

**UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA**  
**SEDE CONCEPCION-**

**ANÁLISIS DE ESTUDIO PARA LA CALDERA A VAPOR DEL DEPARTAMENTO  
DE MECÁNICA DE LA UNIVERSIDAD FEDERICO SANTA MARÍA SEDE  
CONCEPCIÓN**

Trabajo de Titulación para optar al Título de  
Ingeniería en Mantenimiento Industrial,  
Licenciatura en Ingeniería

Alumnos: Eduardo Yáñez Aranda

Profesor Guía: Víctor Valdebenito

**2024**

## **DEDICATORIA**

A Dios, por ser mi guía y fuente de fortaleza, por darme la claridad y sabiduría necesarias para superar cada desafío en este camino.

A mi madre, quien con su amor incondicional y sacrificios me enseñaron el verdadero valor del esfuerzo, la disciplina y la dedicación. Ella es mi mayor inspiración y motivación, y este logro es el fruto de todo lo que me ha brindado gracias a su entrega y sacrificio.

A mi familia, por su amor incondicional, apoyo constante y confianza en mis capacidades. A mis profesores y compañeros de la Universidad Técnica Federico Santa María, cuyo conocimiento y colaboración fueron esenciales en el desarrollo de este proyecto. Este trabajo es el resultado de años de esfuerzo y aprendizaje, y está dedicado a todos aquellos que me han acompañado en este camino académico.

Y, especialmente, dedico este logro a aquellos seres queridos que ya no están físicamente conmigo, pero cuyo amor y enseñanzas permanecen en mi corazón. Aunque no pueden compartir este momento, sé que su presencia me ha acompañado a lo largo de todo este camino, y a ello le debo gran parte de este éxito. Su recuerdo me ha dado la fuerza para seguir adelante.

Este trabajo es el resultado del esfuerzo colectivo de quienes me han acompañado en esta travesía, y les dedico cada logro obtenido.

## **RESUMEN**

Este trabajo de titulación tiene como objetivo desarrollar un análisis técnico-económico para evaluar la viabilidad de rehabilitar la caldera a vapor del Departamento de Mecánica de la Universidad Técnica Federico Santa María, sede Concepción. Se diagnostica el estado físico y funcional de la caldera, se identifican los costos asociados a las reparaciones necesarias y se diseña un plan de mantenimiento preventivo y correctivo para restaurar su operatividad. El trabajo abarca antecedentes sobre las calderas a vapor, su importancia histórica y sus principios de funcionamiento, así como una evaluación del estado actual de la caldera en cuestión, que ha sufrido problemas debido a su inactividad prolongada. Finalmente, se propone una rehabilitación técnica y pedagógica, con el fin de adaptar el equipo al entorno educativo, mejorando su funcionalidad para ofrecer a los estudiantes una experiencia práctica que complemente su formación en ingeniería, maximizando además la inversión realizada.

## ÍNDICE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO I: ANTECEDENTES Y FUNDAMENTOS DE LAS CALDERAS A VAPOR	3
OBJETIVOS	4
OBJETIVO GENERAL	4
OBJETIVO ESPECIFICO	4
1.1 INTRODUCCIÓN A LAS CALDERAS DE VAPOR	5
1.2¿QUÉ ES UNA CALDERAA VAPOR?	6
1.3 PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO	8
1.4 PARTES PRINCIPALES GENERALES DE UN GENERADOR DE VAPOR	10
1.5 TIPOS DE CALDERAS	12
1.5.1. Calderas Piro tubulares (o de Tubos de Fuego)	12
1.5.2. Calderas Acuotubulares (O De Tubos De Agua)	13
1.5.3. Calderas De Flujo Forzado (O Una Vez A Través)	14
1.5.4. Calderas Eléctricas	14
1.5.5. Calderas de Recuperación de Calor	15
1.5.6. Calderas De Vapor Portátiles	15
1.6 COMPONENTES CRÍTICOS DE UNA CALDERA DE VAPOR	16
1.6.1 Tuberías Y Sistema De Circulación De Agua Y Vapor	16
1.6.2Sistemas De Control Y Seguridad	16
1.6.3 Quemadores, Economizadores Y Sistemas De Alimentación	17
1.6.4 Elementos de Instrumentación	18
1.7 INTEGRIDAD MECÁNICA	18
1.8 PÉRDIDA DE CONTENCIÓN PRIMARIA	20
1.9 NORMATIVAS Y ESTÁNDARES APLICABLES	23
1.2.NORMAS INTERNACIONALES PARA CALDERAS A VAPOR	24
1.2.1. ASME BOILER AND PRESSURE VESSEL CODE (BPVC)	24
1.2.2 NFPA 85 - CÓDIGO DE CALDERAS Y HORNOS DE COMBUSTIÓN INDUSTRIAL	25

<b>1.2.3 NFPA 85: CÓDIGO PARA SISTEMAS DE CALDERAS Y HORNOS DE COMBUSTIÓN</b>	25
<b>1.2.4. EN 12952 Y EN 12953: CALDERAS DE AGUA Y TUBOS DE HUMO</b>	26
<b>1.2.5. DIRECTIVA EUROPEA DE EQUIPOS A PRESIÓN (PED) 2014/68/EU</b>	27
<b>1.2.2 NORMAS NACIONALES (CHILE)</b>	27
<b>Decreto Supremo N° 48 (1984)</b>	27
<b>Decreto Supremo N° 10 (2011)</b>	28
<b>Decreto Supremo N° 138 (2013): Norma De Emisión Para Calderas</b>	30
<b>Normas Chilenas Nch 231/1 Y Nch 231/2</b>	30
<b>1.2.3 REGISTRO DE CALDERAS</b>	31
<b>1.2.4 RENDIMIENTO DE UNA CALDERA</b>	33
<b>1.2.5 COEFICIENTE DE EVAPORACIÓN O VAPORIZACIÓN</b>	35
Factores para optimizar el coeficiente de evaporación:	35
<b>1.2.6 OPERADORES DE CALDERA</b>	36
1.2.6.1 Requisitos Para Los Operadores De Calderas	36
<b>1.2.7 EVOLUCIÓN DEL MANTENIMIENTO</b>	38
<b>1.2.8 MANTENIMIENTO INDUSTRIAL</b>	39
<b>1.2.8.1 MANTENIMIENTO PARA CALDERAS</b>	40
<b>1.2.8.2 CLASIFICACIÓN DE LOS TIPOS DE MANTENIMIENTO</b>	41
Mantenimiento Correctivo	41
Mantenimiento Preventivo	41
Mantenimiento Predictivo	41
Mantenimiento Asistido por Tecnología	41
<b>1.2.9 ESTRATEGIAS DE MANTENIMIENTO PARA CALDERAS</b>	42
<b>CAPITULO II: ESTADO ACTUAL DE LA CALDERA A VAPOR DEL DEPARTAMENTO DE MECANICA</b>	45
<b>2. EMPRESA ESCOGIDA</b>	46
<b>2.1 HISTORIA</b>	47
<b>2.3 SITUACIÓN ACTUAL DEL EQUIPO</b>	52
<b>2.4 EL DISEÑO CON EL ENTORNO EDUCATIVO</b>	52
<b>2.5 DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO</b>	54
<b>2.6 PIPING AND INSTRUMENTATION DIAGRAM ( P&amp;ID)</b>	56

<b>2.7 COMPONENTES DE LA CALDERA PIROTUBULAR</b>	58
<b>2.8 LEVANTAMIENTO DEL EQUIPO</b>	60
<b>2.9 OPORTUNIDAD DE MEJORA</b>	69
RELACIÓN CON LOS OBJETIVOS EDUCATIVOS	69
<b>2.2.1 BENEFICIOS POTENCIALES DE SU REACTIVACIÓN</b>	70
<b>2.2.2 IMPLEMENTACIÓN DEL ESTUDIO DE BRECHA PARA LA CALDERA A VAPOR</b>	71
<b>CAPITULO III: DESARROLLO</b>	75
<b>CALDERA A VAPOR DEL DEPARTAMENTO DE MECÁNICA DE LA UTFSM: DIAGNÓSTICO INICIAL</b>	76
<b>PROPUESTA DE REHABILITACIÓN PARA LA CALDERA A VAPOR DEL DEPARTAMENTO DE MECÁNICA DE LA UTFSM</b>	77
Diagnóstico De Estado De Generador De Vapor Departamento De Mecánica USM, Concepción	77
Mantenimiento preventivo a caldera generadora de vapor	79
<b>PROPUESTA 1: REHABILITACIÓN</b>	79
<b>PROPUESTA 2 : DAR DE BAJA LA CALDERA</b>	87
Protocolo para dar de baja una caldera en Chile	88
<b>BANCO DE PRUEBA DE TRANSFERENCIA DE CALOR</b>	93
<b>TABLA COMPARATIVA ECONOMICA Y ESTRATEGICA</b>	98
<b>CAPITULO IV: PROYECCIÓN ECONÓMICA PARA LA REHABILITACIÓN DE LA CALDERA A VAPOR</b>	100
<b>PROYECCIÓN ECONÓMICA</b>	101
<b>CONCLUSION /REFLEXION FINAL</b>	107
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	109

## ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1 Levantamiento del equipo</i>	66
<i>Tabla 2 Basado en el "Manual de instrucciones para la operación de una caldera de vapor.</i>	68
<i>Tabla 3 Matriz FODA.</i>	74
<i>Tabla 4 Gastos economico anual para la rehabilitacion de la caldera</i>	86
<i>Tabla 5 Costos estimados para dar de baja la caldera</i>	93
<i>Tabla 6 Tabla comparativa economica y estrategica</i>	99

## INDICE DE FIGURAS

<i>Ilustración 1</i> Representacion caldera acuotubular y caldera pirotubular .....	6
<i>Ilustración 2</i> Ciclo básico de generación de vapor .....	10
<i>Ilustración 3</i> caldera generadora a vapor .....	11
<i>Ilustración 4</i> Caldera pirotubular o de tubos de fuego .....	12
<i>Ilustración 5</i> Caldera acuotubular .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<i>Ilustración 6</i> Generador de vapor AS-5003P .....	55
<i>Ilustración 7</i> P&ID Caldera pirotubular AS-500 3P .....	56
<i>Ilustración 8</i> Componentes caldera pirotubular AS-500 3P .....	58
<i>Ilustración 9</i> Banco de pruebas de transferencia de calor .....	94

## **SIGLA Y SIMBOLOGÍA**

NFPA: National Fire Protection Association.

ASME BPVC: American Society of Mechanical Engineers - Boiler and Pressure Vessel Code.

PED: Pressure Equipment Directive (2014/68/EU).

ISO 16528-1: Norma internacional para calderas y recipientes a presión.

EN 12952: Norma para calderas acuotubulares.

EN 12953: Norma para calderas pirotubulares.

GLP: Gas Licuado de Petróleo.

DS N°48: Decreto Supremo N°48 de 1984, regulación de calderas y equipos de vapor en Chile.

DS N°10: Decreto Supremo N°10 de 2011, actualización de seguridad en calderas.

DS N°138: Decreto Supremo N°138 de 2013, Norma de Emisión para Calderas.

LOPC: Loss of Primary Containment (Pérdida de Contención Primaria).

PI: Indicador de presión (Pressure Indicator).

PS: Interruptor de presión (Pressure Switch).

LC: Control de nivel (Level Control).

FC: Control de llama (Flame Control).

BV: Válvula de bola (Ball Valve).

CV: Válvula de control (Control Valve).

GV: Válvula de retención (Globe Valve).

PSV: Válvula de seguridad (Pressure Safety Valve).

## INTRODUCCIÓN

En el primer capítulo se aborda la importancia histórica y técnica de las calderas a vapor, destacándolas como una pieza fundamental en el desarrollo de la Revolución Industrial y en la evolución tecnológica de las industrias modernas. Desde sus primeras aplicaciones en locomotoras, fábricas y barcos, las calderas han sido un motor de progreso, transformando energía térmica en vapor para diversas aplicaciones. Se explican los principios básicos de su funcionamiento, donde el calor generado por la combustión o energía eléctrica se transfiere al agua, convirtiéndola en vapor para su uso en procesos industriales, energéticos y educativos. Además, se realiza una clasificación detallada de las calderas según su diseño y aplicaciones, incluyendo las pirotubulares, acuotubulares, eléctricas y de recuperación de calor. También se analizan los componentes críticos, como quemadores, economizadores y sistemas de control y seguridad, resaltando la importancia de un mantenimiento preventivo para garantizar eficiencia y seguridad. Asimismo, se describen las normativas internacionales como el ASME BPVC y las regulaciones chilenas que establecen estándares de operación seguros, fundamentales para prevenir accidentes.

El segundo capítulo examina el estado actual de la caldera a vapor ubicada en el Departamento de Mecánica de la UTFSM, sede Concepción, y las limitaciones que enfrenta como herramienta educativa. Esta inactividad ha generado problemas como corrosión, acumulación de residuos en sistemas críticos, como los tubos de intercambio de calor y los sistemas de control. Sin embargo, el capítulo también identifica oportunidades significativas para rehabilitar la caldera y convertirla en una herramienta pedagógica eficaz. Recuperar la funcionalidad de la caldera no solo permitiría maximizar la inversión realizada, sino también ofrecería a los estudiantes una experiencia práctica valiosa en el área de termodinámica y mantenimiento industrial, alineándose con los objetivos educativos de la institución.

El capítulo 3 del documento aborda los desafíos y oportunidades de la caldera a vapor del Departamento de Mecánica de la Universidad Técnica Federico Santa María, sede Concepción,

destacando los problemas generados por su inactividad prolongada, como la corrosión, acumulación de residuos y fallas en componentes críticos. También se menciona la incompatibilidad de su diseño industrial con el uso educativo, lo que dificulta que los estudiantes interactúen de manera segura y práctica con el equipo. Para superar estas limitaciones, se propone un plan de mantenimiento preventivo y correctivo que, además de restaurar su operatividad, incluya mejoras en los sistemas de control para adaptarla a un entorno académico. Con esta rehabilitación, la caldera podría transformarse en una herramienta educativa clave, ofreciendo una experiencia práctica valiosa en termodinámica y mantenimiento industrial, mientras se maximiza el valor de la inversión inicial.

**CAPITULO I: ANTECEDENTES Y  
FUNDAMENTOS DE LAS CALDERAS A VAPOR**

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Desarrollar un análisis técnico-económico para evaluar la viabilidad de rehabilitar la caldera a vapor del Departamento de Mecánica de la Universidad Técnica Federico Santa María, sede Concepción, considerando su estado actual y los requisitos operativos

### **OBJETIVO ESPECIFICO**

- Diagnosticar el estado físico y funcional de la caldera, incluyendo la inspección de componentes.
- Identificar los costos asociados a las reparaciones, mantención y adecuaciones necesarias para su puesta en marcha, técnico económico.
- Diseñar e implementar un plan de mantenimiento preventivo y correctivo para dejar la caldera operativa.

## 1.1 INTRODUCCIÓN A LAS CALDERAS DE VAPOR

Las calderas a vapor representan un hito clave en la historia de la tecnología, siendo fundamentales para la industrialización y el desarrollo energético. Su origen se remonta a la Revolución Industrial en el siglo XVIII, cuando inventos como el motor de vapor de Thomas Newcomen en 1712 comenzaron a utilizar el vapor como fuente de energía. Posteriormente, James Watt revolucionó este concepto en 1769 al implementar un condensador separado, mejorando significativamente la eficiencia del motor de vapor y sentando las bases para aplicaciones industriales más avanzadas.

Durante el siglo XIX, las calderas a vapor se convirtieron en la columna vertebral de fábricas, locomotoras y barcos. En este periodo, los diseños pirotubulares, donde los gases calientes circulaban a través de tubos rodeados de agua, fueron los más comunes. A pesar de su efectividad, estos diseños presentaban riesgos significativos de seguridad debido a las limitaciones tecnológicas de la época.

Con el avance de la ingeniería en el siglo XX, surgieron las calderas acuotubulares, que mejoraron la capacidad de manejar mayores presiones y temperaturas, aumentando tanto la seguridad como la eficiencia. Estas innovaciones incluyeron válvulas de alivio, controles automáticos y la implementación de economizadores y sobrecalentadores para optimizar el uso energético. Además, se establecieron normativas internacionales, como las del código ASME, para regular y garantizar su operación segura.

En la actualidad, las calderas a vapor han evolucionado para incorporar sistemas de control avanzados, monitoreo en tiempo real y adaptaciones para combustibles sostenibles, cumpliendo con las estrictas regulaciones ambientales. Su uso abarca desde la generación de electricidad hasta procesos químicos y petroquímicos.

En el ámbito educativo, las calderas a vapor se han adaptado como herramientas pedagógicas, permitiendo a los estudiantes comprender conceptos fundamentales de termodinámica, transferencia de calor y mantenimiento industrial. Aunque inicialmente diseñadas para aplicaciones industriales, su integración en talleres y laboratorios ofrece una experiencia práctica que prepara a los futuros ingenieros para los desafíos tecnológicos actuales. Esta evolución histórica subraya su importancia no solo como motores del desarrollo industrial, sino también como vehículos de aprendizaje en el contexto educativo.

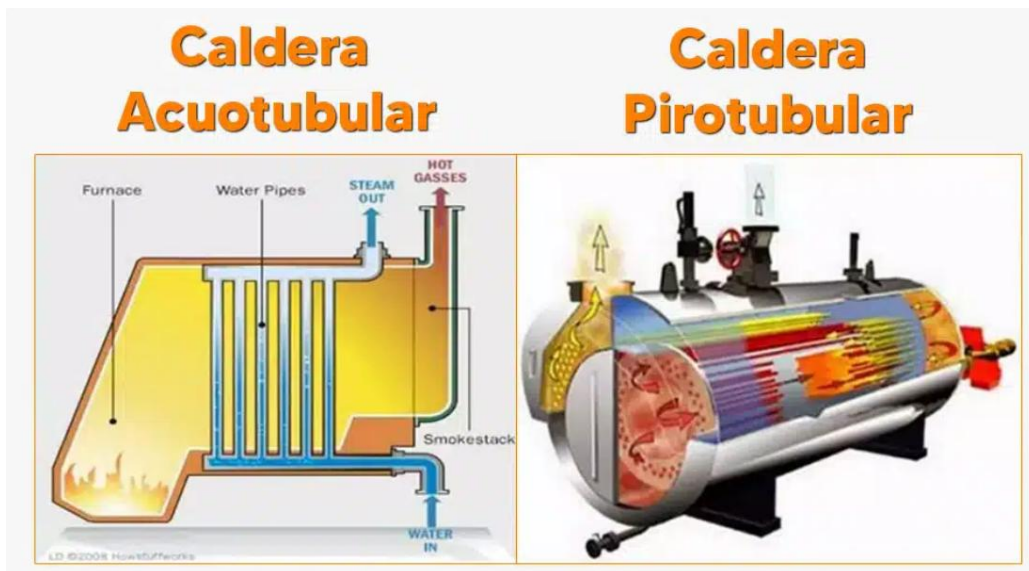


Ilustración 1 Representación caldera acuotubular y caldera piro-tubular

## 1.2.¿QUÉ ES UNA CALDERA A VAPOR?

Una caldera de vapor es un equipo diseñado para generar vapor mediante la transferencia de calor a un fluido, generalmente agua, dentro de un recipiente cerrado. Este proceso se realiza a través de la combustión de combustibles como gas, petróleo o carbón, o mediante el uso de fuentes de energía eléctrica. El vapor generado es fundamental en una amplia gama de

aplicaciones industriales, tales como la generación de energía eléctrica, procesos de calentamiento, esterilización de equipos, y sistemas de calefacción.

Desde un punto de vista histórico, estos dispositivos han sido cruciales para el desarrollo de la industria desde la Revolución Industrial, donde su uso en locomotoras y centrales eléctricas impulsó avances tecnológicos significativos. Originalmente, los generadores de vapor funcionaban a baja presión debido a las limitaciones en los materiales y técnicas de fabricación, como el uso de remaches. Sin embargo, con la invención de las calderas tubulares, se pudo trabajar a mayores presiones, ampliando sus aplicaciones industriales.

A pesar de algunos incidentes históricos relacionados con la presión en la década de 1970, los avances tecnológicos y la implementación de estándares internacionales han permitido mejorar la seguridad y la eficiencia de estos dispositivos. Hoy en día, las calderas modernas están diseñadas con componentes clave como quemadores, intercambiadores de calor, sistemas de control y mecanismos de seguridad, lo que asegura su operación eficiente y segura.

Según Muñoz Chalen y Menéndez Chávez (2021), además de superar los desafíos técnicos, es fundamental considerar la eficiencia energética de las calderas y generadores de vapor. Una mayor eficiencia no solo reduce el consumo de combustible, sino que también minimiza los costos de operación y mantenimiento, haciendo de estos equipos una elección estratégica en diversas industrias. Actualmente, su uso es esencial en procesos como el procesamiento de alimentos, la producción textil, la esterilización hospitalaria y muchas otras áreas que requieren una fuente confiable de energía térmica.

### **1.3 PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO**

El ciclo de generación de vapor es un proceso fundamental en muchas industrias, ya que convierte la energía térmica en vapor de agua, utilizado en diversas aplicaciones como generación de energía eléctrica, calefacción, procesos de manufactura y esterilización. Este ciclo se desarrolla dentro de un dispositivo denominado caldera, cuya operación consta de varias etapas clave.

El proceso inicia con la entrada de agua de alimentación, que debe ser tratada para eliminar impurezas, minerales y gases disueltos que podrían ocasionar problemas como corrosión e incrustaciones. Este tratamiento previo incluye procesos como la desmineralización, desaeración y la adición de inhibidores de corrosión. El agua tratada es impulsada hacia la caldera por una bomba de alimentación, que asegura que el agua ingrese al sistema con la presión adecuada para mantener un flujo constante.

Una vez dentro de la caldera, el agua es sometida a un proceso de calentamiento. La fuente de calor puede ser la combustión de combustibles fósiles (como gas natural, petróleo o carbón) o resistencias eléctricas, dependiendo del tipo de caldera. El calor transferido incrementa la temperatura del agua hasta que alcanza su punto de ebullición. La presión dentro de la caldera también influye en este proceso, ya que, a mayor presión, mayor será el punto de ebullición.

Cuando el agua llega al punto de ebullición, comienza a transformarse en vapor saturado, una mezcla de vapor con pequeñas cantidades de humedad. Este vapor se encuentra en equilibrio con el agua líquida restante. El vapor saturado es ideal para aplicaciones que no requieren temperaturas extremadamente altas, como sistemas de calefacción y procesos de esterilización.

En aplicaciones que requieren vapor con mayor energía térmica, como en turbinas para generación eléctrica, el vapor saturado es sometido a un proceso de sobrecalentamiento. Esto se lleva a cabo en un sobrecalentado, que eleva la temperatura del vapor sin alterar su presión,

produciendo vapor sobrecalentado. Este tipo de vapor es más eficiente para procesos industriales de alta demanda energética.

El vapor generado es distribuido mediante tuberías hacia su punto de utilización, como turbinas, intercambiadores de calor o equipos industriales. En algunos sistemas, después de ser utilizado, el vapor se condensa en agua mediante un proceso de condensación, y este condensado es recirculado al sistema, optimizando así el consumo de recursos y mejorando la eficiencia operativa.

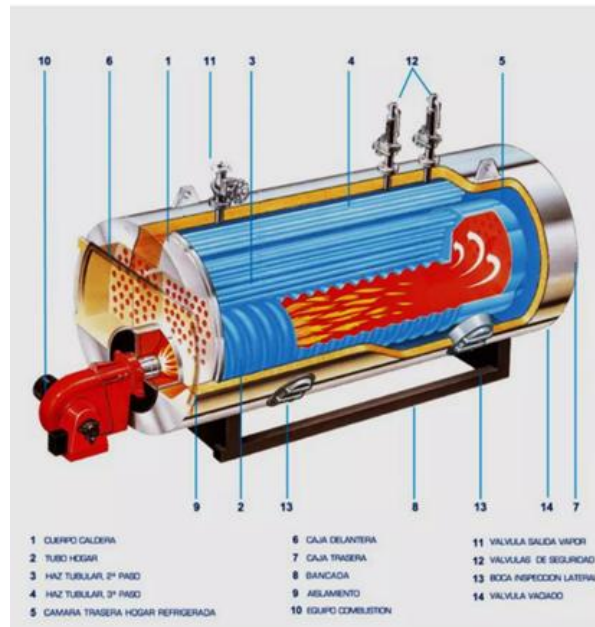
La operación de la caldera está acompañada de múltiples sistemas de control y seguridad, que aseguran su funcionamiento eficiente y seguro. Entre estos dispositivos destacan las válvulas de seguridad, que liberan presión en caso de sobrepresión, y los controles automáticos de nivel y temperatura, que mantienen las condiciones óptimas del sistema. Además, los sensores de presión y temperatura permiten un monitoreo constante en tiempo real. Los sistemas modernos cumplen con normas internacionales, como las establecidas por la American Society of Mechanical Engineers (ASME), garantizando altos estándares de seguridad y eficiencia.

El ciclo de generación de vapor es, por tanto, una pieza clave en muchas industrias, permitiendo la conversión eficiente de energía térmica en energía útil. Los avances tecnológicos han mejorado significativamente la eficiencia y seguridad de estos sistemas, contribuyendo a la reducción del consumo de combustible y costos operativos.

Además de esto los sistemas de generación de vapor pueden variar entre plantas, pero generalmente comparten elementos clave como se muestra en la figura 1. En este diagrama, el tanque de condensado recibe agua fría suavizada, usualmente proveniente de suavizadores, y condensado caliente en su mayoría del proceso. La temperatura del agua en el tanque y, por lo tanto, del agua de alimentación a la caldera, depende principalmente de la cantidad de condensado retornado, a menos que se emplee un método adicional de calentamiento, como vapor. Esta agua es impulsada hacia la caldera mediante una bomba. Una vez en la caldera, el agua pasa de estado líquido subenfriado o comprimido a vapor saturado, al absorber calor generado por la combustión del combustible y el aire. Se suele inyectar aire en exceso al requerimiento estequiométrico para asegurar una combustión completa, evitando residuos no



4. Economizador, es un dispositivo mecánico de transferencia de calor que calienta un fluido hasta su punto de ebullición, sin pasar de él. Hacen uso de la entalpía en fluidos que no están lo suficientemente calientes como para ser usados en una caldera, recuperando la potencia que de otra forma se perdería, y mejorando el rendimiento del ciclo de vapor.
5. Recalentador: es un dispositivo instalado en una caldera que recibe vapor súper calentado que ha sido parcialmente expandido a través de la turbina. La función del recalentador en la caldera es la de volver a súper calentar este vapor a una temperatura deseada.
6. Separador líquido-vapor: es necesario para separar las gotas de agua líquida con los gases aún calientes, antes de alimentarla a la caldera.
7. Chimenea: es la vía de escape de los humos y gases de combustión después de haber cedido calor al fluido.
8. Carcasa: contiene el hogar y el sistema de tubos de intercambio de calor



*Ilustración 3 caldera generadora a vapor*

## 1.5 TIPOS DE CALDERAS

### 1.5.1. Calderas Pirotubulares (o de Tubos de Fuego)

Estas calderas están diseñadas para que los gases calientes producidos por la combustión pasen a través de tubos rodeados por agua. Al circular los gases calientes por los tubos, el calor se transfiere al agua, convirtiéndola en vapor.

#### Funcionamiento:

El quemador, ubicado en el hogar de la caldera, genera los gases de combustión. Estos gases circulan por los tubos dispuestos dentro de la carcasa de la caldera, donde transfieren su calor al agua que rodea los tubos. El vapor generado se acumula en la parte superior de la carcasa y se utiliza para aplicaciones específicas.

#### Usos y aplicaciones

Calefacción en edificios comerciales y residenciales. ,Procesos industriales que requieren baja o media presión de vapor. Industrias alimentarias y lavanderías industriales.

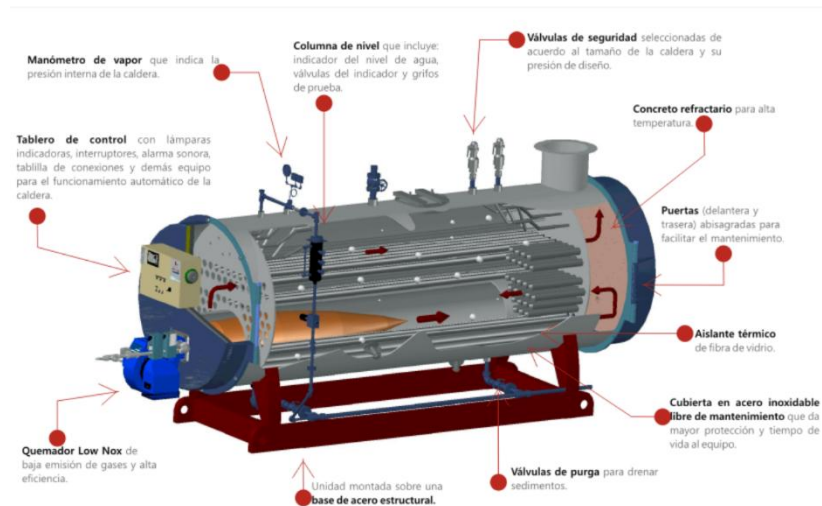


Ilustración 4 Caldera pirotubular o de tubos de fuego

### 1.5.2. Calderas Acuotubulares (O De Tubos De Agua)

En este diseño, el agua fluye a través de tubos dispuestos alrededor de la cámara de combustión, mientras los gases calientes circulan por fuera de los tubos. Este sistema permite generar vapor a altas presiones.

#### Funcionamiento

El agua se introduce en los tubos desde un tambor superior y es calentada por los gases de combustión que circulan por el exterior de los tubos. El agua se convierte en vapor dentro de los tubos, y el vapor generado regresa al tambor superior donde se separa del agua restante.

#### Usos y aplicaciones

Plantas de generación de energía eléctrica, donde el vapor mueve turbinas, Refinerías y plantas petroquímicas que necesitan vapor de alta presión, Procesos industriales que requieren grandes volúmenes de vapor.

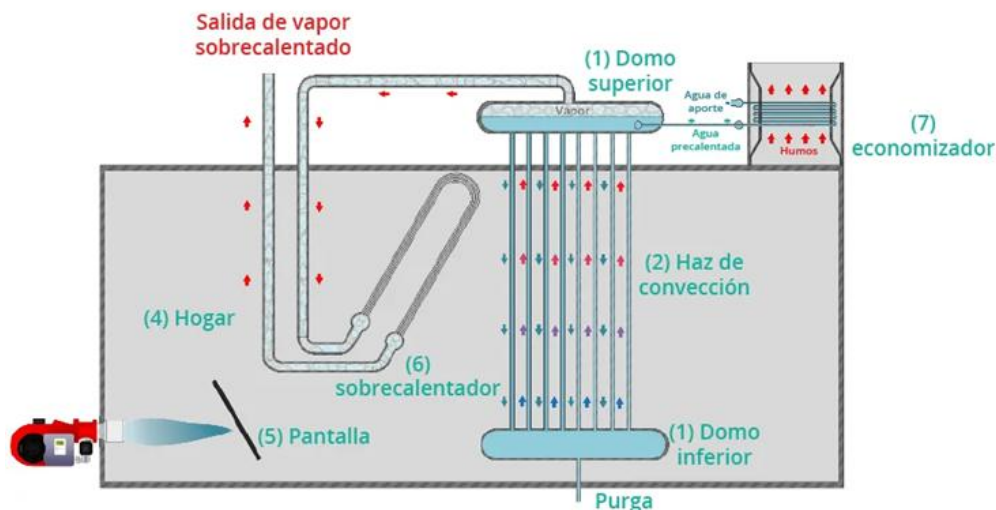


Ilustración 5 Caldera acuotubular

### **1.5.3. Calderas De Flujo Forzado (O Una Vez A Través)**

Estas calderas están diseñadas para operar sin un tambor de vapor. El agua pasa a través de los tubos una sola vez y se convierte completamente en vapor. Son eficientes y compactas, ideales para aplicaciones específicas.

#### **Funcionamiento**

El agua es bombeada a través de los tubos de la caldera por un sistema de alta presión. A medida que el agua fluye, se calienta y se convierte en vapor en un solo recorrido. No hay acumulación de agua, lo que hace que el proceso sea continuo.

#### **Usos y aplicaciones**

Generación de vapor de alta calidad para turbinas en centrales eléctricas. Procesos industriales que requieren vapor puro, como la fabricación de productos farmacéuticos. Plantas de energía en lugares con espacio reducido.

### **1.5.4. Calderas Eléctricas**

Las calderas eléctricas son sistemas que utilizan energía eléctrica para calentar agua y generar vapor. Su diseño no requiere combustibles fósiles ni cámaras de combustión, lo que las hace ideales para entornos donde las emisiones deben ser mínimas.

#### **Funcionamiento**

El agua se introduce en la cámara de calentamiento, donde resistencias eléctricas o sistemas de inducción generan calor para convertirla en vapor. Este proceso es eficiente y no produce emisiones directas.

#### **Usos y aplicaciones**

Laboratorios y hospitales que requieren vapor limpio.

Edificios comerciales pequeños con necesidades de calefacción.

Procesos industriales donde se necesita vapor en volúmenes moderados.

### **1.5.5. Calderas de Recuperación de Calor**

Estas calderas aprovechan el calor residual de gases de escape provenientes de procesos industriales o plantas de generación eléctrica para producir vapor. Se enfocan en maximizar la eficiencia energética.

#### **Funcionamiento**

Los gases de escape, que normalmente serían expulsados al ambiente, se canalizan a través de intercambiadores de calor dentro de la caldera. Este calor se transfiere al agua, convirtiéndola en vapor que puede ser utilizado en otras aplicaciones.

#### **Usos y aplicaciones**

Plantas de cogeneración que generan electricidad y vapor simultáneamente. Industrias que desean reducir su consumo de combustible y mejorar la eficiencia. Aplicaciones donde se busca reducir el impacto ambiental.

### **1.5.6. Calderas De Vapor Portátiles**

Son calderas móviles diseñadas para generar vapor en aplicaciones temporales o de emergencia. Suelen ser compactas y fáciles de transportar.

#### **Funcionamiento**

Estas calderas tienen un diseño que combina portabilidad y eficiencia. Pueden ser pirotubulares o eléctricas, y funcionan generando vapor en un espacio pequeño mediante quemadores o resistencias eléctricas.

#### **Usos y aplicaciones**

Construcción, para tareas de limpieza a vapor o calefacción temporal. Procesos de mantenimiento industrial. Emergencias en instalaciones industriales que requieren vapor temporalmente.

## **1.6 COMPONENTES CRÍTICOS DE UNA CALDERA DE VAPOR**

### **1.6.1 Tuberías Y Sistema De Circulación De Agua Y Vapor**

Las tuberías son elementos esenciales en cualquier caldera de vapor, ya que permiten el flujo del agua de alimentación hacia la caldera y el transporte del vapor generado hacia los procesos que lo requieren. Estas tuberías deben ser diseñadas para soportar las altas presiones y temperaturas que se generan dentro de la caldera. Además, el sistema de circulación de agua y vapor es crucial para mantener la temperatura y presión dentro de los rangos de operación adecuados.

**Importancia:** La circulación eficiente evita el sobrecalentamiento o el estancamiento del agua dentro de la caldera, lo que podría conducir a un daño irreversible de la misma.

**Riesgos:** Si el sistema de circulación de vapor no funciona adecuadamente, podrían ocurrir bloqueos o sobrepresiones peligrosas. Un sistema de circulación ineficaz puede llevar a la formación de depósitos en las tuberías, lo que a su vez podría reducir la eficiencia del intercambio de calor.

### **1.6.2 Sistemas De Control Y Seguridad**

Los sistemas de control son responsables de regular diversos aspectos operativos de la caldera, tales como el flujo de combustible, aire y agua, para asegurar que la caldera opere a su máxima eficiencia. Los sistemas de seguridad están diseñados para proteger la caldera contra condiciones operativas extremas como sobrepresiones, sobrecalentamientos o fallos de componentes críticos.

**Sistemas de control:** Estos incluyen sistemas automáticos que ajustan la entrada de aire y combustible para mantener la relación estequiométrica y asegurar una combustión eficiente. El control de nivel y presión también es parte de este sistema.

**Sistemas de seguridad:** Las válvulas de seguridad, los sistemas automáticos de apagado y los dispositivos de control de presión están diseñados para evitar que la caldera

funcione fuera de los parámetros seguros, lo que podría resultar en accidentes graves como explosiones.

Normas y regulaciones: Códigos internacionales como el ASME BPVC y la NFPA 85 establecen directrices claras sobre los sistemas de seguridad y control de calderas, asegurando que operen dentro de los límites de seguridad.

### **1.6.3 Quemadores, Economizadores Y Sistemas De Alimentación**

- **Quemadores:** Son fundamentales para la combustión del combustible que genera calor. Los quemadores deben estar diseñados para funcionar de manera eficiente y segura, proporcionando la cantidad adecuada de aire y combustible para una combustión completa. Los quemadores modernos incluyen sistemas de control para ajustar la mezcla aire-combustible según las condiciones de operación.
- **Economizadores:** Son intercambiadores de calor que recuperan el calor residual de los gases de escape de la caldera, lo que mejora la eficiencia energética al reducir la cantidad de energía necesaria para calentar el agua de alimentación. Estos dispositivos pueden aumentar significativamente la eficiencia de la caldera al aprovechar el calor que de otro modo se perdería.
- **Sistemas de Alimentación:** El sistema de alimentación se encarga de suministrar agua tratada a la caldera, lo cual es fundamental para asegurar la producción continua de vapor. Este sistema incluye bombas que transportan el agua desde el depósito hacia la caldera a la presión adecuada. Además, el agua debe ser tratada para eliminar impurezas, como sólidos disueltos, que podrían causar incrustaciones o corrosión dentro de la caldera. La gestión de los lodos y los sólidos disueltos es crucial para evitar que el sistema de alimentación se obstruya, lo cual podría afectar la eficiencia de la caldera y su vida útil.

#### **1.6.4 Elementos de Instrumentación**

Los elementos de instrumentación son clave para la supervisión y el control adecuados de los sistemas de calderas. Estos sensores proporcionan datos en tiempo real sobre las condiciones operativas de la caldera, permitiendo a los operadores ajustar los parámetros para mantener la eficiencia y seguridad del sistema.

Seguridad del sistema de presión: Los dispositivos de medición de presión interna en la caldera son esenciales para prevenir sobrepresiones que podrían causar fallos catastróficos. Un control adecuado de la presión no solo garantiza la seguridad del sistema, sino que también asegura que el vapor generado cumpla con los estándares requeridos en términos de calidad y eficiencia operativa. El monitoreo continuo de la presión es fundamental para evitar condiciones peligrosas y optimizar el rendimiento del equipo.” Este ajuste refuerza la conexión entre seguridad, eficiencia y cumplimiento de estándares, al mismo tiempo que mantiene un tono técnico claro.

Sensores de temperatura: Los sensores de temperatura permiten controlar la temperatura del agua de alimentación y del vapor dentro de la caldera. El monitoreo de la temperatura es vital para mantener la eficiencia de la caldera y evitar el sobrecalentamiento de componentes críticos.

Sensores de nivel: Estos sensores miden el nivel del agua dentro de la caldera, lo que es crucial para asegurar que el agua no se evapore completamente (lo que podría dañar los tubos) ni se desborde. Los niveles de agua son controlados automáticamente en muchos sistemas modernos para asegurar el correcto funcionamiento.

### **1.7 INTEGRIDAD MECÁNICA**

La integridad mecánica en calderas a vapor se define como la capacidad de estos equipos para mantener su solidez estructural y evitar fallas, ya sea por fractura, colapso plástico u otros mecanismos, al ser sometidos a fuerzas como altas presiones y temperaturas extremas. Este concepto es clave para asegurar que la operación de las calderas sea segura, eficiente y confiable a lo largo de su vida útil.

El análisis de integridad mecánica permite evaluar la fiabilidad y estabilidad de los componentes principales de las calderas, tales como tubos, cabezales, recipientes a presión y uniones. Este proceso tiene como objetivo garantizar una operación sin riesgos, minimizando incidentes que puedan comprometer la seguridad o la eficiencia del sistema.

#### Métodos de evaluación y seguimiento

En el ámbito industrial, el monitoreo de la integridad mecánica de las calderas se realiza mediante inspecciones exhaustivas. Estas pueden ser internas, externas, en servicio o fuera de servicio, y se rigen por normativas internacionales como los estándares ASME y DIN.

Los exámenes se emplean para detectar deterioros, defectos o fallas en los componentes de las calderas, permitiendo evaluar si son aptos para continuar operando bajo las condiciones actuales. En caso contrario, se define si deben repararse, reclasificarse o reemplazarse. Asimismo, el análisis ayuda a establecer programas de inspección y monitoreo para prevenir daños futuros.

El propósito del análisis de integridad mecánica es determinar, de manera rápida y confiable, el estado de los componentes críticos de la caldera. Para ello, el procedimiento se divide en tres etapas:

#### Recopilación de datos esenciales:

Se obtienen los datos necesarios para realizar la evaluación, priorizando aquellos que sean accesibles, económicos y rápidos de adquirir. Esto incluye información sobre el material de construcción, la geometría de los componentes y las condiciones de operación, como presión, temperatura y ciclos de carga.

### Evaluación:

En esta etapa, se identifican los posibles modos de falla y se selecciona el método de análisis más adecuado para el problema detectado. Esto puede incluir cálculos de esfuerzos, análisis de corrosión, evaluación de fisuras, entre otros.

### Resultado:

Una vez completados los cálculos y evaluaciones, se determina si la caldera puede seguir operando de forma segura y eficiente. Además, se evalúa la proximidad de posibles fallas y se definen las medidas necesarias, como ajustes operativos, reparaciones o reemplazo de componentes.

## **1.8 PÉRDIDA DE CONTENCIÓN PRIMARIA**

(LOPC – Loss of Primary Containment) Eventos de liberación no planeada o no controlada de productos peligrosos de un equipo diseñado para contener fluidos bajo presión, como tuberías, tanques, calderas o recipientes a presión, no logra mantener la integridad de su envoltorio. fuera de su contención primaria, aun cuando dicha liberación se encuentre direccionada a instalaciones proyectadas para servir como contención secundaria

Para una caldera a vapor, la "pérdida de contención" se relaciona con una posible falla en su estructura, incluyendo la carcasa, tubos o soldaduras, lo que podría provocar fugas de vapor o gases de combustión. Este tipo de fuga es crítico, pues puede disminuir la eficiencia, dañar la estructura y representar riesgos de seguridad, especialmente bajo condiciones de alta presión. Por ello, el mantenimiento en estos generadores se centra en inspecciones periódicas de sus componentes clave y en la selección de materiales resistentes a la corrosión y al estrés térmico, lo que ayuda a prolongar la vida útil del equipo y garantizar la seguridad operativa

Al examinar una cadena accidental, el acontecimiento de pérdida de contención primaria podría ser entendido como el punto desde el cual no hay retorno inmediato a la condición común de operación.

### Seguridad de los procesos

Grupo de esfuerzos dirigidos a la prevención, mitigación y contestación a los eventos de pérdida de contención primaria de productos peligrosos, por medio de un Sistema de Administración que asegura la totalidad de las instalaciones de proceso durante su periodo de vida. Estos sucesos poseen el potencial de crear efectos tóxicos, incendio, sobre presión o explosión y tienen la posibilidad de provocar heridas individuales, diversas muertes, males materiales, pérdida de producción o efecto ambiental.

- La seguridad de proceso trata de la prevención, respuesta y mitigación a los eventos de pérdida de contención primaria.
- Estos esfuerzos precisan estar organizados a través de un sistema de gestión, para que tales actividades estén formalmente establecidas y sus resultados sean producidos de forma consistente y sustentable;
- La seguridad de proceso debe permear todo el ciclo de vida de nuestras instalaciones, teniendo inicio en la fase de concepción del proyecto de nuestros emprendimientos.



Imagen 21, Triangulo de Fatalidad y Catástrofe, fuente “ es.linkedin.com” (internet)

### 1. Corrosión

La corrosión es uno de los factores principales que afectan la integridad de los materiales de contención. Ocurre debido a la interacción química o electroquímica del material con su entorno.

Factores agravantes:

Exposición a fluidos corrosivos como ácidos o sustancias químicas agresivas.

Condiciones ambientales desfavorables (humedad, cloruros, etc.).

Falta de recubrimientos protectores o mantenimiento adecuado.

### 2. Agrietamiento

El agrietamiento compromete la resistencia estructural al crear discontinuidades que concentran esfuerzos en el material.

Agrietamiento por estrés-corrosión: Aparece cuando los materiales están sometidos a esfuerzos residuales o externos en presencia de un ambiente corrosivo.

Agrietamiento térmico: Causado por ciclos térmicos repetitivos, que generan tensiones internas en el material.

Soldaduras defectuosas: Las zonas afectadas por el calor durante la soldadura pueden ser más propensas a grietas.

### 3. Fatiga

La fatiga ocurre debido a la aplicación de cargas cíclicas repetidas, incluso si estas están por debajo del límite de elasticidad del material.

Factores críticos:

Variaciones constantes de presión en recipientes o tuberías.

Vibraciones inducidas por el flujo de fluidos o máquinas cercanas.

Ciclos de operación con cambios frecuentes de temperatura o carga.

Efecto acumulativo: Con el tiempo, el material desarrolla micro fisuras que pueden propagarse y causar fallas.

Para minimizar el riesgo de pérdida de contención primaria, se deben realizar inspecciones regulares, monitorear condiciones operativas, aplicar protección contra la corrosión, garantizar un diseño adecuado y aplicar mantenimiento predictivo con técnicas avanzadas como análisis ultrasónico, lo que asegura una operación segura y prolonga la vida útil de los equipos.

## **1.9 NORMATIVAS Y ESTÁNDARES APLICABLES**

Normas internacionales y nacionales para calderas (ASME, ISO, normativas locales).

En Chile, las calderas a vapor están reguladas por una combinación de normas internacionales y normativas locales. A nivel internacional, el ASME Boiler and Pressure Vessel Code (BPVC) establece directrices clave para el diseño, construcción e inspección de calderas, con el fin de asegurar su seguridad y eficiencia. Además, se aplican otras normas como la ISO 16528-1, que regula el diseño de calderas a presión, y la EN 12952, una norma europea utilizada en diversos países para calderas a vapor.

En el ámbito nacional, el Ministerio de Salud, a través de la Subsecretaría de Salud Pública, es el principal organismo encargado de regular las calderas a vapor, apoyado por entidades como la ACHS para la difusión de las normativas y sus actualizaciones. El Decreto Supremo N° 48 (1984) fue el primer reglamento en Chile que reguló las calderas a vapor, estableciendo requisitos sobre tipos, características y condiciones de instalación y operación. Posteriormente, el Decreto Supremo N° 10 (2011) realizó una actualización, detallando aspectos como el registro de las calderas, su instalación y la certificación de los operadores, mientras que el Decreto

Supremo N° 49 (2017) introdujo ajustes en los plazos de renovación de certificaciones para operadores.

Estas normativas, tanto nacionales como internacionales, son esenciales para asegurar la operación segura, eficiente y duradera de las calderas a vapor en Chile, definiendo estándares técnicos, procedimientos de inspección y requisitos de formación para los operadores.

## **1.2.NORMAS INTERNACIONALES PARA CALDERAS A VAPOR**

### **1.2.1. ASME BOILER AND PRESSURE VESSEL CODE (BPVC)**

El ASME Boiler and Pressure Vessel Code (BPVC) es un conjunto integral de normas desarrollado por la Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos (ASME) para garantizar la seguridad, eficiencia y calidad en el diseño, fabricación, instalación, operación e inspección de calderas, recipientes a presión y componentes relacionados. Este código es considerado una referencia global en industrias como la energética, química, nuclear y manufacturera.

El BPVC está dividido en secciones que abordan distintos aspectos técnicos y operativos. Algunas de las más relevantes relacionadas con calderas son :

#### **Sección I: Calderas de Potencia (Power Boilers)**

- Establece los requisitos para el diseño y construcción de calderas que operan a altas presiones, especificando materiales, métodos de fabricación, pruebas e inspecciones para garantizar la seguridad y la fiabilidad.

#### **Sección IV: Calderas de Calefacción (Heating Boilers)**

- Cubre calderas de baja presión utilizadas en sistemas de calefacción y agua caliente, incluyendo especificaciones para el diseño y los controles

#### **Sección VIII: Recipientes a Presión (Pressure Vessels)**

- Detalla los requisitos de diseño, materiales y pruebas para recipientes a presión, divididos en tres divisiones según su complejidad y las condiciones operativas.

#### **Sección IX: Soldadura y Unión (Welding, Brazing, and Fusing Qualifications)**

- Define los procedimientos de soldadura y las calificaciones para soldadores y operadores de unión, fundamentales para garantizar la integridad estructural.

#### **Sección XI: Inspección y Mantenimiento en Servicio (In-Service Inspection)**

- Establece las pautas para la inspección y evaluación de componentes en servicio, con el fin de detectar posibles fallas o problemas que afecten la seguridad y el rendimiento.

### **1.2.2 NFPA 85 - CÓDIGO DE CALDERAS Y HORNOS DE COMBUSTIÓN INDUSTRIAL**

La ISO 16528-1 es una norma internacional que establece los requisitos de seguridad y diseño para calderas y recipientes a presión. Esta norma cubre el diseño, fabricación y prueba de equipos que operan bajo alta presión, garantizando su seguridad operativa y estructural. Es una de las principales referencias a nivel mundial en la industria, ya que proporciona un marco unificado para asegurar que las calderas y otros recipientes a presión se construyan de acuerdo con altos estándares de calidad y seguridad.

En particular, la ISO 16528-1 proporciona lineamientos sobre los requisitos generales de diseño para estos equipos, destacando aspectos como la resistencia de los materiales utilizados, los métodos de fabricación, las pruebas de calidad y las verificaciones que deben llevarse a cabo durante la construcción y operación de calderas. La norma tiene un enfoque integral que también incluye la inspección y evaluación de los riesgos asociados a su operación.

### **1.2.3 NFPA 85: CÓDIGO PARA SISTEMAS DE CALDERAS Y HORNOS DE COMBUSTIÓN**

Es un estándar de la National Fire Protection Association (NFPA) que regula la seguridad de los sistemas de calderas y hornos de combustión industrial. Este código está diseñado para prevenir incendios y explosiones dentro de las instalaciones que operan calderas y hornos, promoviendo el uso seguro de combustibles y gases en estos sistemas. La NFPA 85 cubre aspectos clave como la instalación, operación, mantenimiento, y pruebas de seguridad de los sistemas de calefacción y generación de vapor.

#### **1.2.4. EN 12952 Y EN 12953: CALDERAS DE AGUA Y TUBOS DE HUMO**

Las normas EN 12952 y EN 12953 son directrices europeas que especifican los requisitos técnicos y de seguridad para el diseño, fabricación, y pruebas de calderas industriales. Ambas normas se aplican a diferentes tipos de calderas, pero comparten el objetivo de garantizar la seguridad, eficiencia y fiabilidad de los equipos.

1.-EN 12952: Esta norma se aplica a las calderas de agua (también conocidas como calderas acuotubulares), utilizadas principalmente en aplicaciones industriales y en la generación de energía. La norma establece los requisitos técnicos para la seguridad en el diseño y construcción de calderas que utilizan agua como medio de transferencia de calor. Además, cubre los procedimientos para las pruebas de presión, los materiales a emplear, las características de los quemadores y las condiciones de operación. Su principal objetivo es garantizar que las calderas sean capaces de operar a alta presión y temperatura de forma segura, minimizando los riesgos de explosión o fallos estructurales.

2. EN 12953: Esta norma regula las calderas de tubos de humo, también conocidas como calderas pirotubulares. Estas calderas son comunes en instalaciones industriales más pequeñas o en procesos que requieren de calor de forma eficiente y controlada. La norma EN 12953 cubre aspectos similares a los de la EN 12952, pero está enfocada en

calderas que funcionan mediante el paso de gases calientes a través de tubos rodeados de agua. Las especificaciones incluyen el diseño de los intercambiadores de calor, la resistencia a la presión, los requisitos de seguridad y la instalación de los sistemas de combustión. También aborda los aspectos operacionales, como la limitación de emisiones y la gestión del calor.

### **1.2.5. DIRECTIVA EUROPEA DE EQUIPOS A PRESIÓN (PED) 2014/68/EU**

Legislación que establece los requisitos esenciales para el diseño, fabricación y comercialización de equipos a presión dentro de la Unión Europea. Su principal objetivo es garantizar la seguridad de los equipos a presión, protegiendo tanto a las personas como al medio ambiente, asegurando su funcionamiento eficiente y seguro a lo largo de su vida útil.

La Directiva cubre una amplia gama de equipos a presión, incluidos recipientes a presión, calderas, tubos de vapor y otros componentes relacionados que operan bajo presión. La normativa especifica los requisitos técnicos que deben cumplir estos equipos, incluyendo su fabricación, el proceso de evaluación de conformidad, las pruebas de seguridad, y las especificaciones de diseño y materiales. A su vez, la PED exige que los equipos sean fabricados de acuerdo con estándares armonizados y que las pruebas de seguridad se realicen antes de su puesta en funcionamiento.

El cumplimiento de la Directiva se evalúa mediante un proceso de certificación, en el que los fabricantes deben demostrar que sus productos cumplen con los estándares de seguridad establecidos. Para ello, se realiza una evaluación de la conformidad que puede incluir pruebas de resistencia a la presión, inscripciones y pruebas de funcionamiento bajo condiciones extremas.

### **1.2.2 NORMAS NACIONALES (CHILE)**

#### **Decreto Supremo N° 48 (1984)**

establece un reglamento integral sobre las condiciones de seguridad para calderas, autoclaves y equipos que utilizan vapor de agua. Su objetivo es garantizar la seguridad de los trabajadores

mediante normativas técnicas y operativas que regulan el diseño, instalación, operación y mantenimiento de estos equipos.

Entre sus disposiciones principales, el decreto exige que todos los equipos sean registrados ante las autoridades pertinentes y sometidos a inspecciones periódicas para verificar su correcto estado de funcionamiento. Además, el diseño y construcción de las calderas deben cumplir con requisitos técnicos específicos basados en estándares internacionales que aseguren su integridad estructural.

El decreto establece que los equipos deben ser operados únicamente por personal capacitado y certificado, y que el mantenimiento debe realizarse regularmente para prevenir fallas y garantizar un funcionamiento seguro. Asimismo, obliga a la instalación de dispositivos de seguridad, como válvulas de alivio, manómetros y controles automáticos, para evitar accidentes relacionados con sobrepresión o fallos mecánicos.

Finalmente, el reglamento también asigna responsabilidades a los empleadores, quienes deben garantizar el cumplimiento de las medidas de seguridad, proporcionar capacitación adecuada y disponer los medios necesarios para el mantenimiento e inspección de los equipos. En caso de incumplimiento, se contemplan sanciones administrativas.

Esta normativa es fundamental en Chile para asegurar un entorno laboral seguro en industrias donde se utilizan equipos a presión, contribuyendo a la prevención de accidentes y al cumplimiento de estándares internacionales.<sup>i</sup>

### **Decreto Supremo N° 10 (2011)**

El Decreto Supremo N° 10 de 2011, promulgado por el Ministerio de Salud en Chile, actualiza las disposiciones legales para garantizar la seguridad en la operación de calderas, autoclaves y generadores de vapor. Este decreto reemplaza el antiguo Decreto N° 48 de 1984 e introduce nuevas exigencias enfocadas en la protección de los trabajadores y la comunidad, dada la naturaleza de alto riesgo de estos equipos.

Principales disposiciones del decreto:

### Registros obligatorios:

Libro de vida útil: Incluye especificaciones técnicas, cálculos de diseño y normas aplicadas para cada equipo, en español.

Libro de operación diaria: Registra las actividades realizadas, como purgas, limpieza y análisis de agua, con anotaciones cada 4 horas.

### Requisitos para salas de calderas:

Distancias mínimas: Al menos 1 metro entre la caldera y las paredes, y 1,5 metros entre el punto más alto de la caldera y el techo.

Ventilación adecuada y ausencia de materiales inflamables.

Espacios para colación y servicios higiénicos exclusivos, cumpliendo con el D.S. N° 594.

### Operadores de calderas:

Obligación de poseer licencia de enseñanza media.

Operadores de equipos de alta presión ( $\geq 42$  kg/cm<sup>2</sup>) deben contar con un título técnico o profesional en el área industrial.

### Inspección y certificación:

Pruebas y revisiones realizadas por profesionales autorizados por la SEREMI de Salud.

Periodo de tres años para que los operadores y profesionales se adapten a las nuevas exigencias.

### Requisitos técnicos:

Especificaciones para válvulas de seguridad, sistemas de alarma, detectores de llama, termostatos y presostatos.

Este reglamento busca minimizar riesgos y estandarizar prácticas seguras en la industria, promoviendo una operación eficiente y controlada de estos equipos fundamentales para procesos industriales

### **Decreto Supremo N° 138 (2013): Norma De Emisión Para Calderas**

El Decreto Supremo N° 138 (2013) establece la Norma de Emisión para Calderas en Chile, regulando las emisiones atmosféricas generadas por equipos industriales como calderas, autoclaves y generadores de vapor. Esta normativa tiene como objetivo reducir el impacto ambiental de las emisiones de gases contaminantes, especialmente dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) y material particulado, que pueden ser producidos por el uso de combustibles fósiles en estos equipos.

#### **Aspectos clave del Decreto Supremo N° 138:**

**Límites de Emisión:** Establece los límites máximos permisibles de contaminantes como los mencionados anteriormente para calderas de diferentes capacidades.

**Tecnologías de Reducción:** Se exigen tecnologías de control y reducción de emisiones, como sistemas de depuración de gases y filtros para partículas.

**Monitoreo Continuo:** Las instalaciones deben contar con sistemas de monitoreo continuo de las emisiones y reportar los resultados a las autoridades correspondientes.

**Certificación y Cumplimiento:** Los operadores de las calderas deben cumplir con las pruebas de emisión periódicas y mantener documentación que certifique el cumplimiento de los límites establecidos.

### **Normas Chilenas Nch 231/1 Y Nch 231/2**

Las Normas Chilenas NCh 231/1 y NCh 231/2 son regulaciones que establecen los requisitos técnicos y de seguridad para el diseño, instalación, operación e inspección de calderas generadoras de vapor en Chile. Estas normas son de vital importancia para garantizar la seguridad operativa de las calderas, asegurando su eficiencia, confiabilidad y el cumplimiento de las normativas de seguridad en el ambiente laboral e industrial.

NCh 231/1: Esta norma está centrada en el diseño y fabricación de calderas generadoras de vapor. Establece especificaciones sobre los materiales, los procedimientos de construcción y los requisitos para el rendimiento de las calderas. La NCh 231/1 asegura que las calderas sean construidas bajo estándares que eviten riesgos de fallos estructurales y operativos durante su funcionamiento, especialmente en lo que respecta a la presión y temperatura de operación.

NCh 231/2: Se enfoca en los procedimientos de operación e inspección de las calderas, así como los requisitos de mantenimiento para garantizar que las calderas funcionen correctamente a lo largo de su vida útil. Esta norma establece cómo deben ser las pruebas de seguridad, los criterios de funcionamiento y las acciones correctivas que deben implementarse para evitar accidentes. Además, regula las inspecciones periódicas necesarias para verificar la integridad de las calderas y asegurar su cumplimiento con los estándares de seguridad.

### **1.2.3 REGISTRO DE CALDERAS**

De acuerdo con lo establecido a nivel nacional en el registro de calderas y autoclaves, todas las calderas y autoclaves deben estar inscritas en un registro gestionado por la Secretaría Regional Ministerial de Salud correspondiente, antes de ser puestas en funcionamiento. Este registro asigna un número único con validez en todo el territorio nacional para su identificación, el cual será notificado al propietario. Así lo dispone el Decreto Supremo N°10 de 2013. Además, se detalla que deben proporcionarse ciertos datos específicos para completar dicho registro:

- a) Información, según corresponda:
- b) Nombre del propietario, Rut, dirección.
- c) Nombre del representante legal, Rut, dirección, en su caso.
- d) Dirección de la instalación del equipo.

- e) Nombre del fabricante.
- f) Número de fabricación y año.
- g) Superficie de calefacción.
- h) Presión máxima de trabajo en kg/cm<sup>2</sup>.
- i) Producción de vapor en kg/hr.
- j) Tipo(s) de combustible(s) empleado(s) y consumo por kg/hr.
- k) Tipo de aislación térmica del equipo y red de distribución de vapor y agua caliente.
- l) Volumen en litros o metros cúbicos.
- m) Informe técnico emitido por un profesional facultado, que dé cuenta del cumplimiento por una caldera o autoclave de las exigencias de este reglamento.
- n) Identificación del profesional facultado que efectúa el informe técnico.
- o) Certificado de prueba hidráulica al término de la fabricación, respecto de calderas, autoclaves y equipos que utilizan vapor de agua, nuevos y sin uso.
- p) Copia del manual de operación del equipo en español.
- q) Sistema de tratamiento de agua de alimentación.
- r) Catálogo de la caldera o autoclave.
- s) Plano general de planta a escala, de la instalación y de la sala de caldera. En ambos casos se deberá indicar la ubicación y dirección de la red de fluido, puntos de consumo identificando el tipo de equipo, depósito de combustible, estanque de alimentación de agua, purgas y accesorios.
- t) Inscripción de la declaración en la Superintendencia de Electricidad y Combustibles SEC, de la instalación eléctrica y suministro de combustibles líquidos y gaseosos.
- u) Resolución de Calificación Ambiental, cuando corresponda.

- v) Indicar norma de diseño y normas técnicas de construcción de la caldera y autoclave.
- w) Libro de vida de la caldera y autoclave, foliado, tamaño oficio.
- x) Copia de documento que acredita el registro del equipo, cuando se trate de aquellos que han sido trasladados o transferidos.
- y) La modificación o cambio de alguno de los antecedentes presentados para su incorporación al registro, debe contar con autorización previa de la autoridad sanitaria.”

#### 1.2.4 RENDIMIENTO DE UNA CALDERA

De acuerdo con la Real Academia Española (RAE, 2019), el rendimiento se define como el "fruto o utilidad de algo en relación con lo que cuesta, gasta o con lo que se ha invertido". En el contexto de las calderas, este concepto se traduce en la proporción de calor aprovechado en el proceso de generación de vapor respecto al calor generado por la combustión del combustible. En términos simples, el rendimiento mide qué tan eficiente es la caldera al transformar la energía del combustible en vapor útil.

La eficiencia de una caldera puede expresarse mediante la siguiente fórmula:

$$RENDIMIENTO (\%) = \frac{\text{CALOR CONTENIDO EN EL VAPOR}}{\text{CALOR CONTENIDO EN EL COMBUSTIBLE QUEMADO}} \times 100$$

En aplicaciones prácticas, las calderas generalmente logran un rendimiento cercano al 70%, mientras que el 30% restante se pierde debido a diversos factores, entre ellos:

- Pérdidas por combustión incompleta: aproximadamente un 9,80%.
- Gases calientes evacuados por la chimenea: alrededor del 14,00%.
- Cenizas o escorias residuales: cerca de un 2,38%.
- Radiación y otras causas: aproximadamente un 3,35%.

Para mejorar el rendimiento de una caldera, es posible implementar las siguientes estrategias:

1. Optimización del sistema de combustión:
  - Mantener limpios los depósitos de hollín en las superficies internas de la caldera, ya que este material reduce la transferencia eficiente de calor.
2. Control de la temperatura de los gases de escape:
  - Asegurar que los gases que salen por la chimenea no superen los 300 °C. Temperaturas más altas no solo aumentan las pérdidas energéticas, sino que también afectan negativamente el tiraje.
3. Aislamiento térmico adecuado:
  - Identificar y cubrir las áreas de la caldera que tienen mayores pérdidas de calor por radiación, utilizando materiales aislantes para minimizar esta transferencia no deseada.
4. Uso de precalentadores de agua:
  - Incorporar sistemas que aumenten la temperatura del agua de alimentación antes de ingresar a la caldera. Esto reduce el esfuerzo energético requerido para generar vapor.
5. Limpieza y mantenimiento regular:
  - Mantener libres de obstrucciones los conductos de humo y las superficies de transferencia de calor, lo que mejora la eficiencia del equipo.
6. Tratamiento adecuado del agua de alimentación:
  - Evitar la formación de incrustaciones mediante procesos de desmineralización y acondicionamiento químico. Esto no solo mejora la eficiencia, sino que también extiende la vida útil de la caldera.

### 1.2.5 COEFICIENTE DE EVAPORACIÓN O VAPORIZACIÓN

El coeficiente de evaporación o vaporización mide la eficiencia con la que una caldera convierte el combustible quemado en vapor. Este indicador se define como la cantidad de kilos de vapor generados por cada kilo de combustible (GLP en este caso) consumido en el hogar de la caldera, y se calcula utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{COEFICIENTE DE EVAPORACION O VAPORIZACION} \\ = \frac{\text{CANTIDAD DE KILOS DE VAPOR GENERADOR(Hrs)}}{\text{EL PESO EN KILOS DEL COMBUSTIBLE(Hrs)}}$$

Este parámetro es crucial porque permite evaluar la eficiencia del sistema al relacionar el consumo de combustible con la producción de vapor, facilitando la identificación de oportunidades de mejora en el proceso de generación de vapor.

En general, un coeficiente de evaporación más alto indica:

- Una mejor calidad del combustible utilizado.
- Una mayor eficiencia del sistema de combustión.
- Un diseño y mantenimiento óptimos de la caldera.

Por tanto, el coeficiente de evaporación es directamente proporcional al rendimiento del sistema. Una mejora en este coeficiente implica que se genera más vapor con la misma cantidad de combustible, lo que reduce los costos operativos y aumenta la sostenibilidad del proceso.

Factores para optimizar el coeficiente de evaporación:

1. Calidad del combustible:
  - Utilizar combustibles con altos valores caloríficos que aseguren una mejor transferencia de energía.
2. Mantenimiento del sistema de combustión:

- Garantizar la correcta calibración del quemador y evitar depósitos de hollín o residuos que puedan reducir la eficiencia.
- 3. Optimización de las condiciones operativas:
  - Regular la relación aire-combustible para lograr una combustión completa, evitando pérdidas por gases no quemados.
- 4. Tratamiento adecuado del agua de alimentación:
  - Reducir la formación de incrustaciones en los tubos, lo que puede disminuir la transferencia de calor.

### **1.2.6 OPERADORES DE CALDERA**

Los avances recientes en la operación y el mantenimiento de las calderas han impulsado una renovación en los sistemas de control e instrumentación. Estos cambios tienen como objetivo optimizar el rendimiento de las calderas, incrementando su eficiencia y confiabilidad mediante mejoras técnicas que garanticen un funcionamiento continuo y seguro. Esto requiere la implementación de prácticas de ingeniería adecuadas.

Además, el concepto de fiabilidad ha evolucionado, haciendo indispensable identificar factores físicos que puedan causar fallas y ajustar los límites operativos para implementar medidas correctivas oportunas. En este contexto, el uso de sistemas de mantenimiento asistidos por ordenador se ha vuelto cada vez más común.

#### 1.2.6.1 Requisitos Para Los Operadores De Calderas

De acuerdo con las normativas relacionadas con generadores de vapor, los operadores deben cumplir con los siguientes requisitos:

- **Formación del operador:** El personal encargado de operar una caldera debe estar adecuadamente capacitado para desempeñar esta función. Para ello, es responsabilidad del fabricante, instalador o usuario con formación técnica proporcionar la inducción necesaria que permita al operador realizar su trabajo de manera segura y eficiente.
- **Funciones y responsabilidades:** El operador tiene la obligación de monitorear, supervisar y controlar el funcionamiento del equipo. Asimismo, debe tener especial

cuidado con los riesgos asociados a la operación de calderas, ya que un error en la manipulación, mantenimiento o manejo del equipo puede tener consecuencias negativas tanto para la caldera como para la seguridad del operador. Es indispensable que el operador realice el encendido del equipo, verifique las condiciones de operación y confirme que todo se encuentre en perfecto estado, revisando de manera minuciosa los dispositivos de seguridad, limitadores y controles del sistema. Algunas de ellas son :

#### Automatización y digitalización

La incorporación de sistemas automatizados y herramientas digitales ha transformado la forma en que las calderas son operadas y supervisadas. Los sistemas de monitoreo remoto permiten a los operadores obtener datos en tiempo real sobre el funcionamiento del equipo, identificando irregularidades antes de que se conviertan en fallos críticos. Además, los sistemas digitales optimizan el consumo energético y reducen el impacto ambiental, alineándose con las normativas actuales de sostenibilidad.

#### Capacitación continua del operador

El rol del operador de calderas ha adquirido una mayor complejidad debido a la introducción de nuevas tecnologías. Por ello, es fundamental que los operadores reciban capacitación constante para actualizar sus conocimientos en el manejo de sistemas avanzados, así como en las normativas internacionales y locales aplicables. Esta formación incluye aspectos relacionados con la seguridad, la gestión eficiente de recursos y el uso adecuado de las herramientas digitales.

#### Estrategias de mantenimiento predictivo

Una tendencia actual es la implementación de mantenimiento predictivo basado en análisis de datos y algoritmos de inteligencia artificial. Estas herramientas permiten predecir posibles fallos en los componentes de la caldera, optimizando los recursos y evitando paradas inesperadas. Estas estrategias garantizan una mayor fiabilidad del equipo, prolongando su vida útil y reduciendo los costos operativos.

#### Enfoque en sostenibilidad

El operador moderno debe estar capacitado en prácticas que minimicen el impacto ambiental de las calderas. Esto incluye el monitoreo de emisiones contaminantes, la optimización del consumo de combustible y la aplicación de tecnologías limpias. Estas acciones no solo cumplen con los estándares internacionales, sino que también contribuyen a la responsabilidad social de las empresas e instituciones que operan calderas.

### Fiabilidad en la operación

El concepto de fiabilidad ha cambiado drásticamente en las últimas décadas, exigiendo la identificación y mitigación de factores físicos que puedan ocasionar fallos. Ajustar límites operativos y realizar pruebas regulares en los sistemas de control y seguridad son prácticas esenciales para garantizar una operación segura. Los sistemas modernos también cuentan con medidas automáticas que detectan anomalías y realizan paradas de emergencia para evitar daños mayores.

el operador de calderas no solo debe encargarse de la supervisión y el mantenimiento del equipo, sino que también debe ser un profesional capacitado en tecnologías avanzadas, estrategias de sostenibilidad y prácticas de seguridad, contribuyendo al funcionamiento eficiente y seguro de este equipo fundamental.

### **1.2.7 EVOLUCIÓN DEL MANTENIMIENTO**

El mantenimiento industrial es un conjunto de procesos y actividades diseñadas para restaurar un equipo o sistema a su condición operativa original después de una falla o incidente que afecte su funcionamiento. Esto incluye tareas como limpieza, inspección, desarme, instalación, reparación, modificación y pruebas, con el objetivo de garantizar que los equipos funcionen de manera eficiente y segura.

La evolución del mantenimiento está directamente relacionada con las revoluciones industriales, que marcaron grandes transformaciones tecnológicas en los procesos productivos. Estas revoluciones han requerido que los sistemas de mantenimiento evolucionen para adaptarse a la

creciente complejidad de los equipos y a las demandas de mayor productividad. La primera revolución industrial en el siglo XVIII introdujo tecnologías como la máquina de vapor, el uso del hierro y los métodos de producción en serie, lo que aumentó significativamente la producción y la demanda de mantenimiento. Durante este periodo, las tareas de mantenimiento eran realizadas por los propios operarios de las máquinas y se centraban en actividades básicas de reparación y ensamblaje.

A medida que la industria avanzó, especialmente durante las Guerras Mundiales, surgió el concepto de fiabilidad en los equipos industriales. Este concepto se refiere a la capacidad de un equipo para seguir funcionando dentro de los parámetros establecidos sin fallas. En respuesta, los enfoques de mantenimiento se volvieron más preventivos y predictivos, como el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM), que busca anticiparse a las fallas mediante la identificación de modos de falla y estrategias para evitar daños. A partir de los años 80, también se introdujo el concepto de Mantenimiento Productivo Total (TPM), que involucraba a los operarios en las tareas de mantenimiento, con el objetivo de mejorar la eficiencia y reducir el tiempo de inactividad de los equipos.

En la actualidad, con el avance de la cuarta revolución industrial, las tecnologías digitales, el software SAP y la inteligencia artificial (IA) están transformando los procesos de mantenimiento. Estas innovaciones permiten realizar un mantenimiento más proactivo, monitoreando continuamente el estado de los equipos y anticipando posibles fallas antes de que ocurran, lo que mejora la eficiencia operativa y reduce costos.

### **1.2.8 MANTENIMIENTO INDUSTRIAL**

El mantenimiento se refiere al conjunto de acciones y procedimientos destinados a preservar, restaurar o mejorar la funcionalidad de equipos, maquinarias y sistemas en entornos industriales. Su objetivo principal es garantizar la continuidad operativa y la eficiencia de los procesos productivos, minimizando el tiempo de inactividad y los costos asociados a fallas.

El mantenimiento es un conjunto de métodos y sistemas que nos permiten prevenir fallos en los equipos y realizar las comprobaciones y reparaciones adecuadas para garantizar el correcto funcionamiento del equipo. En resumen, el principal objetivo de la retención es ayudar a la empresa a ganar más dinero. dinero evitando pérdidas por piezas defectuosas o paradas prematuras de la línea de producción.

#### **1.2.8.1 MANTENIMIENTO PARA CALDERAS**

Este apartado aborda la relevancia de llevar a cabo las mantenciones necesarias en las calderas y detalla los trabajos que deben considerarse para garantizar su correcto funcionamiento. La implementación de programas de mantenimiento responde a dos necesidades fundamentales:

- Garantizar un suministro confiable de vapor.
- Mantener altos niveles de eficiencia operativa.

El objetivo principal de estas acciones es reducir costos asociados a fallas imprevistas en el suministro de vapor durante los procesos productivos, además de minimizar los gastos relacionados con la operación del equipo.

Ignorar las recomendaciones del fabricante puede derivar en fallas inesperadas que afecten la generación de vapor, causando interrupciones en los procesos productivos y, como consecuencia, costos adicionales debido a paradas no planificadas.

Un ejemplo claro es el aumento del consumo de combustible, donde cada incremento de 20°C en la temperatura de los gases de salida de la caldera se traduce en un aumento del 1% en el consumo. Esto ocurre por la acumulación de hollín en las superficies de transferencia de calor. En conclusión, la falta de mantenimiento adecuado no solo afecta la eficiencia del equipo, sino que también incrementa innecesariamente los costos de producción de vapor, algo que puede prevenirse con una correcta gestión del mantenimiento.

### **1.2.8.2 CLASIFICACIÓN DE LOS TIPOS DE MANTENIMIENTO**

#### Mantenimiento Correctivo

Este tipo de mantenimiento se refiere a la intervención que se realiza después de que ocurre una falla. La acción se centra en restaurar el equipo o sistema a su estado operativo normal una vez que se ha detectado una anomalía o fallo. Aunque es efectivo para corregir problemas, puede implicar costos elevados, tiempo de inactividad no planificado y riesgos operativos. Por lo general, no se recomienda como estrategia principal, pero es necesario para situaciones imprevistas donde otras estrategias no han sido implementadas.

#### Mantenimiento Preventivo

El mantenimiento preventivo busca evitar fallas programando inspecciones, reemplazos y reparaciones a intervalos regulares. Se basa en la idea de que, al realizar actividades de mantenimiento en momentos predecibles, se puede extender la vida útil de los equipos y reducir las probabilidades de fallas inesperadas. En el caso de las calderas, esto incluye la limpieza periódica, la inspección de componentes críticos, el cambio de válvulas y la verificación de los sistemas de seguridad, entre otras tareas. El beneficio principal del mantenimiento preventivo es la reducción del tiempo de inactividad y la mejora en la eficiencia operativa.

#### Mantenimiento Predictivo

El mantenimiento predictivo utiliza tecnologías avanzadas para monitorear las condiciones operativas de los equipos y anticipar fallas antes de que ocurran. Las herramientas más comunes en este tipo de mantenimiento incluyen el análisis de vibraciones, la termografía infrarroja, el análisis de aceite y el monitoreo en línea de parámetros como la temperatura, presión y desgaste de los componentes. Estas tecnologías permiten detectar desviaciones de las condiciones normales, lo que facilita la intervención antes de que el equipo falle completamente. En el caso de las calderas, el uso de sensores de temperatura y presión o el análisis de vibraciones puede prevenir problemas graves y costosos.

#### Mantenimiento Asistido por Tecnología

El mantenimiento asistido por tecnología implica el uso de herramientas y tecnología avanzadas, como inteligencia artificial y análisis de datos, para optimizar los procesos de mantenimiento.

Estos sistemas permiten análisis en tiempo real, lo que le ayuda a tomar decisiones más informadas y precisas. Un ejemplo de esto es un sistema computarizado de gestión de mantenimiento, que utiliza algoritmos de inteligencia artificial para predecir las necesidades de mantenimiento, haciendo el proceso más eficiente.

### **1.2.9 ESTRATEGIAS DE MANTENIMIENTO PARA CALDERAS**

Las calderas, debido a su importancia crítica en muchos procesos industriales, requieren estrategias de mantenimiento específicas para garantizar su seguridad y eficiencia. Algunas de las principales estrategias incluyen:

- **Mantenimiento basado en condiciones:** Utiliza sensores y herramientas de monitoreo para evaluar la condición real de la caldera. Esta estrategia se centra en operar las calderas hasta el momento en que la condición del equipo indique la necesidad de intervención.
- **Mantenimiento predictivo:** Mediante el uso de tecnologías avanzadas como la termografía o el análisis de vibraciones, se puede predecir el comportamiento futuro de los componentes de la caldera, lo que permite programar intervenciones antes de que se produzca una falla.
- **Mantenimiento preventivo:** Incluye tareas programadas como la limpieza de tubos, la inspección de la válvula de seguridad y la verificación de las bombas. Esto minimiza los riesgos operativos y mejora la eficiencia general de la caldera.

#### **Beneficios de las Estrategias de Mantenimiento para Calderas:**

- **Reducción de tiempos de inactividad:** Al aplicar el mantenimiento preventivo y predictivo, se minimizan las paradas no planificadas, lo que aumenta la disponibilidad del equipo.
- **Mayor vida útil:** El mantenimiento adecuado puede extender la vida útil de las calderas, reduciendo la necesidad de reemplazos costosos.

- **Seguridad operativa mejorada:** Las inspecciones regulares y el mantenimiento predictivo ayudan a prevenir fallas catastróficas que podrían representar un riesgo para los operadores.
- **Eficiencia energética:** El mantenimiento adecuado asegura que las calderas operen con la máxima eficiencia, lo que contribuye a la reducción de costos operativos y consumo energético.

### Programas de Mantenimiento e Inspección

La mayoría de los problemas en las calderas pueden prevenirse mediante un adecuado programa de mantenimiento e inspección. Estas actividades son esenciales para garantizar la operación segura, eficiente y continua del equipo. Para lograrlo, se requiere la colaboración entre operadores y personal de mantenimiento, quienes deben resolver las problemáticas que surjan con el tiempo.

Con el avance de la tecnología, los procesos productivos han incorporado sistemas automatizados que permiten un control más seguro y eficiente de las calderas. Sin embargo, esto también ha incrementado la complejidad en la intervención de los sistemas de seguridad y en la resolución de errores.

Es fundamental que los operadores cuenten con las habilidades necesarias para manejar el equipo manualmente cuando sea necesario y realizar una verificación independiente de los sistemas de control. La falta de supervisión adecuada, errores en las pruebas de válvulas de seguridad o el mantenimiento deficiente de los equipos auxiliares, como los sistemas de alimentación de reserva y los mecanismos de corte por bajo nivel de agua, pueden ocasionar daños irreparables.

En casos extremos, como la acumulación de combustible no quemado en una caldera, se corre el riesgo de sobrecalentamiento en seco, lo que podría generar una peligrosa relación aire-

combustible, aumentando la posibilidad de accidentes graves si los controles de seguridad no actúan de manera oportuna.

Por estas razones, las calderas pequeñas también representan un alto riesgo de explosión para las instalaciones que las operan, si no se les brinda el mantenimiento adecuado y constante.

**CAPITULO II: ESTADO ACTUAL DE LA  
CALDERA A VAPOR DEL DEPARTAMENTO DE  
MECANICA**

## 2.EMPRESA ESCOGIDA

La sede Concepción de la Universidad Técnica Federico Santa María (UTFSM) es una extensión de esta prestigiosa institución en la región del Biobío, enfocada en la formación de profesionales en ingeniería y áreas técnicas aplicadas. Esta sede proporciona una educación basada en principios de excelencia y rigor académico, con programas diseñados para satisfacer las necesidades de la industria local y nacional.

A través de su modelo educativo, la sede Concepción enfatiza el aprendizaje práctico y la investigación, integrando a sus estudiantes en proyectos reales y experiencias laborales que fortalecen su preparación profesional. La UTFSM en Concepción mantiene vínculos activos con empresas e instituciones de la región, facilitando oportunidades de prácticas y proyectos colaborativos. Además, su compromiso con la innovación y el desarrollo sostenible en la industria contribuye al crecimiento económico y tecnológico del sur de Chile.



*Ilustración 6 Fotografía UTFSM sede concepcion*

Ubicación: Arteaga Alemparte 943, Hualpén, Bío Bío

## **2.1 HISTORIA**

La Universidad Técnica Federico Santa María (UTFSM), sede Concepción, es una de las instituciones más prestigiosas de Chile en la formación de ingenieros y profesionales en áreas técnicas. La UTFSM fue fundada en 1931 por el filántropo Federico Santa María en Valparaíso, con el objetivo de ofrecer una educación de alto nivel técnico y científico. La sede de Concepción se estableció para atender las necesidades industriales de la región del Biobío, una zona clave para el desarrollo industrial del país.

Desde su creación, la sede ha contribuido significativamente a la formación de profesionales altamente capacitados, ofreciendo programas de pregrado y postgrado en ingeniería y áreas afines. La universidad mantiene un enfoque en la vinculación con la industria local, promoviendo la innovación, la investigación aplicada y el desarrollo de proyectos que respondan a las demandas del sector productivo. Además, la sede se destaca por su infraestructura moderna y sus laboratorios de última tecnología, que brindan a los estudiantes un entorno educativo práctico y alineado con los desafíos del mundo laboral.

La UTFSM en Concepción es reconocida por su calidad educativa y su compromiso con la formación de profesionales capaces de aportar al desarrollo tecnológico e industrial de Chile.

### **Introducción a la Octava Región: El Campus Concepción**

La Región del Biobío, conocida por su dinamismo económico e industrial, se convirtió en un punto estratégico para la UTFSM. En 1966, se inauguró el Campus Concepción, con el objetivo de contribuir al desarrollo industrial y tecnológico de la región. Concepción, como capital regional y polo industrial, ofrecía un entorno ideal para establecer una sede que fortaleciera la formación de profesionales y promoviera la investigación aplicada.

## **Motivos de la Expansión a Concepción**

**Desarrollo Industrial:** La Región del Biobío se destacaba por su actividad industrial en sectores como la minería, la industria forestal, la celulosa, la energía y la construcción naval. Esto demandaba un flujo constante de ingenieros y técnicos altamente calificados.

**Proximidad a Empresas Clave:** Empresas como CAP Acero, Enap Refinerías, y CMPC, entre otras, requerían profesionales formados en áreas tecnológicas y con una fuerte orientación práctica.

**Acceso Regional a la Educación Superior:** En la década de 1960, el acceso a educación superior de calidad era limitado en regiones fuera de Santiago y Valparaíso. La UTFSM buscó reducir esta brecha.

## **Impacto de la Universidad Santa María en la Región del Biobío**

### **1. Formación de Capital Humano**

Desde su llegada a la región, la UTFSM ha contribuido a la formación de miles de profesionales en áreas clave como ingeniería mecánica, ingeniería eléctrica, ingeniería civil industrial e ingeniería en informática. Esto ha fortalecido la base técnica y profesional de la región, garantizando un flujo constante de trabajadores altamente calificados para satisfacer las necesidades del sector industrial.

### **2. Colaboración con la Industria**

El campus ha establecido alianzas estratégicas con empresas locales, desarrollando proyectos de investigación aplicada, innovación tecnológica y capacitación continua para profesionales en ejercicio. Estas colaboraciones han permitido impulsar avances tecnológicos y mejorar la competitividad de la región en mercados nacionales e internacionales.

### 3. Desarrollo Regional y Descentralización

La presencia de la UTFSM en Concepción ha sido un motor para el desarrollo económico, social y cultural de la región. Además, ha promovido la descentralización del conocimiento, facilitando el acceso a educación superior de calidad para estudiantes provenientes de zonas rurales y de menores ingresos.

### 4. Contribuciones en Investigación e Innovación

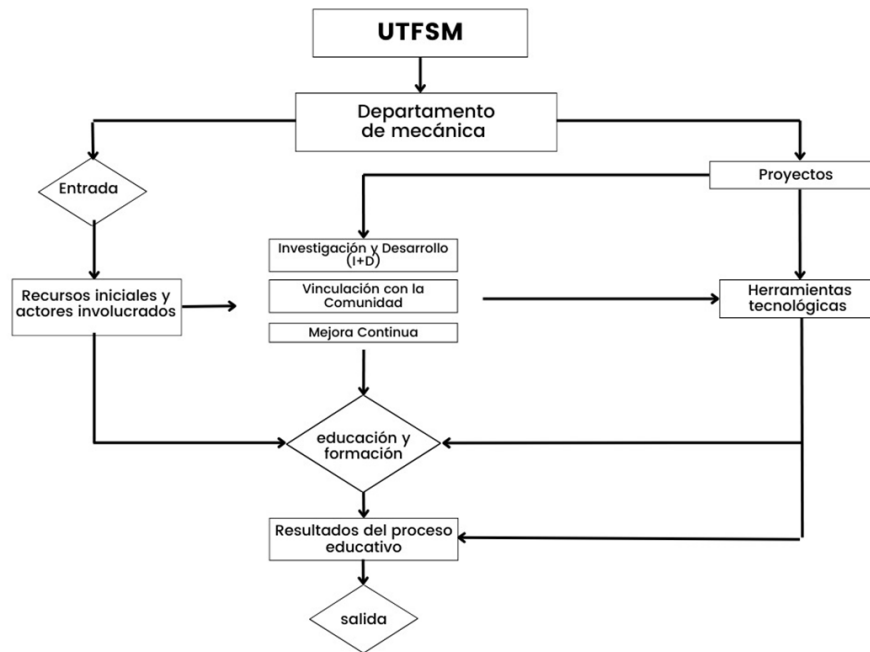
El campus ha sido un centro activo de investigación en áreas como energías renovables, tecnologías de información, automatización industrial y desarrollo sustentable. Esto ha generado no solo conocimientos nuevos, sino también soluciones prácticas para problemas locales y nacionales.

#### La UTFSM Hoy en el Biobío

Actualmente, el Campus Concepción de la UTFSM sigue desempeñando un papel clave en la formación de ingenieros y técnicos de excelencia. Además, ha fortalecido su oferta académica, incluyendo programas de postgrado y educación continua, lo que permite a los profesionales de la región actualizar sus conocimientos y habilidades.

#### **Proceso Productivo de la Universidad Técnica Federico Santa María (UTFSM) – Sede Concepción**

La sede de la Universidad Técnica Federico Santa María (UTFSM) en Concepción se encuentra dentro del sistema universitario chileno como un referente en la formación de profesionales altamente calificados. Su proceso productivo, entendido desde una perspectiva educativa y de transferencia de conocimientos, se enfoca en satisfacer las demandas de la región del Biobío, caracterizada por su dinamismo industrial, científico y tecnológico. A continuación, se detalla en profundidad:



## Entrada

### 1. Estudiantes:

- Provenientes de diversas localidades.
- Potencial en matemáticas y ciencias técnicas.

### 2. Docentes y Personal Académico:

- Experiencia en industrias clave.

### 3. Infraestructura:

- Laboratorios especializados.
- Aulas tecnológicas.

### 4. Plan de Estudios:

- Actualización constante según necesidades regionales.

### 5. Colaboración Externa:

- Alianzas con industrias y organismos.

## Procesos Internos

**1. Formación Académica:**

- Clases teóricas y prácticas.
- Proyectos interdisciplinarios.

**2. Investigación y Desarrollo (I+D):**

- Generación de conocimiento.
- Transferencia tecnológica.

**3. Vinculación con la Comunidad:**

- Extensión y capacitación técnica.

**4. Mejora Continua:**

- Evaluación y actualización tecnológica.

**Salida**

- 1. Profesionales Calificados:** Ingenieros con habilidades prácticas y de innovación.
- 2. Investigación Aplicada:** Soluciones tecnológicas y publicaciones científicas.
- 3. Impacto Regional:** Incremento de competitividad industrial.

**Relación con la Caldera**

En el marco del Departamento de Mecánica, esta estructura se adapta para incluir la caldera a vapor como un eje clave en la investigación y formación técnica, contribuyendo a:

- Cursos específicos como operación y certificación de calderas.
- Proyectos interdisciplinarios aplicados.
- Formación de profesionales para sectores industriales locales.

Este modelo de proceso asegura la integración de la caldera a vapor en actividades prácticas y en proyectos que impactan tanto la educación como la industria regional. Si necesitas adaptar o ampliar esta información al marco específico de tu tesis, avísame.

### **2.3 SITUACIÓN ACTUAL DEL EQUIPO**

La caldera a vapor instalada en el Departamento de Mecánica de la Universidad Técnica Federico Santa María, sede Concepción, constituye un recurso de alto potencial para la formación técnica y práctica de los estudiantes. Sin embargo, su uso ha sido limitado desde su adquisición debido a factores como la falta de un plan de mantenimiento estructurado, su prolongada inactividad y su diseño industrial, que no está completamente adaptado a fines educativos. Además de la falta de un operador para esta misma.

La inactividad prolongada ha generado problemas como oxidación en componentes internos, acumulación de residuos y posibles fallos en sistemas críticos como los tubos de intercambio de calor y los sistemas de control. Estas condiciones no solo dificultan su uso inmediato, sino que también aumentan los costos y la complejidad de su rehabilitación

### **2.4 EL DISEÑO CON EL ENTORNO EDUCATIVO**

La caldera a vapor fue diseñada originalmente como un equipo industrial, lo que implica que su configuración y funcionamiento no están pensados para un entorno educativo. Esta incompatibilidad presenta varias barreras que limitan su efectividad como herramienta pedagógica:

1. Complejidad en la Operación: El diseño industrial de la caldera implica un sistema de control complejo que requiere conocimientos especializados para su operación. Los estudiantes, al no contar con una capacitación previa en este tipo de equipos, enfrentan dificultades para entender y operar el sistema de manera autónoma. La ausencia de interfaces intuitivas o controles simplificados hace que la interacción de los estudiantes con el equipo sea más difícil y potencialmente peligrosa sin la supervisión adecuada.

Esto limita la oportunidad de aprendizaje práctico, ya que los estudiantes no tienen acceso directo a la caldera para familiarizarse con su funcionamiento sin el riesgo de cometer errores operativos graves.

2. Falta de Interacción Directa y Experiencia Práctica: En un entorno educativo, uno de los objetivos clave es que los estudiantes tengan experiencias prácticas que les permitan comprender mejor los conceptos teóricos. Sin embargo, debido a que la caldera fue concebida para aplicaciones industriales a gran escala, el diseño de su operación está enfocado en la eficiencia a nivel de planta, no en la demostración pedagógica. Esto significa que los estudiantes no pueden interactuar directamente con el sistema de manera detallada, sino que deben depender de observaciones pasivas, lo que limita la experimentación directa con sus componentes.
3. Ausencia de Interfaces Educativas Accesibles: Un equipo diseñado para fines industriales típicamente no cuenta con interfaces de monitoreo fáciles de entender o adaptadas a un entorno académico. La falta de herramientas educativas interactivas, como pantallas que muestren de manera clara y sencilla el estado de los componentes o sistemas de visualización didácticos para los estudiantes, dificulta la comprensión de los procesos que ocurren en la caldera. Para ser efectiva en el aula, la caldera debería tener un sistema que permita a los estudiantes ver y comprender en tiempo real cómo se gestionan el vapor, la temperatura, la presión y otros parámetros clave, facilitando el aprendizaje de los principios de la termodinámica, el control de procesos y la optimización de la eficiencia energética.
4. Dificultades para Integrarse en la Formación: La caldera, siendo un equipo diseñado para operaciones industriales, no se adapta de manera óptima al modelo de enseñanza del Departamento de Mecánica. Las actividades de laboratorio deben ser más estructuradas y seguras para que los estudiantes puedan realizar prácticas didácticas controladas. Al estar diseñada para un entorno operativo industrial, la caldera requiere personal altamente capacitado para su operación, lo que limita el acceso de los estudiantes a una experiencia educativa directa, ya que solo los expertos o operadores certificados pueden

interactuar con ella. Esto crea una brecha educativa, en la que el equipo no se puede utilizar de manera accesible ni como recurso de aprendizaje autónomo.

Dado el costo inicial significativo de este equipo, que se estima en más de 150 millones de pesos al momento de su adquisición, y los valores actuales que podrían duplicar esta cifra, resulta crucial recuperar su funcionalidad y reintegrarla como una herramienta activa en la enseñanza. Esto no solo garantizaría el retorno de la inversión realizada, sino que también contribuiría a fortalecer la formación práctica de los estudiantes en áreas clave de la ingeniería y el mantenimiento industrial.

Para lograr este objetivo, es fundamental realizar un diagnóstico exhaustivo del estado actual de la caldera, involucrando la intervención de expertos para evaluar los componentes críticos, como los tubos y sistemas de combustión, que probablemente requieran limpieza, reparación o reemplazo. Asimismo, la implementación de un plan de mantenimiento y la capacitación de operadores certificados son pasos esenciales para asegurar su operación segura y eficiente, cumpliendo con las normativas de seguridad aplicables. Esto permitirá a la universidad no solo preservar su patrimonio técnico, sino también potenciar la calidad de la educación técnica que ofrece.

## **2.5 DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO**

El generador de vapor AS-500 3P es un equipo monobloque de combustión presurizada y totalmente automático, diseñado con tres pasos de gases, dos de los cuales se desarrollan en la cámara de combustión. Este generador se entrega desde fábrica completamente montado y equipado con todos los accesorios necesarios para su funcionamiento automático.

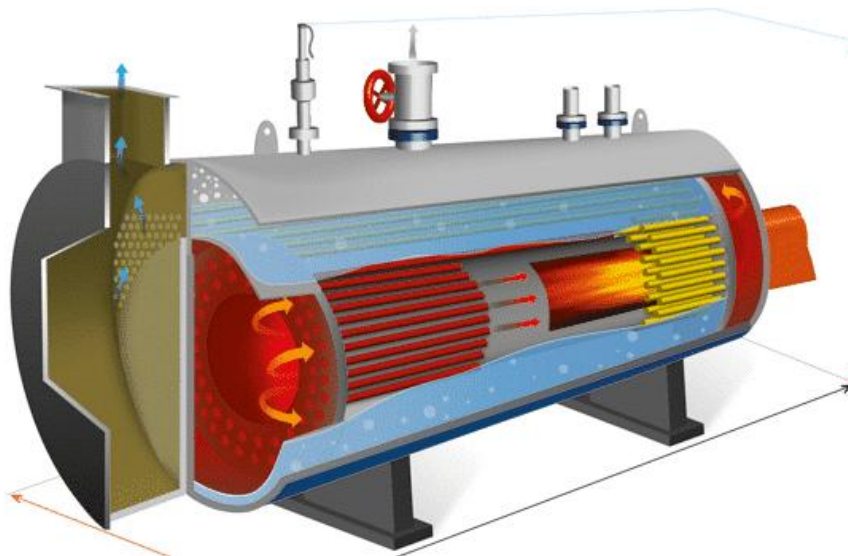
La llama del quemador se origina en la cámara de combustión, rebota en el fondo y regresa hacia la parte delantera del generador, donde pasa por un sistema de tubos. Los gases de combustión son forzados a seguir un trayecto en espiral a través de los tubos gracias a los turbuladores, lo que maximiza la transferencia de calor sin generar tensiones térmicas. Posteriormente, los gases se dirigen a la chimenea a través de la cámara de humos.

El generador permite el uso de quemadores que funcionan con combustibles líquidos o gaseosos tradicionales. El quemador se encuentra montado en un portón refractario, lo que facilita su mantenimiento y ajuste sin necesidad de desmontarlo.

El equipo opera de manera automática, alcanzando una presión de vapor máxima de 7 bar, aunque es posible fabricar modelos con presiones mayores si se requiere. El generador AS-500 3P cumple con la Directiva 97/23/CE (PED) y viene con su correspondiente Certificado de Conformidad y la documentación de los accesorios instalados.

La placa de características, que identifica al equipo y es esencial para el mantenimiento o recambio de piezas, está ubicada en la parte frontal superior del generador.

Este funcionamiento se describe gráficamente dentro de la siguiente figura



*Ilustración 7 Generador de vapor AS-5003P*

## 2.6 PIPING AND INSTRUMENTATION DIAGRAM ( P&ID)

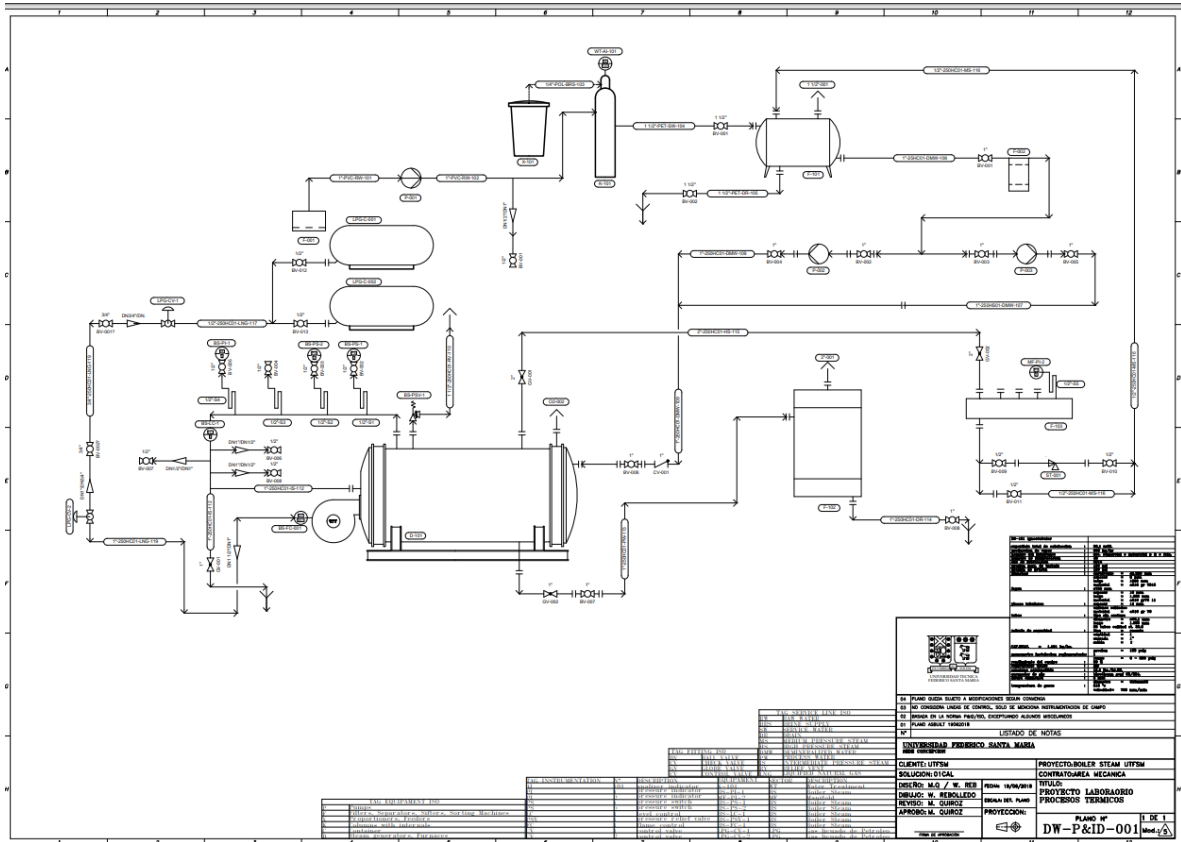


Ilustración 8 P&ID Caldera pirotubular AS-500 3P

El diagrama Piping and Instrumentation Diagram (P&ID) de la caldera pirotubular en la sede de Concepción de la Universidad Técnica Federico Santa María presenta los componentes esenciales y la disposición del sistema de generación de vapor.

Equipos y Tuberías: Este diagrama ilustra la caldera y varios tipos de tuberías, especificando tanto el material como el diámetro de cada una, tales como las líneas de agua cruda (PVC-RW), agua de servicio (SW) y vapor en distintas presiones, incluyendo alta (HS) y media presión (MS).

Válvulas: Se representa una variedad de válvulas, como las de bola (BV), control (CV), retención (GV) y las válvulas de seguridad para alivio de presión (PSV). Cada una de ellas

cumple la función de regular el flujo y la presión en distintas partes del sistema, garantizando el funcionamiento seguro y eficiente de la caldera.

Instrumentación: Contempla instrumentos como indicadores de presión (PI), interruptores de presión (PS), controles de nivel (LC) y sistemas de detección de llama (FC). Estos equipos permiten el monitoreo, control y ajuste de los parámetros operativos de la caldera para mantener condiciones óptimas.

Especificaciones Técnicas: Incluye detalles técnicos como la presión máxima de trabajo (100 psi), producción de vapor (600 kg/h), tipo de combustible utilizado (GLP) y eficiencia (89%). También describe las características del quemador y el sistema de salida de gases, que cuenta con una chimenea de 6 metros de altura y un diámetro de 318 mm.

Este P&ID ofrece una visión clara de la interconexión y el funcionamiento de cada componente, facilitando la correcta administración de su operación y mantenimiento (P&ID Caldera Junio 2018).

## 2.7 COMPONENTES DE LA CALDERA PIROTUBULAR

AS-500 3P

Generador de vapor  
(media presión)

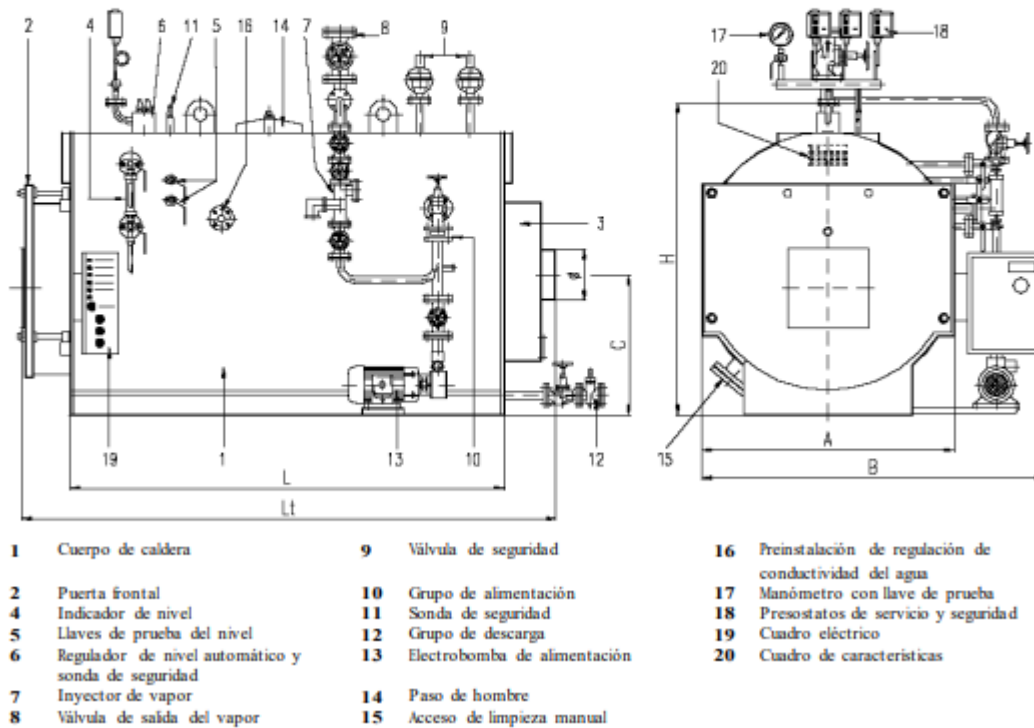


Ilustración 9 Componentes caldera pirotubular AS-500 3P


A continuación, se ofrece una descripción de cada componente del generador de vapor de media presión basado en la imagen proporcionada del manual



1. Cuerpo de caldera: Es el recipiente principal donde se produce el calentamiento del agua para generar vapor, diseñado para soportar las condiciones de presión interna.
2. Puerta frontal: Una abertura en la parte frontal de la caldera que facilita el acceso para inspección, mantenimiento y limpieza.



3. Indicador de nivel: Un dispositivo que permite monitorear el nivel de agua dentro de la caldera, asegurando que se mantenga en el rango operativo adecuado.
4. Llaves de prueba del nivel: Válvulas que se utilizan para verificar manualmente el nivel de agua en la caldera, como medida de seguridad adicional.
5. Regulador de nivel automático y sonda de seguridad: Sistema que controla automáticamente el nivel de agua, previniendo niveles peligrosos, mientras que la sonda actúa como un dispositivo de seguridad adicional.
6. Inyector de vapor: Dispositivo que introduce vapor en la caldera o en los conductos para diversas aplicaciones, como el precalentamiento de agua.
7. Válvula de salida del vapor: Controla la salida de vapor generado para ser distribuido a los diferentes sistemas o procesos que lo requieran.
8. Válvula de seguridad: Mecanismo que libera automáticamente el exceso de presión en la caldera, protegiendo al sistema de posibles sobrepresiones.
9. Grupo de alimentación: Conjunto que regula y suministra agua a la caldera para mantener el nivel adecuado durante su funcionamiento.
10. Grupo de descarga: Permite evacuar agua o sedimentos acumulados en el interior de la caldera, facilitando el mantenimiento y la limpieza.
11. Electrobomba de alimentación: Bomba eléctrica que impulsa el agua hacia la caldera, asegurando un suministro constante y controlado.
12. Paso de hombre: Una abertura diseñada para permitir el acceso de una persona al interior de la caldera para labores de inspección y mantenimiento.
13. Acceso de limpieza manual: Abertura que permite realizar limpiezas manuales de residuos o incrustaciones dentro de la caldera.
14. Preinstalación de regulación de conductividad del agua: Punto en el sistema donde se puede instalar un dispositivo para medir y controlar la conductividad del agua, ayudando a reducir el riesgo de incrustaciones.
15. Manómetro con llave de prueba: Instrumento para medir la presión interna de la caldera y que incluye una llave de prueba para verificar su funcionamiento.



16. Presostatos de servicio y seguridad: Dispositivos de control que apagan el sistema o activan alarmas si la presión excede los límites establecidos.
17. Cuadro eléctrico: Panel que alberga los controles y sistemas eléctricos de la caldera, incluyendo interruptores y mecanismos de seguridad.
18. Cuadro de características: Placa o área con información técnica relevante de la caldera, como su capacidad, presión máxima, tipo de combustible, entre otros.




## 2.8 LEVANTAMIENTO DEL EQUIPO



Imagen	Descripción	Datos técnicos	Estado actual
Tipo de caldera	Pirotubular AS-500 3P, capacidad de 600 kg/h de vapor		Inoperativa
	GLP (Gas Licuado de Petróleo) 2 estanques que proveen combustible a la caldera	-Regulador Equimeter - Mod: #143- 80-2  -Dos Estanques horizontales de 4000 Lts con pintura especial.	

	<p>Es el dispositivo responsable de gestionar el control principal del circuito, permitiendo iniciar y detener el proceso</p>	<p>Alerta de emergencia: Sistema diseñado para advertir sobre situaciones críticas que requieren atención inmediata.</p> <p>Interruptor eléctrico de selección: Dispositivo utilizado para elegir entre diferentes modos o configuraciones eléctricas.</p>	
	<p>Dispositivo creado para la distribución de vapor y la recuperación de condensado en líneas de trazado.</p>		
	<p>Dispositivos utilizados para monitorear la presión interna de la caldera, equipados con conexiones curvadas que garantizan una</p>		

	medición más precisa.		
	El agua se obtiene mediante una bomba que la extrae desde una puntera.	Electrobomba centrífuga monofásica. - Marca: Pedrollo - Modelo: CPm158 - HP: 1 - Caudal: 160 l/min	
	Sección responsable del tratamiento del agua, encargada de regular la cantidad de minerales dentro de los parámetros establecidos y controlar los niveles de sales de magnesio y calcio.	Bomba dosificadora electromagnética de diafragma. - Marca: Aquaclean - Modelo: DPQ 1 Estanque de 150 L, tapa rosca de polietileno lineal LLDPE.	

	<p>Depósito horizontal con diseño en forma de toroide.</p>	<p>Tiene una entrada en la parte superior lado izquierdo. Entrada por lado inferior izquierdo, salida parte inferior derecha y un retorno parte superior derecha.</p>	
	<p>Bombas responsables de suministrar agua tratada a la caldera, funcionando de manera independiente.</p>	<p>Fabricante : CNP</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Modelo: CDLF 2-18</li> <li>➤ Voltaje: 380 V</li> <li>➤ Potencia: 3 HP - 4,8 A</li> <li>➤ Caudal: 53,3 – 16,6</li> <li>➤ Lts/min.</li> <li>➤ Presión: 91 – 161 MCA</li> </ul>	

	<p>Produce la llama que circula a través de los conductos de la caldera, los cuales calientan el agua.</p>		
	<p>Responsable de eliminar el oxígeno y el CO2, evitando que estos gases se disuelvan en el agua. De esta manera, se previenen los daños por corrosión en las placas, tubos y cordones de soldadura</p>	<p>Tanque Desaireador: Equipo que elimina gases disueltos, como oxígeno y dióxido de carbono, del agua de la caldera para prevenir corrosión, utilizando calor y ventilación.</p>	
	<p>La válvula de seguridad es un accesorio que libera la energía acumulada en caso de sobrepresión. Actúa automáticamente cuando la presión excede los límites,</p>	<p>Válvula de Seguridad</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Marca: Conbraco</li> <li>• Serie: 19</li> <li>• Rango del resorte: 10 a 250 psi</li> </ul>	

	<p>permitiendo la liberación controlada de vapor o agua para evitar daños estructurales o fallos en el sistema, garantizando así la seguridad y previniendo accidentes graves.</p>		
	<p>Dispositivo encargado de regular el flujo de agua de descarga de la caldera en caso de vaciarla.</p>	<p>Válvula tipo bola Sensor para controlar el flujo</p>	
	<p>Dispositivos de control utilizados para regular y ajustar el nivel del agua en la caldera.</p>	<p>Llaves de paso - Marca: Conbraco - Material: Cuerpo de bronce - Conexión: Hilo NPT</p>	

	<p>Dispositivo que permite observar visualmente el nivel de agua dentro de la caldera, asegurando su funcionamiento adecuado.</p>	<p>Tubo nivel de calderas</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Marca: Fitvalv</li> <li>- Retencion de seguridad: retiene el vapor o agua en caso de romperse el tubo de vidrio</li> <li>- Varillas de protección para el tubo</li> </ul>	
	<p>Instrumento que regula el nivel de agua, tanto alto como bajo, y activa una alarma en caso de emergencia. Funciona con platinos impulsados por un flotador, y detiene el suministro de agua desde la bomba cuando se alcanza un nivel crítico</p>	<p>Control de nivel</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Marca: MCDonell &amp; Miller</li> <li>- Modelo: N°157</li> <li>- Presión Max: 150 psi</li> <li>- Material flotador: Bronce</li> <li>- Material cuerpo: Fierro fundido.</li> <li>- Material contacto: Platino</li> </ul>	

Tabla 1 Levantamiento del equipo

De acuerdo con la normativa vigente, la caldera cuenta con las siguientes especificaciones:

1)Tipo de caldera	igneotubular modelo: ipe 600
2)Superficie total de calefacción	26,1 m <sup>2</sup>
3)Producción de vapor	600 kg/hr
4) Nombre del fabricante	Soc. Comercial e industrial P&E Ltda.
5)Numero de fabrica	48
6) Año de fabricación	2016
7) Presión Max. De trabajo	100 psi
8) Presión de prueba	150 psi
9) Planchas largo	envolvente ø 1.280 mm; espesor 8 mm. 1980 mm, material: a516 gr 70
10) Fogón material	ø 750 mm, espesor 10 mm, largo 1.280 mm. A516 gr70
11)Placas tubulares material	espesor 14 mm uniones soldadas a516 gr 70
12) Tubos	tipo sin costura ø 38,1 mm, largo 1.980mm, 85 tubos calidad st. 35.8
13) Válvula de seguridad, diámetro, capacidad evacuación c/u	tipo resorte cantidad 1 entrada: 1"; salida: 1" 1.101 kg/hr. Presión: 100 psig.
14) Tapón fusible	No
15) Manómetro instalación reglamentaria: 1, rango	0 - 200 psi.
16) Indicador(es) de nivel	Si
17) Tubos de nivel	1
18) N° llaves de prueba	3
19) Otros accesorios	alarma sonora, bajo nivel de agua.
20) Rendimiento del equipo	89 %

21) Combustible usado	glp.
22) Consumo combustible	12.4 lts./hr.
23) Quemador de glp	Blowtherm gvpf 50/2.
24) Atomización	--
25) Altura chimenea	6 mts. Diámetro 318mm.
26) Temperatura de gases	210 °c velocidad: 720 mm/min.
27) Equipo recup. De calor	No
28) Operación del equipo	no asignado.
29) Control de emisiones	no.
30) Nombre sist. De control	--
31) Registro nacional n°	--
32) Fecha empadronamiento	--
33) Si fue adquirida nueva	Si
34) Nombre del vendedor	Soc. Comercial e industrial P&E Ltda.
35) Dirección del vendedor	Erasmó Escala n° 772, Chillán Viejo
36) Fecha y naturaleza de la última reparación:	no realizada.
37) Tipo sistema desincrustante	intercambio iónico.

Tabla 2 Basado en el "Manual de instrucciones para la operación de una caldera de vapor.

## **2.9 OPORTUNIDAD DE MEJORA**

### RELACIÓN CON LOS OBJETIVOS EDUCATIVOS

La caldera a vapor del Departamento de Mecánica de la Universidad Técnica Federico Santa María tiene el potencial de ser un recurso educativo clave en la formación técnica de los estudiantes, especialmente en áreas relacionadas con la ingeniería mecánica, mantenimiento industrial y termodinámica. Con la integración adecuada de este equipo en el taller de mantenimiento industrial, se pueden alcanzar diversos objetivos educativos, los cuales fortalecerían las competencias de los estudiantes en diversas áreas de conocimiento.

#### Potencial Pedagógico

La caldera, al ser un equipo industrial complejo, ofrece la oportunidad de enseñar conceptos fundamentales de la ingeniería, como los principios de la termodinámica, la transferencia de calor, y los sistemas de combustión. Los estudiantes pueden estudiar y practicar la generación de vapor, los ciclos térmicos y la optimización de los procesos de combustión. Además, la caldera brinda la oportunidad de familiarizarse con componentes industriales, como los quemadores, turbinas y sistemas de alimentación de agua, siendo elementos cruciales para una completa comprensión de los sistemas térmicos industriales.

#### Desarrollo de Habilidades Prácticas

En el contexto de mantenimiento industrial, la caldera permite la formación práctica en diversas técnicas de diagnóstico, reparación, y mantenimiento. Los estudiantes pueden enfrentarse a situaciones reales de fallas mecánicas o deterioro de componentes, aprendiendo a aplicar las técnicas correctas de mantenimiento preventivo y predictivo. La habilidad de identificar y solucionar problemas mecánicos en equipos industriales fortalece las competencias prácticas de los estudiantes, preparándolos para el mercado laboral.

#### Fomento de la Investigación Aplicada

Además de su uso en la formación práctica, la caldera también puede ser una base para proyectos de investigación aplicada. Los estudiantes pueden investigar aspectos como la mejora de la eficiencia energética, el análisis de materiales resistentes a altas presiones y temperaturas, y el desarrollo de tecnologías para la optimización del rendimiento de sistemas de generación de vapor. Este tipo de investigación no solo enriquece la formación académica, sino que también contribuye a la innovación dentro del campo de la ingeniería.

### Preparación para el Mercado Laboral

La utilización de una caldera industrial en el taller proporciona a los estudiantes la experiencia directa con tecnologías reales, lo que les da una ventaja significativa al ingresar al mercado laboral. Aprender a operar, mantener y solucionar problemas en equipos de gran escala, como una caldera a vapor, los prepara para afrontar los desafíos que encontrarán en sus futuros empleos, particularmente en sectores industriales como la generación de energía, petroquímica, y manufactura.

### **2.2.1 BENEFICIOS POTENCIALES DE SU REACTIVACIÓN**

La reactivación de la caldera traería consigo una serie de beneficios, tanto en el ámbito educativo como en el aprovechamiento de los recursos técnicos de la universidad. En primer lugar, su operatividad mejoraría la formación práctica de los estudiantes en áreas clave de la ingeniería y el mantenimiento industrial. La caldera podría convertirse en una herramienta de enseñanza invaluable, permitiendo a los estudiantes experimentar directamente con equipos industriales de alta complejidad.

Asimismo, la caldera podría servir como base para proyectos de investigación aplicados en áreas como la optimización energética, la mejora de sistemas de combustión, y la eficiencia de procesos térmicos. Esto no solo contribuiría al desarrollo académico de los estudiantes, sino que también posicionaría a la universidad como un referente en la investigación aplicada en este campo.

Finalmente, al restaurar la caldera y ponerla nuevamente en funcionamiento, la universidad estaría optimizando el uso de sus recursos técnicos, evitando que este equipo valioso se convierta en un gasto improductivo y asegurando que cumpla su propósito original como herramienta educativa y técnica.

#### Alineación con Normativas

La rehabilitación de la caldera ofrece una oportunidad clave para garantizar que la universidad cumpla con las normativas y estándares vigentes en la operación de calderas. El cumplimiento de las regulaciones de seguridad es esencial no solo para garantizar el bienestar de los estudiantes y el personal, sino también para validar la calidad de la formación técnica que se imparte. Esto implica la actualización de los sistemas de seguridad, la instrumentación y la conformidad con las normativas internacionales como la ASME, el DS N° 48 de Chile, entre otras.

El alineamiento con estos estándares no solo mejora la seguridad y confiabilidad operativa de la caldera, sino que también proporciona a los estudiantes una comprensión profunda de la importancia de cumplir con las normativas en su futura carrera profesional. El trabajo con equipos que cumplen con las regulaciones del sector proporciona a los estudiantes una ventaja competitiva cuando ingresen al mercado laboral, ya que muchos empleadores valoran la experiencia práctica con sistemas industriales que cumplen con las normativas internacionales de seguridad y calidad.

#### **2.2.2 IMPLEMENTACIÓN DEL ESTUDIO DE BRECHA PARA LA CALDERA A VAPOR**

El estudio de brecha permitirá evaluar la eficacia de las operaciones actuales de la caldera a vapor en el Departamento de Mecánica de la Universidad Técnica Federico Santa María. Este enfoque tiene como objetivo identificar áreas de mejora en diversos aspectos clave, como la tecnología, el mantenimiento y la integración pedagógica de la caldera. Mediante este análisis,

se podrán identificar discrepancias significativas entre el estado actual de la caldera y el estado deseado para su operatividad y utilidad educativa.

El análisis FODA (Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas) se utilizará como una herramienta estratégica para profundizar en los aspectos internos y externos de la caldera. Esto nos ayudará a comprender mejor la situación actual de la caldera, identificar las fortalezas que pueden ser aprovechadas, las oportunidades que pueden ser explotadas, las debilidades que deben ser corregidas y las amenazas que podrían poner en riesgo su funcionamiento o su viabilidad como herramienta educativa.

Además del análisis Ishikawa se aplicará a la caldera a vapor del Departamento de Mecánica para identificar las causas raíz de los problemas que han afectado su funcionamiento y aprovechamiento educativo. Este diagrama permitirá desglosar los factores internos y externos que contribuyen al deterioro y desuso del equipo, tales como la falta de planificación en el mantenimiento, la des priorización administrativa, las condiciones técnicas que limitan su uso como herramienta pedagógica, y la falta de personal capacitado. Con este análisis, se podrá comprender mejor la situación actual de la caldera y desarrollar estrategias para corregir las deficiencias, promoviendo su reactivación y aprovechamiento efectivo en la formación de los estudiantes.

### **2.2.3 MATRIZ FODA PARA CALDERA A VAPOR USM CONCEPCIÓN**

Fortaleza	Debilidades
-----------	-------------

<ul style="list-style-type: none"> <li>• La caldera fue diseñada como un equipo industrial de alta capacidad, lo que le otorga un valor significativo en términos de potencia y eficiencia cuando esté en funcionamiento adecuado.</li> <li>• A pesar de su bajo uso, la caldera tiene el potencial de ser una herramienta educativa valiosa para la formación de estudiantes en áreas de mantenimiento industrial, energía y termodinámica.</li> <li>• La caldera ya está integrada en las instalaciones del Departamento de Mecánica, lo que la convierte en un recurso accesible para prácticas y proyectos educativos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La caldera ha estado inactiva durante años, lo que ha conducido a posibles daños como oxidación de los tubos, incrustaciones y fallas en los componentes críticos. Esto dificulta su operación segura y eficiente.</li> <li>• La ausencia de un mantenimiento preventivo adecuado y un plan de operación establecido ha contribuido al deterioro del equipo, lo que incrementa los costos de reparación y retrasa su reactivación.</li> <li>• Al ser inicialmente concebida como una caldera industrial, su diseño no se adapta completamente a las necesidades pedagógicas, lo que limita su uso en el entorno académico.</li> </ul>
<p>Amenazas</p>	<p>Oportunidades</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sin una intervención adecuada, el daño de los componentes de la caldera continuará, lo que aumentará los costos de reparación y puede hacer que la caldera quede completamente fuera de servicio.</li> <li>• La falta de mantenimiento y el envejecimiento de los componentes pueden llevar a que las reparaciones sean cada vez más costosas y</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Con las adecuadas inversiones en mantenimiento y modernización, la caldera puede ser reintegrada como un recurso clave en la formación práctica de los estudiantes, sirviendo en experimentos de generación de vapor, termodinámica y control de sistemas industriales.</li> <li>• La reactivación de la caldera y su integración en proyectos de investigación aplicada podría facilitar</li> </ul>

<p>complejas, superando el valor actual de la caldera.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Las normativas de seguridad para equipos a presión y calderas, tanto nacionales como internacionales, exigen que la caldera cumpla con requisitos específicos. El incumplimiento podría representar un riesgo legal y de seguridad si no se realizan las reparaciones adecuadas.</li> </ul>	<p>alianzas con empresas del sector energético o de mantenimiento industrial, mejorando la colaboración Universidad–Industria.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• La modernización de algunos componentes, como los sistemas de control y monitoreo, podría aumentar la eficiencia operativa y proporcionar una plataforma de enseñanza más moderna y precisa.</li> </ul>
---	---

Tabla 3 Matriz FODA.

El análisis FODA aplicado a la caldera a vapor del Departamento de Mecánica de la Universidad Técnica Federico Santa María resalta varias áreas clave. En cuanto a oportunidades, se destaca la posibilidad de modernizar el equipo con nuevas tecnologías que optimicen su operación y permitan mejorar la experiencia educativa para los estudiantes. Esto incluye la implementación de sistemas de monitoreo en tiempo real, alineando la formación con las tendencias actuales del sector industrial. Las fortalezas del equipo, como su capacidad y componentes robustos, pueden potenciarse al darle un uso más funcional y didáctico, mejorando la enseñanza del mantenimiento industrial.

Sin embargo, amenazas como el deterioro físico y la obsolescencia tecnológica, junto con los costos de reparación crecientes, ponen en riesgo su operatividad y relevancia educativa. El análisis de brechas muestra discrepancias entre el estado actual de la caldera, que está en desuso y deterioro, y el estado deseado, que implica un equipo completamente operativo y actualizado para su uso en el aula. Reactivar y mantener la caldera no solo optimizaría los recursos educativos, sino que también garantizaría la preparación de los estudiantes para enfrentar los desafíos del mercado laboral, fortaleciendo el rol de la universidad como líder en formación técnica.

## **CAPITULO III: DESARROLLO**

## **CALDERA A VAPOR DEL DEPARTAMENTO DE MECÁNICA DE LA UTFSM: DIAGNÓSTICO INICIAL**

La caldera a vapor instalada en el Departamento de Mecánica de la Universidad Técnica Federico Santa María, sede Concepción, presenta múltiples desafíos debido a su estado actual y su limitada funcionalidad desde su instalación. El equipo, concebido originalmente para aplicaciones pedagógicas, no ha recibido los cuidados necesarios para su preservación durante períodos de inactividad, lo que ha derivado en un deterioro significativo de sus componentes internos. Problemas como la corrosión, acumulación de residuos y desgaste de piezas críticas reflejan la falta de un plan de mantenimiento estructurado y adecuado.

Además, no se implementaron procedimientos de hibernación durante su desuso prolongado, y cuando se llenó nuevamente de agua, tampoco se llevaron a cabo protocolos estandarizados para evitar daños adicionales. Estas malas decisiones han contribuido al deterioro acelerado del equipo, dificultando su reactivación y comprometiendo su operatividad.

Por otro lado, el diseño industrial de la caldera no está alineado con las necesidades pedagógicas del Departamento de Mecánica, lo que limita su utilidad como herramienta educativa. Su configuración compleja y la falta de interfaces didácticas dificultan su integración en las actividades de enseñanza, reduciendo así las oportunidades de aprendizaje práctico para los estudiantes.

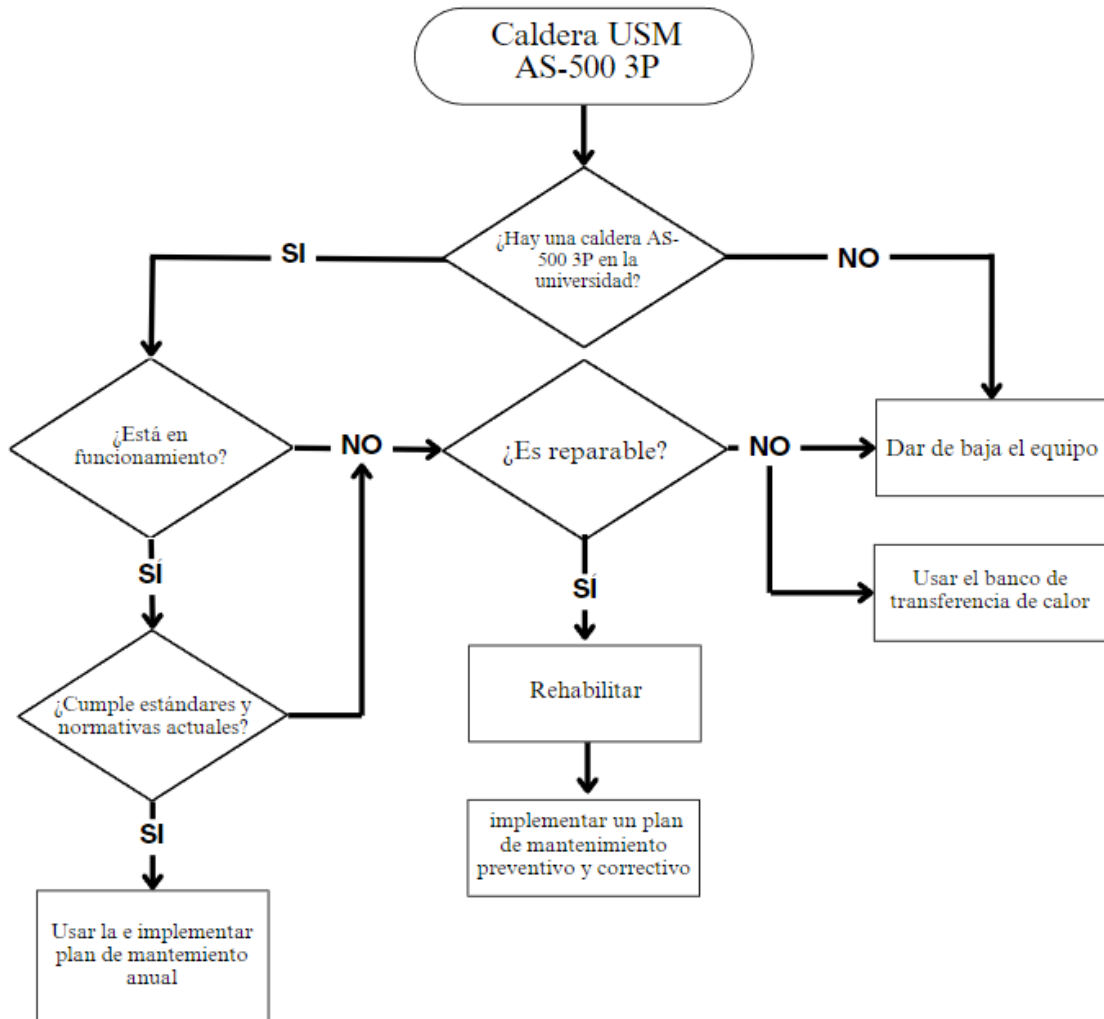


Ilustración 10 árbol de soluciones

**PROPUESTA DE REHABILITACIÓN PARA LA CALDERA A VAPOR DEL DEPARTAMENTO DE MECÁNICA DE LA UTFSM**

Diagnóstico De Estado De Generador De Vapor Departamento De Mecánica USM, Concepción

La necesidad de contar con un equipo moderno que permita efectuar de forma empírica y cognitiva los diversos conocimientos sobre calderas y transferencia de calor es imprescindible; ya que consciente de nuestro rol como universidad líder en tecnología y en la formación profesional, las incorpora en el marco de la enseñanza que imparte a sus alumnos con la seguridad de que esto redundará en beneficio del país y de nuestra sociedad.

Esto además permitirá generar un criterio sobre el mantenimiento, disminución de costos operacionales, seguridad, disminución considerable en la inversión y renovación de energías, funcionalidad de los fenómenos de calor y generación de vapor, entre otros.

La carencia de un laboratorio de transferencia de calor se ha subsanado en cierta medida con presentaciones multimedia, con imágenes obtenidas en internet para la explicación en clases, pero ha imposibilitado la integración real y empírica de los generadores a vapor.

La tecnología del equipo contemplado para este proyecto, son las que utiliza las empresas actuales en el rubro mecánico, forestales, navales, etc.; servicios que cada vez se hacen más especializados y requeridos por las empresas productivas del sector industrial.

Una de las grandes preocupaciones existentes y permanentes en la institución a través de los años, ha sido solventar continuamente y de forma concisa las diversas demandas en las áreas de desarrollo tecnológico-científico que abarca nuestro país, y que, con el fin de cumplir los roles esenciales en la construcción del bienestar, el organismo en forma constante realiza numerosas indagaciones en perspectiva para perfeccionar metodologías, técnicas y herramientas cuyo propósito es elevar la calidad de estas, para luego emplearlas en los vastos y variados sectores profesionales.

Sin embargo, todas estas directrices, deben ser controladas por estatutos y comisiones que velan por mantener enfocada esta casta sobre la base de los requisitos y condiciones de operación definidos en la ley, haciendo respetar dichos términos a través de la acreditación.

Dada esta funcionalidad la universidad debe medir sus competencias y predefinir su naturaleza orientativa, apuntando a conocer las fortalezas y debilidades institucionales y corrigiendo estos aspectos, objetivando las necesidades puntuales, convirtiendo estas menguas en progresos perceptibles.

## Mantenimiento preventivo a caldera generadora de vapor

### **PROPUESTA 1: REHABILITACIÓN**

Realizar mantenimientos preventivos a generadores de vapor es crucial para garantizar su funcionamiento seguro, eficiente y prolongado, algunas de las principales razones para llevar a cabo estos mantenimientos en generadores de vapor son:

- **Seguridad:** La caldera es un equipo que opera bajo alta presión y temperaturas elevadas. Un mantenimiento preventivo adecuado ayuda a identificar y corregir posibles fugas, fallas o desgastes en los componentes, reduciendo el riesgo de accidentes o situaciones peligrosas.
- **Eficiencia energética:** Un mantenimiento regular asegura que la caldera funcione con la máxima eficiencia energética posible. Las calderas bien mantenidas consumen menos combustible y generan más calor, lo que se traduce en un menor costo operativo y una huella ambiental reducida.
- **Prolongación de la vida útil:** La realización periódica de mantenimientos preventivos ayuda a detectar y corregir problemas menores antes de que se conviertan en averías importantes. Esto extiende la vida útil de la caldera y evita costosas reparaciones o reemplazos prematuros.
- **Cumplimiento de regulaciones:** Muchas jurisdicciones tienen regulaciones y normativas estrictas relacionadas con el mantenimiento de calderas. Realizar mantenimientos preventivos de manera regular garantiza que la caldera cumpla con los requisitos legales y de seguridad.
- **Disponibilidad y confiabilidad:** Un mantenimiento adecuado reduce la probabilidad de averías inesperadas, lo que garantiza que la caldera esté disponible y funcione de manera confiable cuando sea necesario, especialmente en situaciones críticas o de alta demanda.

- Ahorro económico: Aunque realizar mantenimientos preventivos implica ciertos costos, estos suelen ser menores en comparación con los gastos derivados de reparaciones mayores o el reemplazo de equipos dañados. Además, la mayor eficiencia energética resultante de los mantenimientos reduce los gastos operativos a largo plazo.
- Programación y organización: Los mantenimientos preventivos se pueden programar con antelación, lo que permite una mejor planificación y organización de los recursos y el personal necesario para llevar a cabo las tareas de mantenimiento.

Los trabajos para realizar para el diagnóstico del generador de vapor son:

**ETAPA I: Diagnóstico Estructural de Caldera (incluyendo Prueba Hidráulica):** Para desarrollar el Diagnóstico Estructural Global de la Caldera, se efectuarán las siguientes actividades:

1. Revisión externa para verificar la existencia y estado de los accesorios de control, de observación y de seguridad del generador de vapor, según D.S N°10.
2. Revisión Visual Interna al 100% de todas las partes accesibles:
  - Lado del Fuego (Tubo Hogar, Tubos de Humos, Placas Tubulares, Cámara Húmeda Tubular, Colectores, Uniones Soldadas, etc.).
  - Lado del Agua (Cámara de Vapor, Cámara de Agua, Estayes, Uniones Soldadas, etc.). En caso de ser necesario, en zonas que no sean accesibles, se realizará Videoscopia (u otro equipo) para determinar el nivel de conservación y resultados del tratamiento del agua aplicado.
3. Peritaje de Fallas a todas las soldaduras con Tintas Penetrantes, principalmente en las zonas más propensas de ser

afectadas térmicamente, por desgaste, por fisuras, etc.

4. Para establecer el nivel de desgaste de las paredes de los Tubos y Planchas de la Caldera, se realizarán mediciones

de espesores, con un equipo ultrasónico, de lectura digital, con la finalidad de determinar los niveles de Espesor Críticos del generador de vapor y compararlos con los espesores mínimos establecidos en la respectivas Memorias de Cálculo existente, siempre que haya sido validada técnicamente.

5. Coordinación y Ejecución de Prueba Hidráulica de Caldera, de acuerdo con protocolo D.S. N°10, incluyendo Motobomba Bomba Hidráulica de alta presión y bajo caudal, con todas sus conexiones correspondientes y Equipo de Trabajo para verificar la resistencia estructural y estanqueidad del generador.

6. Revisión de: Libro de Vida, Certificaciones anteriores y todos los antecedentes y/o especificaciones técnicas necesarias para evaluar el generador de vapor.

7. Informe Técnico Estructural del generador y, en caso de ser necesario, propuesta del alcance de las reparaciones.

**ETAPA II.-** Etapa de preparación y pruebas hidráulicas: En esta etapa se realizarán los montajes y/o desmontajes de las Tapas Frontales y Posteriores de las Cajas de Humos, Válvulas de Seguridad, Controladores de Presión, Pernos y flanges Ciegos y/o Tapones en todos los partes necesarios para la preparación de la Prueba Hidráulica (Bloqueo de Válvulas principales de vapor, Válvulas de Seguridad, entradas de agua, líneas de purgas, Indicadores y Controladores de Nivel de Agua, etc.). También, se suministrarán, confeccionarán y repondrán todas las empaquetaduras de los flanges bloqueados y de las Cajas de Humos y Tapa de Registro Hombre. A continuación, se normalizará dicho Equipo.

**ETAPA III:** Puesta en Marcha, Diagnóstico Operacional, Pruebas de Funcionamiento y Certificación del generador:

En caso de que los resultados de los 7 puntos anteriores fueran favorables, incluyendo la Prueba Hidráulica, se procede a completar la certificación del generador con las siguientes actividades, pruebas y revisiones:

- a) Puesta en Marcha.
- b) Pruebas de Válvulas de Seguridad y Acumulación.
- c) Revisión de la Red de Vapor, Accesorios y componentes.
- d) Pruebas de Funcionamiento de Controles y Accesorios: de presión, de alarmas, de combustión, de temperatura y de detención por emergencias, detención por bajo nivel crítico y sensor de llama.
- e) Certificación Final e Informe Técnico con el levantamiento y determinación de las brechas del generador y Sala de Calderas, incluyendo la Líneas de Vapor, Manifold, Estanques de Alimentación de Agua y de Combustible.
- f) Realizar la Recertificación y documentación necesaria ante el organismo de salud de generador de vapor USM (SSTAL438), para que generador quede vigente y en orden.

*Cotización para la rehabilitación de la caldera a vapor del departamento de mecánica.*

**Proveedor:**

**IngeTerm® - Ingeniería en Termofluidos Ltda.**

Dirección: Bogotá 578, Parque Las Américas, Hualpén - Talcahuano

Contacto: [jorgemores@ingeterm.cl](mailto:jorgemores@ingeterm.cl) | Fono: 412477010 – 9-94441999

### **1. Diagnóstico Estructural (Etapa I)**

El diagnóstico estructural global incluye las siguientes actividades:

#### **1. Revisión Externa**

- Verificación del estado de accesorios de control, observación y seguridad, conforme al Decreto Supremo N°10.

## **2. Inspección Visual Interna**

- Lado del fuego: revisión de tubos, placas tubulares, colectores y uniones soldadas.
- Lado del agua: evaluación de cámaras de vapor, estayes y soldaduras. Uso de videoscopia en áreas inaccesibles.

## **3. Peritaje de Soldaduras**

- Inspección de soldaduras en zonas críticas mediante tintas penetrantes, con preparación de superficies incluida.

## **4. Medición de Espesores**

- Uso de equipo ultrasónico Krautkrämer modelo DM4E, con rango de 1 a 200 mm, para evaluar niveles de desgaste.

## **5. Prueba Hidráulica**

- Ensayo para verificar resistencia estructural y estanqueidad, con motobomba hidráulica y equipo especializado.

## **6. Revisión de Documentación**

- Libro de vida, certificaciones previas y especificaciones técnicas relevantes.

## **7. Informe Técnico Estructural**

- Presentación de resultados y, si corresponde, alcance de reparaciones sugeridas.

**Costo: 78 UF + IVA.**

## **2. Preparación para la Prueba Hidráulica (Etapa II)**

- Montaje y desmontaje de tapas frontales y posteriores, válvulas, bridas y otros elementos.
- Reposición de empaquetaduras y normalización del equipo.

**Costo:** Incluido en la Etapa I.

### **3. Puesta en Marcha, Diagnóstico Operacional y Certificación (Etapa III)**

Si los resultados del diagnóstico estructural y la prueba hidráulica son favorables, se realizará:

#### **1. Puesta en Marcha**

- Validación de sistemas y operación inicial.

#### **2. Pruebas de Válvulas de Seguridad**

- Incluye prueba de acumulación.

#### **3. Revisión de Redes de Vapor y Componentes**

- Inspección de líneas, manifold y estanques.

#### **4. Pruebas Funcionales de Controles y Accesorios**

- Sistemas de presión, alarmas, sensores de llama, y detención por emergencias.

#### **5. Certificación Final e Informe Técnico**

- Documentación de brechas identificadas y propuestas de mejora.

**Costo: 32 UF + IVA.**

### **Condiciones Generales de la Cotización**

1. UFSM deberá proveer acceso a energía eléctrica, agua para la prueba hidráulica y espacio para almacenamiento de herramientas.
2. Trabajos no mencionados explícitamente o adicionales serán considerados como aumentos de obra.
3. Plazo estimado: 3 a 4 días hábiles, sujeto a disponibilidad de equipos y materiales.
4. Forma de pago:
  - 50% al inicio de las actividades.

- 50% restante a 7 días tras la recepción conforme del trabajo

### Cotización para un Operador de Caldera en Chile (2024)

#### **1. Costo Mensual Promedio**

Operador de caldera con experiencia básica: \$650,000 CLP por mes (rango anual: \$5,850,000 a \$7,800,000 CLP).

Operador con experiencia avanzada y certificaciones adicionales: hasta \$10,140,000 CLP anuales, equivalente a \$845,000 CLP mensuale

#### **2. Consideraciones de Contratación**

Certificación requerida: Licencia otorgada por el SEREMI de Salud, según Decreto Supremo N°10.

Funciones típicas:

Operación y supervisión de calderas.

Mantenimiento preventivo y correctivo básico.

Cumplimiento de normativas de seguridad y eficiencia.

Jornada laboral estándar: 45 horas semanales (según normativa laboral chilena).

#### **3. Costos Adicionales**

Bonificaciones:

Seguro y beneficios legales: Incluye previsión social, salud, y asignaciones familiares.

Capacitación continua: Cursos específicos de actualización técnica para operadores certificados.

#### **4. Propuesta de Presupuesto Anual**

Contratación de un operador calificado con experiencia media y jornada completa:

Costo mensual base estimado: \$695,000 CLP.

Costo anual estimado: \$8,340,000 CLP.

Concepto	Detalle	Costo Aproximado (CLP)
Rehabilitación de la caldera	Incluye diagnóstico estructural, prueba hidráulica, puesta en marcha y certificación según cotización de IngeTerm	\$4,596,000 (78 UF + IVA)
Contratación de operador (anual)	Basado en salario promedio mensual de \$695,000 CLP durante 12 meses	\$8,340,000
Contratación de operador (anual)	Bonificaciones por turnos nocturnos, seguros, y capacitación opcional	\$1,200,000
Total anual estimado	Rehabilitación + contratación	\$14,136,000

Tabla 4 Gastos económico anual para la rehabilitación de la caldera

### Justificación

La rehabilitación de la caldera a vapor del Departamento de Mecánica de la Universidad Técnica Federico Santa María, sede Concepción, responde a la necesidad de aprovechar un recurso de alto valor potencial que actualmente está subutilizado. Desde su adquisición, la caldera ha enfrentado problemas derivados de la falta de un plan estructurado de mantenimiento, inactividad prolongada y diseño industrial que no se ajusta completamente a fines educativos. Estos factores han llevado a la corrosión de componentes internos, acumulación de residuos y posible deterioro de sistemas críticos, incrementando los costos y la complejidad de su reactivación.

La propuesta busca no solo recuperar la funcionalidad del equipo, sino también adaptarlo a un entorno pedagógico que maximice su valor educativo. La implementación de un plan de

mantenimiento técnico-económico permitirá optimizar su desempeño y asegurar su operatividad a largo plazo. Esto beneficiará a los estudiantes al proporcionarles acceso a un sistema práctico que enriquezca su aprendizaje en áreas como termodinámica, transferencia de calor y mantenimiento industrial, alineándose con los objetivos educativos de la universidad. Además, la rehabilitación representa una oportunidad para maximizar la inversión inicial y posicionar a la institución como un referente en la formación técnica avanzada.

## **PROPUESTA 2 : DAR DE BAJA LA CALDERA**

¿Qué significa dar de baja un equipo?

Dar de baja un equipo industrial significa retirarlo oficialmente del servicio activo debido a su obsolescencia, falta de funcionalidad, o altos costos de operación y mantenimiento que ya no justifican su uso. Este proceso implica reconocer que el equipo ha cumplido su vida útil o que su continuidad en operación no es viable económica o técnicamente.

El desmantelamiento y baja definitiva de una caldera representa una decisión estratégica que responde a diversos factores relacionados con la eficiencia, la seguridad y la sostenibilidad operativa. En este caso, se plantea esta alternativa debido a los siguientes motivos:

- ✓ **Cumplimiento normativo y riesgos legales:** En Chile, normativas como el Decreto Supremo N°10 regulan el mantenimiento y la seguridad de calderas. Las sanciones por incumplimiento, junto con la dificultad de actualizar equipos desfasados, hacen de esta alternativa una opción viable.
- ✓ **Costos comparativos:** La inversión necesaria para la rehabilitación y actualización de la caldera podría superar el costo de desmantelamiento y su eventual reemplazo por tecnologías más modernas o eficientes.

- ✓ **Seguridad operativa:** La baja definitiva de la caldera elimina riesgos asociados a su funcionamiento, como fugas, explosiones o daños estructurales, protegiendo así al personal y las instalaciones.

Finalmente, dar de baja la caldera permite liberar espacio físico y recursos económicos, facilitando la implementación de soluciones alternativas que sean más sostenibles y alineadas con los objetivos operativos actuales de la institución.

### **Protocolo para dar de baja una caldera en Chile**

Este protocolo describe los pasos necesarios para dar de baja una caldera pirotubular en conformidad con las normativas chilenas aplicables, en particular el Reglamento de Calderas y Autoclaves (DS N°10/2012 del Ministerio de Salud) y otras disposiciones legales.

## **1. Diagnóstico del estado de la caldera**

### **1.1 Inspección técnica**

- Realizar una inspección visual y funcional de la caldera para evaluar su estado.
- Identificar deterioros críticos en tubos, estructura, válvulas de seguridad, y otros componentes clave.

### **1.2 Elaboración del informe técnico**

- Detallar el estado físico, funcional y de seguridad del equipo.
- Incluir las razones para la baja, como:
  - Obsolescencia técnica.
  - Deterioro estructural o funcional grave.
  - Riesgos para la seguridad de los operarios.
  - Alto costo de reparación en comparación con la adquisición de un nuevo equipo.

### **1.3 Documentación necesaria**

- Reunir el historial técnico, incluyendo:
  - Certificado de inscripción inicial de la caldera (si aplica).
  - Registros de mantenciones, inspecciones y reparaciones anteriores.

## **2. Solicitud de baja ante la autoridad competente**

### **2.1 Preparación de la solicitud**

- Presentar el informe técnico junto con los documentos de registro del equipo.
- Asegurarse de cumplir con los requisitos establecidos por la **Seremi de Salud** correspondiente.

### **2.2 Gestión con la Seremi de Salud**

- Enviar la solicitud formal para la baja, adjuntando toda la documentación requerida.
- Coordinar inspecciones adicionales si la autoridad lo estima necesario.

## **Procedimiento de desactivación**

### **3.1 Contratación de empresa certificada**

- Contratar a una empresa autorizada y con experiencia en desmantelamiento de calderas.

### **3.2 Preparación para la desactivación**

- Drenar líquidos residuales (agua, químicos, combustible) y realizar una limpieza completa.
- Desconectar todas las fuentes de energía (electricidad, gas, vapor, etc.).

### **3.3 Inutilización del equipo**

- Asegurar la inutilización de los componentes principales, como:
  - Perforación o extracción de tubos.
  - Retiro de piezas clave, como la válvula de seguridad o el quemador

## **4. Gestión de residuos**

### **4.1 Identificación y clasificación**

- Separar los materiales reciclables (metales, componentes reutilizables) de los residuos peligrosos.

### **4.2 Disposición adecuada**

- Reciclar metales y vender como chatarra, preferentemente con un certificado de reciclaje.
- Contratar empresas autorizadas para la disposición de residuos peligrosos.

## **5. Actualización de registros**

### **5.1 Eliminación del registro**

- Solicitar a la **Seremi de Salud** la eliminación de la caldera del registro de equipos sometidos a presión.

### **5.2 Verificación de obligaciones pendientes**

- Confirmar que no existan certificados de operación o mantenimiento vigentes asociados al equipo.

## **6. Certificación de baja**

### **6.1 Solicitud del certificado**

- Solicitar un certificado de inutilización a la empresa que realizó el desmantelamiento.

### **6.2 Conservación de la documentación**

- Archivar el certificado junto con el historial técnico y los permisos relacionados como respaldo para auditorías futuras.

## **7. Comunicación interna y documentación**

### **7.1 Comunicación a las partes interesadas**

- Informar a los departamentos de mantenimiento, seguridad, y otros involucrados sobre la baja del equipo.

## 7.2 Archivo del proceso completo

- Asegurar que todos los documentos relevantes queden archivados en el sistema de gestión documental de la organización.

### Costos Estimados para Dar de Baja una Calderas

Actividad	Descripción	Costo Aproximado (CLP)	Observación
1. Inspección técnica y diagnóstico	Evaluación del estado físico y funcional del equipo, incluyendo componentes críticos (tubos, estructura, etc.).	\$300,000 - \$500,000	Costo de un profesional o empresa técnica especializada en inspección de calderas.
2. Informe técnico	Elaboración de informe detallado que justifique la baja (deterioro, obsolescencia, seguridad, etc.).	\$150,000 - \$250,000	Redacción del informe por parte de un experto técnico
3. Solicitud de baja ante la Seremi de Salud	Presentación de la solicitud formal de baja ante la Seremi de Salud, junto con documentos requeridos (certificados, historial, etc.)	\$50,000 - \$100,000	Gestión administrativa para coordinar la baja de la caldera en los registros oficiales.

4. Desmantelamiento y desactivación del equipo	Contratación de empresa certificada para el desmantelamiento de la caldera (drenaje, desconexión de energía, inutilización).	\$1,500,000 - \$3,000,000	Costo de la empresa certificada para realizar las labores de desmantelamiento de manera segura.
5. Gestión de residuos	Gestión y disposición de residuos generados (metales, residuos peligrosos, etc.).	\$300,000 - \$600,000	Transporte y disposición adecuada de residuos, con énfasis en residuos peligrosos.
6. Certificación de inutilización	Solicitud y obtención de certificado oficial de inutilización emitido por la empresa de desmantelamiento.	\$100,000 - \$150,000	Emisión del certificado necesario para confirmar que la caldera ha sido inutilizada.
7. Actualización de registros	Gestión administrativa para eliminar la caldera de los registros de la Seremi de Salud y asegurarse de que no existan obligaciones pendientes.	\$50,000 - \$100,000	Costo administrativo de actualizaciones de registros y certificados de baja.

8. Comunicación interna y archivo de documentación	Comunicación a los departamentos relevantes y archivo de documentación para futuras auditorías.	-	Distribución de la información interna sobre el proceso de baja.
--	---	---	--

*Tabla 5 Costos estimados para dar de baja la caldera*

### Justificación para la Propuesta 2: Dar de Baja la Caldera

La propuesta de dar de baja la caldera se fundamenta en la necesidad de optimizar los recursos económicos y operativos del Departamento de Mecánica, priorizando alternativas más sostenibles y adecuadas al entorno académico. Actualmente, la caldera representa un alto costo anual de mantenimiento (aproximadamente 15 millones de pesos), además de requerir un operador a tiempo completo, lo que resulta desproporcionado considerando su baja frecuencia de uso (2 horas diarias en promedio).

Al eliminar este equipo, se lograría una reducción significativa en los costos operativos y administrativos. Además, se abriría la posibilidad de reestructurar los recursos hacia métodos más eficientes y pedagógicos, como el uso de simulaciones computacionales o equipos de laboratorio que no demanden un nivel de infraestructura y mantenimiento tan elevado.

## **BANCO DE PRUEBA DE TRANSFERENCIA DE CALOR**

### Banco de prueba de transferencia de calor

Un banco de pruebas de transferencia de calor es un equipo didáctico diseñado para analizar y comprender los procesos de transferencia de energía térmica en un entorno controlado. Utilizado principalmente en educación e investigación, permite estudiar fenómenos como conducción,

convección, radiación y cambio de fase. Compuesto por elementos como intercambiadores de calor, sensores de medición (como PT100), bombas de circulación y depósitos de agua, este sistema simula procesos industriales de forma segura y eficiente. Su propósito es brindar una herramienta práctica que complemente la enseñanza teórica en áreas como termodinámica e ingeniería mecánica, sin reemplazar, pero sí complementando, equipos reales como calderas



*Ilustración 11 Banco de pruebas de transferencia de calor*

### **Funcionamiento General del Banco de Pruebas de Transferencia de Calor:**

#### **1. Inyección de combustible y generación de calor:**

- El combustible es suministrado a la caldera mediante una bomba que lo lleva al inyector. Este inyector introduce el combustible en la cámara de combustión, donde se quema para generar convección y radiación. Estos fenómenos llevan el

agua a un estado de ebullición (100°C) donde cambia de estado líquido a gaseoso generando vapor sobrecalentado.

## **2. Recuperación del agua sobrecalentada:**

- Una vez que el vapor se ha utilizado, el agua se recupera y se dirige hacia el intercambiador de calor (a través de la cañería roja). Aquí, el agua sobrecalentada transfiere su calor al líquido refrigerante. Aquí podemos ver un instrumento PT100 que es un instrumento de medición, en el cual nos arroja la temperatura que sale de la caldera para ser mostrada en el panel de operación. También hay una PT100 cuando sale del depósito principal de agua purificada y también se muestra en el panel.

## **3. Enfriamiento y circulación del refrigerante:**

- El líquido refrigerante, que circula gracias a la bomba, absorbe el calor del agua sobrecalentada. Este fluido refrigerante se enfriará al recibir el calor del agua, regresando luego al depósito.

## **4. Recirculación del agua tratada:**

- Finalmente, el agua fría que ha sido enfriada en el intercambiador de calor este regresa al depósito de agua purificada y luego es impulsada por la bomba para llegar con presión a la caldera al para ser transformada en vapor.

## **Componentes del Banco de Pruebas de Transferencia de Calor**

### **1. Caldera o Sistema de Generación de Calor:**

- Produce energía térmica necesaria para calentar el agua, generando vapor sobrecalentado.

### **2. Intercambiador de Calor:**

- Facilita la transferencia de calor entre el agua sobrecalentada y el líquido refrigerante, funcionando como un condensador que enfría y recupera el agua para reutilización.

### 3. **Sensores de Temperatura (PT100):**

- Instrumentos de medición que registran las temperaturas del vapor al salir de la caldera y del agua tratada antes de ser reutilizada. Estos datos se muestran en el panel de control.

### 4. **Bombas:**

- **Bomba de combustible:** Impulsa el combustible desde el depósito hasta el inyector de la caldera.
- **Bomba de refrigerante:** Circula el líquido refrigerante a través del intercambiador de calor para maximizar la transferencia térmica.
- **Bomba de agua tratada:** Impulsa el agua desde el depósito hacia la caldera con la presión necesaria para su transformación en vapor.

### 5. **Cañerías y Conexiones:**

- **Cañería roja:** Transporta el agua sobrecalentada hacia el intercambiador de calor.
- **Cañería verde:** Retorna el agua enfriada al depósito para su almacenamiento.

### 6. **Depósito de Agua Tratada:**

- Almacena el agua purificada que será enviada a la caldera o recuperada tras el proceso de enfriamiento.

### 7. **Depósito de Combustible:**

- Contenedor donde se almacena el combustible que alimenta la caldera.

### 8. **Panel de Operación:**

- Centraliza el control y monitoreo del sistema, mostrando datos relevantes como temperaturas y flujos en tiempo real.

#### **9. Líquido Refrigerante:**

- Fluido que absorbe el calor del agua sobrecalentada en el intercambiador, permitiendo su enfriamiento eficiente.

#### **10. Inyector de Combustible:**

- Introduce el combustible en la cámara de combustión de la caldera para su ignición.

#### Justificación

El banco de prueba de transferencia de calor presenta una solución moderna y alineada con los objetivos pedagógicos de la institución. A diferencia de la caldera existente, este equipo no requiere un operador dedicado ni mantenimientos costosos, eliminando barreras operativas significativas. Su diseño está pensado específicamente para fines educativos, permitiendo una interacción directa y segura de los estudiantes con los conceptos de termodinámica y transferencia de calor.

Ventajas clave de esta propuesta:

1. Ahorro en costos operativos: Se eliminan los gastos asociados al mantenimiento anual (~15 millones de pesos) y al empleo de un operador exclusivo.
2. Compatibilidad educativa: El banco de prueba está diseñado para experiencias prácticas, ofreciendo un entorno más accesible e intuitivo que fomenta el aprendizaje activo.
3. Sostenibilidad: Reduce el impacto ambiental al prescindir de combustibles fósiles y minimizar las emisiones.

4. Eficiencia de uso: Es ideal para las necesidades del Departamento de Mecánica, que utiliza el equipo en clases solo 2 horas diarias.

**TABLA COMPARATIVA ECONOMICA Y ESTRATEGICA**

Criterio	Rehabilitar la caldera	Dar de baja la caldera	Reemplazar por banco de pruebas de transferencia de calor
Inversión Inicial	<b>Media:</b> Reparaciones y adecuaciones necesarias (\$15-25 millones).	<b>Baja:</b> Costos mínimos de eliminación (estimado \$2-5 millones)	<b>Ya realizada:</b> Banco de pruebas disponible, sin gastos adicionales importantes
Costos operativos/Mantenimiento	<b>Altos:</b> \$15 millones anuales +10 millones anuales para operador	<b>Nulos:</b> Sin costos de operación ni mantenimiento	<b>Bajos:</b> mantenimiento
Impacto pedagógico	<b>Medio:</b> Uso limitado y dificultad en la adaptación educativa (diseñada para uso industrial).	<b>Nulo:</b> Sin impacto directo en enseñanza práctica, al no haber equipo disponible.	<b>Alto:</b> Moderno, adaptable y diseñado específicamente para aprendizaje.
Sostenibilidad a largo plazo	<b>Media:</b> Vida útil extendida con altos costos de mantenimiento	<b>Alta:</b> Cero costos futuros, solución definitiva.	<b>Alta:</b> Bajo costo operativo y mayor vida útil (tecnología más reciente).

	(riesgo por antigüedad).		
Compatibilidad educativa	<b>Baja:</b> Diseñada para aplicaciones industriales, no educativas.	<b>Nula:</b> Sin equipo disponible para enseñanza.	<b>Alta:</b> Diseñada específicamente para aprendizaje técnico y pedagógico.
Riesgos asociados	<b>Altos:</b> Operación compleja, riesgos por antigüedad y corrosión interna.	<b>Nulos:</b> Equipo fuera de servicio, sin riesgos asociados.	<b>Bajos:</b> Tecnología moderna y segura, cumpliendo estándares actuales.

Tabla 6 Tabla comparativa económica y estratégica.

# **CAPITULO IV: PROYECCIÓN ECONÓMICA PARA LA REHABILITACIÓN DE LA CALDERA A VAPOR**

## **PROYECCIÓN ECONÓMICA**

La presente proyección económica tiene como objetivo analizar las fuentes de financiamiento posibles para la rehabilitación de la caldera existente en el Departamento de Mecánica de la Universidad Técnica Federico Santa María, sede Concepción. La caldera es un equipo fundamental para las actividades pedagógicas de las carreras de mantenimiento industrial, mecánica automotriz e ingeniería en mantenimiento. Sin embargo, debido a su antigüedad y costos de mantenimiento elevados, se plantea la necesidad de una rehabilitación para garantizar su eficiencia operativa y prolongar su vida útil.

Para financiar la rehabilitación de la caldera, se ha considerado una estrategia basada en los ingresos por matrícula de los estudiantes que cursan las distintas carreras del Departamento de Mecánica. A través de la proyección económica, se estima el monto que se puede recaudar a partir de las matrículas anuales, detallando el aporte de cada carrera: Técnico Universitario en Mantenimiento Industrial, Técnico Universitario en Mecánica Automotriz e Ingeniería en Mantenimiento (diurno y vespertino). Esta estrategia tiene como objetivo cubrir los costos de la rehabilitación de la caldera, cuyo valor total se estima en \$20,000,000 CLP , además de un operador \$10,000,000 CLP anual y el mantenimiento anual \$15,000,000 aproximadamente.

La proyección económica se realiza sobre la base de las matrículas actuales de los estudiantes, lo que permite determinar el monto recaudado a través de la contribución de cada carrera. Aunque el monto total obtenido mediante esta estrategia es cercano a la meta establecida, se identifican algunas opciones adicionales que permitirían cubrir el déficit restante para alcanzar el total necesario. Esta proyección se presenta como un análisis preliminar de cómo los estudiantes del Departamento de Mecánica pueden participar activamente en el financiamiento de esta importante rehabilitación, contribuyendo al mejoramiento de los recursos educativos de la Universidad

## **Datos Base**

Costo de rehabilitación de la caldera: \$20,000,000 CLP (único).

1. Costos recurrentes:

- Operador anual: \$10,000,000 CLP.
- Mantenimiento anual: \$15,000,000 CLP.
- Total recurrente anual: \$25,000,000 CLP. aproximado

2. Número de estudiantes por carrera:

- Técnico Universitario en Mantenimiento Industrial (Diurno): 40 estudiantes.
- Técnico Universitario en Mecánica Automotriz (Diurno): 40 estudiantes.
- Ingeniería en Mantenimiento Industrial (Diurno): 60 estudiantes.
- Ingeniería en Mantenimiento Industrial (Vespertino): 20 estudiantes.

3. Montos semestrales por estudiante:

- Matrícula:
  - Carreras Técnicas: \$85,500 CLP.
  - Ingeniería: \$122,500 CLP.
- Arancel:
  - Carreras Técnicas: \$1,052,500 CLP.
  - Ingeniería: \$2,180,000 CLP.

## **PROYECCIÓN DE INGRESOS ANUALES POR MATRÍCULA Y ARANCEL**

### **Técnico Universitario en Mantenimiento Industrial (Diurno)**

- Matrícula por semestre:  $\$85,500 \times 40 = \$3,420,000$  CLP.
- Arancel por semestre:  $\$1,052,500 \times 40 = \$42,100,000$  CLP.
- Total semestral:  $\$3,420,000 + \$42,100,000 = \$45,520,000$  CLP.
- Total anual:  $\$45,520,000 \times 2 = \$91,040,000$  CLP.

### **Técnico Universitario en Mecánica Automotriz (Diurno)**

- Matrícula por semestre:  $\$85,500 \times 40 = \$3,420,000$  CLP.
- Arancel por semestre:  $\$1,052,500 \times 40 = \$42,100,000$  CLP.
- Total semestral:  $\$3,420,000 + \$42,100,000 = \$45,520,000$  CLP.
- Total anual:  $\$45,520,000 \times 2 = \$91,040,000$  CLP.

### **Ingeniería en Mantenimiento Industrial (Diurno)**

- Matrícula por semestre:  $\$122,500 \times 60 = \$7,350,000$  CLP.
- Arancel por semestre:  $\$2,180,000 \times 60 = \$130,800,000$  CLP.
- Total semestral:  $\$7,350,000 + \$130,800,000 = \$138,150,000$  CLP.
- Total anual:  $\$138,150,000 \times 2 = \$276,300,000$  CLP.

### **Ingeniería en Mantenimiento Industrial (Vespertino)**

- Matrícula por semestre:  $\$122,500 \times 20 = \$2,450,000$  CLP.
- Arancel por semestre:  $\$2,180,000 \times 20 = \$43,600,000$  CLP.
- Total semestral:  $\$2,450,000 + \$43,600,000 = \$46,050,000$  CLP.

- Total anual:  $\$46,050,000 \times 2 = \$92,100,000$  CLP.

Carrera	Número de Alumnos	Matrícula por Semestre (CLP)	Arancel por Semestre (CLP)	Total Semestral (CLP)	Total Anual (CLP)
Técnico Universitario en Mantenimiento Industrial (Diurno)	40	\$3,420,000	\$42,100,000	\$45,520,000	\$91,040,000
Técnico Universitario en Mecánica Automotriz (Diurno)	40	\$3,420,000	\$42,100,000	\$45,520,000	\$91,040,000
Ingeniería en Mantenimiento Industrial (Diurno)	60	\$7,350,000	\$130,800,000	\$138,150,000	\$276,300,000
Ingeniería en Mantenimiento Industrial (Vespertino)	20	\$2,450,000	\$43,600,000	\$46,050,000	\$92,100,000
Total General	160	\$16,640,000	\$258,600,000	\$275,240,000	\$550,480,000

### **Total de Ingresos Anuales**

- Técnico Universitario en Mantenimiento Industrial (Diurno): \$91,040,000 CLP.
- Técnico Universitario en Mecánica Automotriz (Diurno): \$91,040,000 CLP.
- Ingeniería en Mantenimiento Industrial (Diurno): \$276,300,000 CLP.
- Ingeniería en Mantenimiento Industrial (Vespertino): \$92,100,000 CLP.
- Total ingresos anuales: \$550,480,000 CLP

### **COSTOS**

Concepto	Monto (CLP)
Ingresos Anuales Totales	\$550,480,000
Costo del Primer Año Costo del Primer Año	\$45,000,000
Superávit Primer Año	\$505,480,000
Costos Anuales Recurrentes	\$25,000,000
Superávit Anual Posterior	\$525,480,000

### **Primer Año (Incluye Rehabilitación):**

- Costo total del primer año:  
 $\$20,000,000$  (rehabilitación) +  $\$25,000,000$  (recurrente) =  $\$45,000,000$  CLP.
- Superávit del primer año:  
 $\$550,480,000 - \$45,000,000 = \$505,480,000$  CLP.

### **Años Posteriores (Solo Costos Recurrentes):**

- Costo anual recurrente:  $\$25,000,000$  CLP.

- Superávit anual:  
 $\$550,480,000 - \$25,000,000 = \$525,480,000$  CLP.

La proyección económica actual considera los ingresos generados por la matrícula y el arancel de las carreras del Departamento de Mecánica. El análisis incorpora tanto los costos iniciales de rehabilitación de la caldera como los costos recurrentes de operación y mantenimiento.

### **Resultados Principales**

1. **Ingresos Anuales Totales:** \$550,480,000 CLP.
2. **Costos del Primer Año:** \$45,000,000 CLP (incluye rehabilitación).
3. **Superávit Primer Año:** \$505,480,000 CLP.
4. **Costos Recurrentes Anuales:** \$25,000,000 CLP.
5. **Superávit Anual Posterior:** \$525,480,000 CLP.

### **JUSTIFICACIÓN**

La proyección económica demuestra que el financiamiento del proyecto de rehabilitación de la caldera del Departamento de Mecánica es altamente rentable, considerando los ingresos por matrícula y arancel de las carreras técnicas y de ingeniería.

Desde el primer año, los ingresos anuales totales ascienden a \$550,480,000 CLP, mientras que los costos del primer año (incluyendo la rehabilitación) son de \$45,000,000 CLP. Esto genera un superávit inicial de \$505,480,000 CLP. En los años posteriores, al considerar únicamente los costos recurrentes anuales de operación y mantenimiento, equivalentes a \$25,000,000 CLP, el superávit aumenta a \$525,480,000 CLP por año.

La rentabilidad del proyecto se justifica por tres razones principales:

1. **Viabilidad Económica:** Los ingresos no solo cubren los costos del proyecto, sino que también generan un superávit significativo que puede ser reinvertido en otras áreas del Departamento.

2. Impacto Educativo: La rehabilitación garantiza la funcionalidad de un equipo clave para la formación práctica de los estudiantes, lo que mejora la calidad de la enseñanza y puede atraer a más postulantes.
3. Sostenibilidad Financiera: El superávit recurrente asegura la viabilidad económica del proyecto a largo plazo, reduciendo la dependencia de financiamiento externo y fortaleciendo la posición del Departamento como un referente académico e industrial.

Para terminar se puede decir que el proyecto es rentable, sostenible y estratégico para potenciar las capacidades educativas del Departamento de Mecánica, asegurando beneficios tanto económicos como pedagógicos.

## **CONCLUSION /REFLEXION FINAL**

El desarrollo de este trabajo de titulación se basó en un marco teórico robusto que facilitó la comprensión de la importancia histórica, técnica y educativa de las calderas a vapor. Este marco abarcó aspectos como sus principios de funcionamiento, componentes clave y su relevancia en la formación de futuros ingenieros, destacando su potencial como herramienta pedagógica para mejorar las competencias prácticas en la educación superior. La investigación también tuvo en cuenta normativas internacionales y nacionales pertinentes, lo que proporcionó una base técnica sólida para las decisiones tomadas durante el desarrollo del proyecto.

En primer lugar, se llevó a cabo un diagnóstico exhaustivo del estado físico y funcional de la caldera a través de una inspección minuciosa de sus componentes principales. Este análisis incluyó el examen de sistemas esenciales como los tubos de intercambio de calor, los sistemas de control y seguridad, así como la estructura general del equipo. Los resultados revelaron problemas como corrosión, acumulación de residuos y desgaste en piezas críticas, consecuencia de su prolongada inactividad. Este diagnóstico reafirmó la caldera como un recurso educativo, brindando experiencias prácticas que complementan el aprendizaje teórico y enriquecen la formación de los estudiantes.

En segundo lugar, se realizó un análisis técnico-económico que permitió identificar con precisión los costos relacionados con las reparaciones, el mantenimiento y las adecuaciones necesarias para poner en funcionamiento la caldera. Este estudio incluyó la evaluación de la infraestructura necesaria, la adquisición de repuestos y los recursos humanos requeridos para su operación. Los resultados fueron presentados al director del departamento a través de este proyecto detallado, proporcionando una base sólida para la toma de decisiones estratégicas. Este análisis consideró tanto los costos inmediatos como los beneficios educativos y operativos a largo plazo de contar con la caldera

Finalmente, se diseñó un plan integral de mantenimiento preventivo y correctivo, enfocado en garantizar la operación continua y segura de la caldera. Este plan contempló actividades como inspecciones periódicas, limpieza y ajustes de componentes, así como el reemplazo de piezas críticas. Aunque el costo de implementación del mantenimiento es considerablemente alto, se concluyó que representa una inversión clave para extender la vida útil del equipo y mantener altos estándares de seguridad operativa. Además, se subrayó la necesidad de contar con un operador capacitado, dada la complejidad técnica de la caldera y su relevancia educativa.

No obstante, debido a los altos costos de mantenimiento y operación, también se debe considerar la opción de dar de baja la caldera. En este contexto, la universidad dispone de un equipo alternativo, el banco de pruebas de transferencia de calor, el cual permite realizar experimentos similares a los que ofrece la caldera, pero con un menor costo operativo. Esta alternativa, al estar enfocada en un rango más limitado de transferencia de calor, ofrece una opción viable y económica para la formación práctica de los estudiantes sin comprometer la calidad educativa.

## BIBLIOGRAFÍA

- Mejía, J. (2018). *Generación de vapor y calderas industriales*. Editorial Tecnológica.
- Gómez, P., & Hernández, L. (2020). *Diseño y operación de calderas: Una guía práctica*. Editorial Ingeniería XXI
- ACHS. (2021). *Descripciones de calderas y generadores de vapor*.
- Sharma, P. (2019). *Industrial Boilers: Design, Operation, and Maintenance*. CRC Press.
- ASME. (2013). *ASME Boiler and Pressure Vessel Code (BPVC)*. Recuperado de <https://files.asme.org>
- Ministerio de Salud de Chile. (2011). Decreto Supremo N° 10. Recuperado de <https://www.bcn.cl>
- Ministerio de Salud de Chile. (1984). Decreto Supremo N° 48. Recuperado de <https://www.bcn.cl>
- European Committee for Standardization. (2002). *EN 12952: Boilers and Pressure Vessels*. Recuperado de <https://www.cen.eu>
- Blanchard, B. S., & Fabrycky, W. J. (2011). *Systems Engineering and Analysis (5th ed.)*. Pearson Prentice Hall.
- Moubray, J. (2001). *Reliability-Centered Maintenance (2nd ed.)*. Industrial Press.
- Nakajima, S. (1988). *Introduction to TPM: Total Productive Maintenance*. Productivity Press.
- Smith, R. (2004). The New World of Maintenance Management. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 10(3), 180-189.

Barrera Puigdollers, M. C., Betoret Valls, N., Castelló Gómez, M. L., & Pérez Esteve, E. (2018). Aspectos básicos relacionados con el funcionamiento de una caldera. <https://riunet.upv.es/handle/10251/104064>

ASME. (2021). *Boiler & Pressure Vessel Code*. Recuperado de <https://www.asme.org>.

Ministerio de Trabajo y Previsión Social. (1984). *Decreto Supremo N° 48: Reglamento sobre condiciones de seguridad para calderas, autoclaves y equipos que utilicen vapor de agua*. Santiago, Chile: Diario Oficial de la República de Chile.

Ministerio de Salud. (2011). *Decreto Supremo N° 10: Reglamento de calderas, autoclaves y generadores de vapor*. Santiago, Chile: Diario Oficial de la República de Chile

Instituto Nacional de Normalización (INN). (2020). *NCh 231/1: Calderas generadoras de vapor - Requisitos de diseño y fabricación & NCh 231/2: Calderas generadoras de vapor - Inspección y mantenimiento*. Santiago, Chile: Instituto Nacional de Normalización.

International Organization for Standardization (ISO). (2007). *ISO 16528-1: Boilers and pressure vessels - Part 1: General requirements*. Ginebra, Suiza: International Organization for Standardization

National Fire Protection Association (NFPA). (2020). *NFPA 85: Boiler and Combustion Systems Hazards Code*. Quincy, MA: National Fire Protection Association.

European Committee for Standardization (CEN). (2002). EN 12952-1: Water-tube boilers and auxiliary installations – Part 1: General principles and requirements. Brussels, Belgium: CEN.

European Committee for Standardization (CEN). (2002). EN 12953-1: Shell boilers – Part 1: General principles and requirements. Brussels, Belgium: CEN.

European Parliament & Council. (2014). *Directive 2014/68/EU of the European Parliament and of the Council of 15 May 2014 on the harmonization of the laws of the Member States relating to the making available on the market of pressure equipment*. Official Journal of the European Union, L 189/164.

- Moubray, J. (2001). *Reliability-centered Maintenance*. Industrial Press.
- Kohan, A. (2000). *Manual de Calderas*. Madrid, España: McGraw-Hill.
- Paredes Paredes, D. I. (2019). *Taller con fin educativo para laboratorio "transferencia de calor" en Universidad Técnica Federico Santa María, sede Concepción*. Universidad Técnica Federico Santa María
- Cronoshare. (2024). Salario promedio de un Técnico de Calderas y Calefacción en Chile.
- Calderas Industriales SPA. (2024). *Desmontaje y gestión de equipos térmicos*
- Ministerio de Salud de Chile. (2012). *Decreto Supremo N°10/2012: Reglamento sobre Calderas y Autoclaves*. Diario Oficial de la República de Chile.
- Cámara Chilena de la Construcción. (s.f.). *Normativa DSI0/2012 sobre calderas e instalaciones térmicas*.
-