLARACION CUMPLIMIENTO DE ESPECIFICACIONES TECNICAS</b>					
<b>1</b>	<b>REQUERIMIENTOS</b>	<b>TIPO DE PARÁMETRO</b>	<b>CUMPLIMIENTO</b>		<b>OBSERVACIONES</b>
			<b>SI</b>	<b>NO</b>	
1.1	Presentar organigrama de la empresa, junto a CV y medios de experiencia comprobable para profesionales relacionados a trabajos de mantenimiento.	OBLIGATORIO			
1.2	Establecer presupuesto de las tareas a ejecutar.	OBLIGATORIO			
1.3	Establecer presupuesto de los repuestos y piezas a cambiar.	OBLIGATORIO			
1.4	Establecer presupuesto por cada mantenimiento preventivo a cada elemento que se considere dentro de la central térmica.	OBLIGATORIO			
1.5	Establecer equipo de trabajos y máquinas a considerar por cada trabajo de mantenimiento.	OBLIGATORIO			
1.6	Respaldar cambio insumo hidráulico mediante análisis de agua procesada por el tratamiento respectivo , según DS10	OBLIGATORIO			
1.7	Garantizar supervisión 24/7 a equipos críticos agudos.	OBLIGATORIO			
1.8	Garantizar actitud proactiva de trabajo para	OBLIGATORIO			
1.9	Garantizar mantenimientos preventivos los primeros 10 días de cada mes que corresponda.	OBLIGATORIO			
1.10	Garantizar suministros de repuestos cuando sea necesario.	OBLIGATORIO			
<b>2</b>	<b>PLAN DE CONTINGENCIA</b>				
2.1	Presentar equipo de trabajo de respuesta rápida para emergencias las 24 horas.	OBLIGATORIO			
2.2	Presentar equipo de reemplazo para trabajos de respuesta rápida para emergencia las 24 horas	OBLIGATORIO			
2.3	Conocer reglamento y normas de seguridad y trabajos en instalaciones con máquinas térmicas	OBLIGATORIO			
<b>3</b>	<b>DOCUMENTOS Y PROCEDIMIENTOS</b>				
3.1	Procedimiento para intervención de suministros Hidráulicos	OBLIGATORIO			
3.2	Procedimiento de Llamado y atención de Emergencia	OBLIGATORIO			
3.7	Entregar informe técnico por cada uno de los elementos intervenidos en mantención preventiva, correctiva y asistencia de emergencia	OBLIGATORIO			
3.8	Entregar manual del mantenimiento en base al Anexo N°2.	OBLIGATORIO			

Fuente: Elaboración propia mediante Excel.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Al realizar el presente trabajo de título se pueden obtener las siguientes conclusiones respecto a los objetivos definidos

- I. Se reconoce el proceso de producción de la central térmica realizado en la sala de máquina, gracias a la elaboración del flowsheet asociado a la producción de vapor saturado y agua caliente, que representa gráficamente la distribución de los flujos de salida y entrada de cada máquina térmica y surtidores correspondientes. Además, se resalta la importancia de los sectores que dependen de la producción de la sala de máquinas de la central térmica, ya que sin su funcionamiento no podrían prestar los servicios que se realizan todos los días en el recinto de salud de alta complejidad.
- II. Gracias a la aplicación del cálculo dispersión logarítmico Jack-Knife, se pudo jerarquizar las máquinas y equipos de la sala de máquinas que sufrieron fallas correctivas durante el año 2020. Una vez obtenido el cálculo con las variables tasa de fallas y tiempos de reparación, se justifica comenzar a priorizar los trabajos de mantenimiento preventivo a los equipos ubicados en el I cuadrante (crítico-agudo) del gráfico, para reducir la frecuencia de fallas, tiempos medios de reparación por equipos, y problemas de indisponibilidad mayor a la esperada.
- III. Se reconoce los aspectos de las bases técnicas para la nueva licitación de la central térmica y subestaciones, definiendo los servicios de mantenimiento preventivo con una frecuencia de trabajo bimensual – semestral – anual, además de servicios correctivos y visita de emergencia las 24 horas, 7 días a la semana, por los próximos 3 años. Las bases técnicas buscan bajar los indicadores de mantenimiento “promedio tasa de fallas” y “MTTR”, además de agrupar las fallas por debajo de la recta ISO-Indisponibilidad. Así mismo, se presenta la declaración de cumplimiento de las especificaciones técnicas descrita en las nuevas bases elaboradas, siendo este uno de los requisitos de las empresas al momento de postular, ya que deja en evidencia que conoce las bases técnicas de la licitación a postular. La empresa que se adjudique el servicio será evaluada según un criterio de evaluación, donde la oferta económica resulta determinante.
- IV. Al iniciar con la recolección de datos no se pudo encontrar los tiempos totales fuera de servicio, los cálculos del gráfico solamente consideran los tiempos fuera de servicio por reparaciones. Los valores de indisponibilidad representados en el gráfico resultan bajos respecto al real impacto que genera la detención de un equipo ubicado en el I cuadrante del gráfico, sin embargo, la tendencia de los resultados no escapa de la realidad. Las máquinas ubicadas en el cuadrante de fallas críticas-agudas corresponden a las calderas presentes en la sala de máquinas, y específicamente para el caso las calderas de producción de vapor y manifold de

vapor saturado, la tasa de tiempos medios de reparación es más alta que el promedio, y se justifica debido a las pruebas de presión al momento de colocar en marcha la producción y distribución de vapor saturado. Se recomienda realizar recopilación de datos de parada total y dejar registro desde el instante que se cierre el proceso de postulación del servicio definido en las bases técnicas.

La licitación fue subida al portal público durante el mes de abril y cerrada en el mes de mayo del presente año 2021, la ID de la licitación se encuentra disponible como “617807-17-LP21”, se encuentran disponible el seguimiento de todos los trabajos planificados entre el departamento de Operaciones y la empresa que se adjudicó el servicio, trabajando continuamente para ir mejorando la mantenibilidad de la central.

## BIBLIOGRAFÍA

- [01] Andreani, A. A. (2005). *Manual de Gestión*. Santiago: RIL
- [02] APRUEBA REGLAMENTO DE CALDERAS, AUTOCLAVES Y EQUIPOS QUE UTILIZAN VAPOR DE AGUA (2 de marzo de 2012). *Biblioteca nacional*. Obtenido de <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1055319>
- [03] Knights., P. (2004). Downtime Priorities, Jack-knife Diagrams, and the . *Maintenance Journal* , 14-21
- [04] Pablo Viveros. Raúl Stegmaier, Fredy Kristjanpoller, Luis Barbera, Adolfo Crespo. (05 de Julio de 2013). Propuesta de un modelo de gestión de mantenimiento y sus principales herramientas de apoyo. *Scielo*, [https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S071833052013000100011](https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S071833052013000100011)
- [05] RETAMAL, S. E. (2017). "GENERACIÓN Y DESARROLLO DE UN PLAN" . VALPARAISO: MEMORIA DE TITULACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL, UNIVERSIDAD TÉCNICO FEDERICO SANTA MARIA.
- [06] Constanza Alicia MENDOZA RÍOS. (2014). "ESTUDIO DE FACTIBILIDAD EN LA IMPLEMENTACIÓN DE MANTENIMIENTO BASADO EN CONFIABILIDAD APLICADO A EQUIPOS MÉDICOS CRÍTICOS ". CONCEPCIÓN: MEMORIA DE TITULO INGENIERO CIVIL BIOMÉDICO, UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN.

## ANEXOS

Ambos anexos se encuentran resumidos para enfocar la información a lo requerido en el presente trabajo de título, sin embargo, se pueden encontrar disponibles en el portal del mercado público con la ID 617807-17-lp21, accediendo a los documentos adjuntos donde se encuentran las bases administrativas, técnicas, económicas y anexos de bases técnicas de la licitación del servicio “MANTENCIÓN PREVENTIVA Y CORRECTIVA DE CENTRAL TÉRMICA Y RED SISTEMA VAPOR Y AGUA CALIENTE DEL HOSPITAL SAN JUAN DE DIOS DE LOS ANDES”

### ANEXO N°1: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS SALA DE MÁQUINAS

#### Sala de máquinas térmicas.

Las especificaciones técnicas de las unidades térmicas son las siguientes:

#### Caldera N°1 de Agua Caliente de Condensación

Marca SCHUSTER, modelo KDE 1820.

Potencia térmica útil de 1820 [kW].

Rendimiento 107% (a carga nominal).

Procedencia, Italia.

Quemador Caldera de Agua Caliente de Condensación.

Marca BALTUR, modelo TBL 200 MC.

Potencia 450-2000 [kW].

Tipo de combustible, gas natural.



*Caldera N°1, de Agua Caliente de Condensación y Quemador.*

#### Caldera N°2 de producción de vapor con economizador.

Marca ICI CALDIE, modelo SIXEN 1350.

Producción 1350[kVh].

Potencia útil 1022[kW].

Eficiencia 90%

**Última prueba hidrostática 13-10-2019.**

Economizador Caldera N°2.

Marca ICI CALDAIE, modelo ECXV 8-12.

Eficiencia de operación en torno 4%.

Procedencia Italia.

Quemador Caldera N°2.

Marca BALTUR, modelo TBL120MC.

Potencia 250-1200[kW].

Tipo combustible, gas natural.



*Caldera N°2, de Vapor Caliente y Quemador.*

Caldera N°3 de producción de vapor.

Marca Vapor Industrial (VISA), tipo Escocesa.

Capacidad de producción 4500[kVh].

Superficie de calefacción [144m<sup>2</sup>].

**Última prueba hidrostática realizada 25 marzo 2021.**

Quemador caldera N°3.

Marca BALTUR, modelo COMIST 300.

Potencia 1304-3878[kW].

Tipo combustible, gas natural.



*Caldera N°3, de Vapor Caliente y Quemador.*

Bombas de calor con ciclo de absorción [4 unidades].

Marca ROBUR, modelo GAHP-A.

Potencia térmica por bomba 38.3[kW].

Eficiencia de combustible hasta 164%.

Procedencia Italiana.

Bombas de recirculación primaria.

Marca bombas recirculación WILO, modelo TF110.



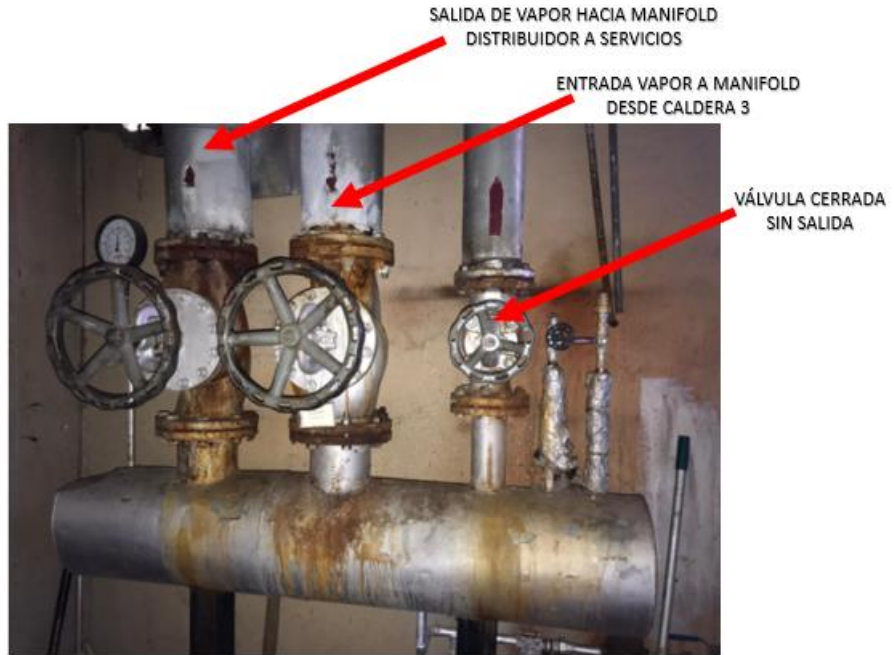
*Bombas de Calor.*

Intercambiador de calor, condensador industrial Vapor-ACS.

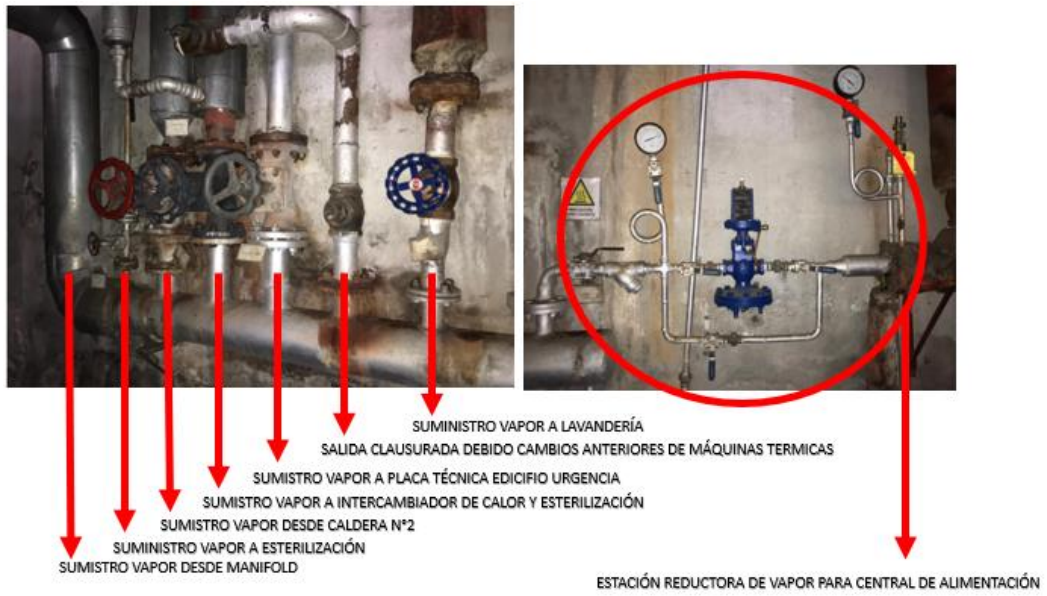


*Intercambiador de Calor.*

Manifold distribuidor vapor N° 3, desde caldera 3.



Manifold distribuidor a servicios de vapor.



Panel de control de mando caldera N°1, N°2 y bombas de calor.



*Panel de control caldera N° 1 y 2, y bombas de calor*

Panel de control de mando caldera número 3 y bombas de estanque suministro de agua.

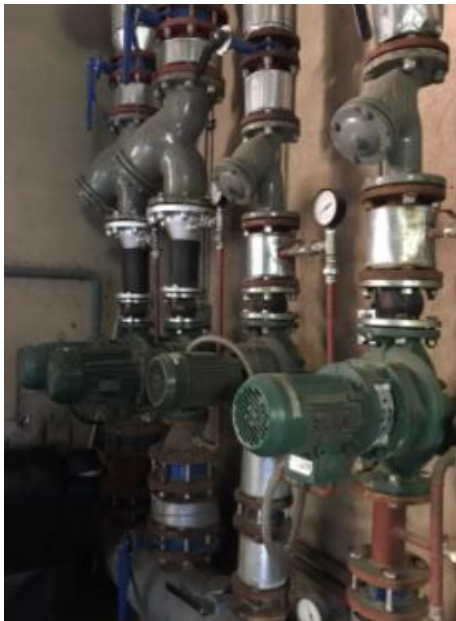


*Panel de control, caldera N°3 y bombas alimentación.*

04 Bombas hidráulicas impulsadoras del circuito primario y secundario de Agua Calientes.

Marca DAB.

Temperatura máxima de ambiente de trabajo 40 [°C].



*Bombas recicladoras Agua Caliente*

Estanques almacenamiento agua para calderas N°2 y N°3.



*Estanque almacenamiento agua para caldera N°2*



*Estanque almacenamiento agua y bombas alimentación para caldera N°3*

**ANEXO N°2: PAUTAS MÍNIMAS DE MANTENIMIENTO EQUIPOS CRÍTICOS AGUDOS**

**1 Pautas mínimas de mantenimiento calderas.**

<b>CALDERAS</b>		
<b>MANTENCION ANUAL</b>		
ITEM	DESCRIPCIÓN	PORQUÉ SE DEBE REALIZAR
1.1	Inspección en frío, con caldera parada.	Para verificar apertura de todos los registros en el lado de agua y gases.
1.2	Limpieza química del lado de agua y gases.	Para eliminar incrustaciones, sedimentos calcareos, hollín, y así aumentar eficiencia de energía.
1.3	Inspección del estado de la caldera respecto a la aparición de corrosión.	Evaluar si el tratamiento del agua que se ha aplicado es correcto o mejorable.
1.4	Comprobar estado de elementos indicadores de parámetros de trabajo de la caldera, sustituir si es necesario.	Para asegurar correcta lectura de parámetros de trabajo mencionados.
1.5	Realizar medición de espesor con ultrasonido en cuerpo a presión de la caldera.	Para determinar si material soporta trabajo bajo presión y temperatura.
1.6	Cambiar juntas de estanqueidad en aperturas de inspección.	Para asegurar buen estado del material sometido a altas presiones de trabajo.
1.7	Realizar prueba hidrostática.	Para asegurar trabajo de caldera con presiones y temperaturas altas.
1.8	Realizar prueba de funcionamiento con quemador.	Verificar funcionamiento actuadores de seguridad de alarmas.
<b>MANTENCION SEMESTRAL</b>		
ITEM	DESCRIPCIÓN	PORQUÉ SE DEBE REALIZAR
1.1	Comprobar estado de las partes que tienen refractario.	Para verificar si resisten altas temperaturas sin descomponerse.
1.2	Inspección interna en el lado del agua y gases.	Para asegurar buen estado del material y asegurar eficiencia térmica.
1.3	Inspección estado del material de juntas de estanqueidad. Reemplazar si es necesario.	Para asegurar hermeticidad en el sistema de caldera.
1.4	Inspección bombas alimentación de aguas	Para asegurar suministros de agua a la caldera.

MANTENCION BIMENSUAL		
ITEM	DESCRIPCIÓN	PORQUÉ SE DEBE REALIZAR
1.1	Inspección general a caldera	Para verificar presencia de fugas de vapor caliente, agua caliente, gases de combustión, estado perno, flanges, puertas, entre otros.
1.2	Pruebas de accesorios de instrumentación de caldera	Para asegurar correctas lecturas de parámetros de trabajos.
1.3	Inspeccionar estado de la red de distribución, incluyendo aislación térmica.	Para evitar pérdidas de presión en red de cañerías conectadas en la caldera.
1.4	Prueba de funcionamiento del paro con interruptor de emergencia.	Para asegurar funcionamiento botón paro emergencia.
1.5	Prueba de paros de niveles de agua.	Para asegurar detección automática ante niveles de agua incorrectos en el trabajo de caldera.
1.6	Comprobar estanqueidad en aperturas de inspección.	Para manejar registro estado de juntas y mantener hermeticidad de caldera.
1.7	Inspección y prueba válvulas de seguridad	Para asegurar funcionamiento válvula seguridad.
1.8	Inspección válvulas de caldera	Para asegurar control de flujos de trabajo.

Posterior a cualquier trabajo de mantenimiento o fallas producidas y en base al artículo 42 del Decreto Supremo N10, se establecen las siguientes tareas:

- A. Revisión interna y externa de caldera.
- B. Prueba hidrostática.
- C. Prueba de la válvula de seguridad.
- D. Prueba de acumulación de vapor.
- E. Revisión de la red de distribución de vapor, componentes y accesorios.
- F. Pruebas especiales.

Las tareas indicadas con las letras A), B), C), D) y E) del artículo presente, deberán ser ejecutadas al término de mantenimientos que generen una parada en el funcionamiento de la máquina y requieran una puesta en marcha. Además, se incluyen tareas de reparaciones de reforzamientos o transformación en la estructura del material.

La tarea indicada con la letra F), se deberá ejecutar cuando la autoridad sanitaria mediante un profesional facultado lo estimen necesario.

La tarea indicada con la letra E), se deberá ejecutar cuando la instalación sufra daños consecuencias de terremotos, o esfuerzos mecánicos imprevistos en el diseño

### **1.1 Descripción pautas mínimas de mantenimiento preventiva calderas.**

#### **Mantenimiento anual.**

- 1 Inspección en frío, con caldera parada: Actividad de mantenimiento de frecuencia anual, de gran importancia para detectar problemas de aparición de impurezas en el interior de la caldera. Es necesario considerar más de un día para ejecutar este trabajo ya que se deberá apagar la máquina y esperar que la energía calorífica sea disipada en

su totalidad. Una vez abierta la caldera se podrá inspeccionar su interior en frío y verificar la existencia de impurezas acumuladas en la superficie de transferencia térmica, disminución del material producto de la corrosión, reducción de tubos por la erosión, presencia de grietas en el material, y así toda una serie de problemas surgidos por el funcionamiento de la caldera.

- 2 Limpieza química del lado del agua y gases: Actividad de mantenimiento de frecuencia anual que corresponde a un proceso químico que elimina depósitos calcáreos, óxidos, hollín, entre otros. Es un agente químico (ácido desincrustante) capaz de disolver carbonatos duros, carbonilla y bicarbonatos con desprendimiento de agua y dióxido de carbono, ya sea mediante cepillo, o pulverizado.
- 3 Inspección del estado de la caldera respecto a la aparición de corrosión: Actividad de mantenimiento de frecuencia anual, consiste en revisar en el interior y exterior de la caldera la posibilidad de encontrar cualquier tipo de corrosión en el material de la máquina, además se dejará registro de la última vez que se inspecciona y verifica la existencia de corrosión, para que en la próxima vez que se ejecute ésta tarea se pueda evaluar si el tratamiento de aguas ha sido el correcto en base a la aparición de corrosión o no.
- 4 Comprobar estado de elementos indicadores de parámetros de trabajo de la caldera, sustituir si es necesario: Actividad de mantenimiento anual que consiste en verificar el funcionamiento de manómetros, termostatos, sensores McDonnell, presostatos, termómetros, buen estado tubo de nivel de agua, y todos los elementos que indican operaciones de trabajo en las calderas. Se deberán reemplazar si no están cumpliendo su función.
- 5 Realizar medición de espesor con ultrasonido en cuerpo a presión de la caldera: Actividad de mantenimiento anual que consiste en verificar si el material no ha perdido espesor durante el uso constante de la máquina entre 1 año a otro.
- 6 Cambiar juntas de estanqueidad en aperturas de inspección: Actividad de mantenimiento anual que consiste en cambiar todas las juntas en uniones de aperturas de la caldera. Si es necesario se debe rectificar superficies antes de colocar empaquetaduras nuevas.
- 7 Realizar prueba hidrostática: Actividad de mantenimiento anual que consiste en someter a presión la caldera con agua y comprobar hermeticidad de la presión que deberá sostener por un tiempo establecido.
- 8 Realizar prueba de funcionamiento con quemador: Última actividad de mantenimiento anual consiste en colocar en marcha la máquina térmica y obligar a los actuadores de seguridad la activación de alarmas y detección automática, para verificar que sistemas funcionen.

#### Mantenimiento semestral.

1. Comprobar estado partes que tienen refractario: Actividad de mantenimiento semestral que consiste en una inspección visual en las partes que deben resistir la acción del fuego directamente, observando la integridad del material y si hay presencia de grietas. Se deberá reforzar las zonas de boca de acoplamiento quemador, tapón de registro y acceso al hogar, si el material se encuentra deteriorado.
2. Inspección interna en el lado del agua y gases: Actividad de mantenimiento semestral que consiste en verificar el buen estado en la superficie de transferencia térmica, si la superficie se encuentra contaminada, será necesario realizar limpieza. Para esta tarea es importante considerar más de un día de trabajo, ya que la caldera deberá parar sus funciones y la energía calorífica total deberá ser disipada en el transcurso de un tiempo determinado.
3. Inspección estado del material de juntas de estanqueidad: Actividad de mantenimiento semestral que consiste en verificar el buen estado de todas las juntas de hermeticidad que presenta la caldera, se deben reemplazar si se encuentran con un evidente deterioro.
4. Inspección a bombas de alimentación de aguas: Tarea de mantenimiento semestral que consiste en verificar temperatura de cojinetes de las bombas del sistema de alimentación de agua, limpieza y lubricación de cojinetes, y verificar correcto funcionamiento de bombas sin la presencia de anomalías como ruidos, vibraciones, sobre temperatura.

#### Mantenimiento bimensual.

1. Inspección general a caldera: Actividad de mantenimiento bimensual que consiste en revisar máquina térmica cuidadosamente mientras se encuentra en funcionamiento, para verificar presencia de fugas del fluido de trabajo, gases de combustión en chimenea. Además, se deberá revisar estado del material de pernos, franges, puertas, válvulas de seguridad, e intervenir para reparar fallas, si es necesario.
2. Prueba de accesorios de instrumentación de caldera: Actividad de mantenimiento bimensual que consiste en registrar todos los parámetros de trabajos asociados a la producción de la caldera y compararlos con los datos de la mantención anterior, se deberá calibrar o reemplazar si algún elemento no cumple con su función (manómetros, termostatos, presostatos, sensores McDonnell, entre otros).
3. Inspección estado de la red de distribución, incluyendo aislación térmica: Actividad de mantenimiento bimensual que consiste en verificar buen estado del material de cañerías tanto de entrada como salida de la máquina térmica, considerando también, el buen estado del material aislante de la cañería. Intervenir a reparación si es necesario.
4. Prueba de funcionamiento del paro con interruptor de emergencia: Actividad de mantenimiento bimensual que consiste en accionar paro de la caldera mediante interruptor de emergencia y verificar funcionamiento de este.

5. Prueba de paro de niveles de agua: Actividad de mantenimiento bimensual que consiste en manipular niveles de agua de tal manera que se puedan activar alarmas de seguridad tanto para alto o bajo nivel, para asegurar que sistema de emergencia se encuentra funcional.
6. Comprobar estanqueidad en aperturas de inspección: Actividad de mantenimiento bimensual que consiste en verificar estado de juntas observando detalladamente el estado del material, presencia de fugas, paralelismo en las superficies cuando se encuentran cerradas, entre otros. Reemplazar juntas si es necesario.
7. Inspección válvulas de caldera: Actividad de mantenimiento bimensual que consiste en verificar buen estado y funcionamiento de todas las válvulas de la caldera, incluyendo válvulas de seguridad, solenoides. Revisando apertura y cierre para el caso de las válvulas de seguridad, mientras que para las válvulas solenoides se recomienda revisar conexionado eléctrico y activo funcionamiento manual si la válvula lo permite.

## **2. Pautas mínimas de mantenimiento preventivo quemadores.**

MANTENCION ANUAL QUEMADORES		
ITEM	DESCRIPCION	PORQUÉ SE DEBE REALIZAR
1.1	Inspección visual electrodos del cabezal de combustión.	Para asegurar buen inicio de la combustión del quemador.
1.2	Inspección visual disco de la llama del cabezal de combustión.	Para detectar eventuales deformaciones.
1.3	Inspección visual componentes del cabezal de combustión.	Para asegurar buena mezcla de aire y combustible.
1.4	Inspección junta aislante (reemplazar si es necesario)	Para verificar estanqueidad.
1.5	Limpieza y lubricación cojinetes de la clapeta del aire.	Para evitar un aumento de energía para el flujo del aire.
1.6	Limpieza ventilador de aire.	Para mejorar eficiencia movimiento del flujo del aire.
1.7	Limpieza toma y conductos de presión del aire.	Para mejora el flujo del aire.
1.8	Limpieza sensor llama.	Para asegurar correcto monitoreo de la llama mediante sensor.
1.9	Sustituir filtro de gas	Para asegurar buena calidad de combustible en la combustión.
2	Monitoreo control [CO]-[CO2]-[Nox]-	Comparar con valores registrados en la puesta en funcionamiento de la instalación. Para detectar alguna anomalía en el funcionamiento del quemador.
2.1	Limpieza Filtro de línea	Para asegurar que filtro impida el paso de agentes contaminantes en línea.
1.11	humos.	Para detectar anomalías del humo de salida.
1.12	Calibración del encendido.	Para mejorar eficiencia energética.
1.13	Inspección al presostato del gas natural y aire.	Para asegurar diferencial trabajo correcto.
1.14	Pruebas de funcionamiento.	Para detectar anomalías en el funcionamiento del quemador.

## **2.1 Descripción pautas mínimas de mantenimientos preventivos quemadores.**

### Mantenimiento anual.

Inspección visual electrodos del cabezal de combustión: Actividad de mantenimiento preventivo anual que consiste en verificar buen estado cerámicas, se necesitar realizar un esmerilado de los extremos, verificar distancia adecuada, verificar conexión eléctrica. Reemplazar si se requiere por mal estado del material, o porque ya no cumple con su función.

Inspección visual discos de la llama del cabezal de combustión: Actividad de mantenimiento anual que consiste en verificar integridad de las eventuales deformaciones de la pieza, se deberá intervenir para tener acceso al cabezal y se deberá reemplazar si se requiere, por mal estado del material, o porque ya no cumple con su función.

Inspección visual componentes del cabezal de combustión: Actividad de mantenimiento anual que consiste en verificar integridad de las eventuales deformaciones de los componentes del cabezal, reemplazar si se requiere por mal estado del material, o porque ya no cumple con su función.

1. Inspección junta aislante: Actividad de mantenimiento anual que consiste en verificar buen estado de la junta aislante del quemador, ya que es el elemento que otorga estanqueidad en el sistema. Reemplazar si se requiere por mal estado del material, o porque ya no cumple con su función.
2. Limpieza y lubricación de cojinetes de la clapeta de aire: Actividad de mantenimiento anual que consiste en limpiar y lubricar superficie de contacto de válvula check (clapeta de aire), evitando que se peguen zonas de contacto y un aumento de energía para el flujo del aire y combustible, se deberán limpiar y engrasar cojinetes igualmente.
3. Limpieza ventilador de aire: Actividad de mantenimiento anual que consiste en una limpieza general del ventilador del aire, para eliminar polvo y suciedad de aspas, eje, bujes, permitiendo un flujo libre de contaminación.
4. Limpieza toma y conductos presión de aire: Actividad de mantenimiento anual que consiste en la limpieza de la mampara de aire mediante cepillado, pulverizado, entre otros métodos de limpieza. Se recomienda un agente de limpieza químico capaz de limpiar ductos de aire de combustión.
5. Reemplazo sensor de llama: Actividad de mantenimiento anual que consiste en reemplazar sensor de llama del quemador, para eliminar riesgos asociados a una mala lectura de la existencia de la llama por parte del quemador.
6. Sustituir filtro de Gas Natural: Actividad de mantenimiento anual que consiste en reemplazar filtro de Gas Natural para evitar agentes contaminantes en la combustión.
7. Monitoreo de gases monóxido de carbono [CO], dióxido de carbono [CO<sub>2</sub>], y gases [Nox]: Actividad de mantenimiento anual que consiste en controlar valores y registrar datos para ser comparados con los valores recomendados en manuales técnicos y la última mantención realizada.
8. Limpieza filtros de cañería: Actividad de mantenimiento anual que consiste en la limpieza del filtro de cañería y reemplazar si el material se encuentra deteriorado y ya no cumple con su función.

### Mantenimiento bimensual.

1. Revisión de toberas, cambiar si es necesario: Actividad de mantenimiento bimensual que consiste en una inspección visual, enfocándose en la existencia del bloqueo de la aguja, y suciedad en el asiento de la tobera. Lo que provoca restricción en el flujo del combustible, y pérdidas de presión.
2. Revisión de electrodos, cambiar si es necesario: Actividad de mantenimiento bimensual que consiste en inspeccionar visualmente estado del material del electrodo del quemador, limpiar con guaípe o lija 150. Reemplazar si se encuentra deteriorado y ya no cumple su función.
3. Revisión de boquillas, cambiar si es necesario: Actividad de mantenimiento bimensual que consiste en revisar boquilla del quemador. Se deberá limpiar filtros internos y revisar desgaste, cambiar si es necesario. Para la limpieza no se debe usar grasas, teflón o líquidos selladores, mantener precaución para no dañar alojamiento de la boquilla, al momento de apretar no se deberá sobrepasar el esfuerzo máximo permitido por la llave.
4. Revisión de levas de servomando: Actividad de mantenimiento bimensual que consiste en inspeccionar buen estado de las levas de servomando, para eliminar riesgos en la estructura mecánica del sistema y restringir regulación del caudal del aire ante un eventual problema de las levas de servomando.
5. Medición aislamiento del motor del quemador y apriete terminales: Actividad de mantenimiento bimensual que consiste en medir aislamiento del motor del quemador, para asegurar buen estado del devanado, además, se deberá revisar reapriete de todos los terminales eléctricos del quemador y motor. Para medir aislación se debe desconectar energía eléctrica, desconectar bornes de las bobinas del motor (U-U1), (V-V1), (W-W1), medir aislamiento con un megger, debe marcar un valor  $>200$  ohmios, si marca menor a este valor proveedor deberá programar rebobinado del motor o cambio de este.
6. Limpieza ventilador motor quemador: Actividad de mantenimiento bimensual que consiste en la limpieza del ventilador del motor del quemador, mediante el uso de cepillos, paños, pulverización, entre otros. Idealmente con agente químico especializado en la limpieza de ventiladores.
7. Revisión electroválvulas: Actividad de mantenimiento bimensual que consiste en verificar funcionamiento de electroválvulas, en caso de no cumplir con su función determinada, se deberá desconectar energía eléctrica, desconectar cables de alimentación de la bobina de la válvula y medir continuidad de la bobina entre los cables de alimentación, si no existe continuidad se deberá cambiar la electroválvula.
8. Verificación fuga de combustible: Actividad de mantenimiento bimensual que consiste en revisar fugas de combustible en la configuración de cañerías que conectan al quemador y salen a la máquina térmica (caldera), mediante el uso de instrumentos

especializados en la detección de gas natural, gas metano. El proveedor deberá solucionar fuga en caso de existir.

9. Inspección visual sensor de llama: Actividad de mantenimiento bimensual que consiste en revisar el estado del material del sensor de llama, limpiar si es necesario, de lo contrario mantener en su estado correspondiente. En caso de que el sensor presente una falla funcional, el proveedor será responsable de cambiar el elemento de monitoreo.
10. Monitoreo control de temperatura de humos: Actividad de mantenimiento bimensual que consiste en revisar temperatura de humos y compararla con mediciones de mantenciones pasadas, para determinar anomalías y la cantidad de calor perdido en el proceso de producción de las calderas.
11. Inspección fotocelda: Actividad de mantenimiento bimensual que consiste en revisar el estado de la fotocelda y su funcionamiento, mediante la medición de continuidad eléctrica, se puede verificar si se encuentra disponible su uso en el quemador, de lo contrario el proveedor deberá reemplazar elemento deteriorad.
12. Inspección a presostato de aire y gas natural: Actividad de mantenimiento bimensual que consiste en revisar corte y diferencial de rango de los presostatos presentes en la configuración del quemador, los presostatos disponibles son de aire y gas natural. El proveedor deberá intervenir equipos si es necesario y reemplazarlos si no cumplen su función.
13. Calibración del encendido: Actividad de mantenimiento bimensual que consiste en calibrar correctamente mezcla de aire-combustible, un quemador mal regulado puede generar fuerte olor a gas natural en el ambiente, tiznados en la tubería de combustión, entre otros problemas. Para la regulación del aire es necesario intervenir las levas de servomando, y para calibrar combustible, es necesario regular la presión del gas natural hacia el quemador.
14. Pruebas de funcionamiento: Actividad de mantenimiento bimensual que consiste en colocar en marcha el quemador y verificar que los parámetros de trabajos se encuentren dentro del rango establecido por la última mantención y manuales de operación. El proveedor deberá dejar constancia de la presión de salida del gas, temperatura de la llama, rango y diferencial de presostatos.

