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

# PROPUESTA DE MEJORA PARA EL USO DE CALDERA BASADO EN PARÁMETROS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

Trabajo de Titulación para optar al Título Profesional de Ingeniero Ejecución en MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

Alumno:
José Luis Lizana Acevedo

Profesor Guía:
Ing. Félix Pizarro Martínez

2016

SOLO QUEDA DAR GRACIAS A MI FAMILIA, AMIGOS Y COMPAÑEROS QUE SIEMPRE ME ENTREGARON SU APOYO CONFIANDO EN MIS CAPACIDADES, Y QUE DE ESA FORMA ME AYUDARON A DARME FUERZAS PARA SEGUIR ADELANTE CON ESTE GRAN OBJETIVO DE VIDA.

GRACIAS A MI ESPOSA MARÍA LIDIA TORRES POR CREER EN MI Y POR SU CONSTANTE APOYO, EL CUAL ME AYUDO PARA NUNCA DECAER Y PERDER EL ENTUSIASMO DE SEGUIR ADELANTE, Y QUE DE MANERA CONSTANTE ME ALIENTA PARA SEGUIR SUPERANDOME DÍA A DÍA.

# RESUMEN

KEYWORDS: DISMINUCIÓN DE EFICIENCIA, PROPUESTA DE MEJORA, PROPUESTA DE MANTENIMIENTO

La aviación naval cuenta con un gran número de personas destinadas a cumplir un sinfín de roles dentro de la Base Aeronaval, de los cuales destaca el mantenimiento de aeronaves, la gestión de recursos para el mantenimiento, el bienestar del personal entre otros. Considerando lo anterior es de gran importancia entregar un servicio de bienestar tanto al personal que realiza labores diarias como aquellas que realizan labores guarniciónales. Para cumplir con dicho objetivo es necesario realizar una planificación de plan de mantenimiento que permita otorgar un funcionamiento continuo y sin fallas en el sistema de caldera, permitiendo de esa forma entregar un servicio de agua caliente sanitaria de forma continua en todos los periodos del año. La principal preocupación de una planificación es evitar la ocurrencia de un fallo que produzca un déficit parcial o total del sistema, debido a eso es necesario contar con la programación adecuada, el personal calificado y todos los recursos necesarios para mantener y prolongar las horas de funcionamiento deseadas del equipo.

En el primer capítulo se da a conocer la problemática del sistema de calderas que producen falencias en el funcionamiento como consecuencia de un programa de mantenimiento que no es cumplido a cabalidad por la mala organización, falta de control y de información hacia el personal que realiza el mantenimiento del equipo con respecto a las tareas que deben realizar, su periodicidad y control. Se describe la organización actual del departamento, el sistema de caldera y los equipos que la componen.

En el segundo capítulo se da a conocer la condición actual y características de funcionamiento de la caldera, sus equipos e instrumentos y el deterioro estructural que presenta tanto interna como externamente. A través de un diagrama de Ishikawa se describen las posibles causas que pueden producir como efecto la disminución de la eficiencia y rendimiento del sistema de caldera.

En el tercer capítulo se describen las diferentes propuestas de mejoras que pueden ser implementadas para mejorar el rendimiento, eficiencia y prolongar el funcionamiento de la caldera y sus equipos. Permitiendo de esa forma el uso prolongado como consecuencia de mejorar algunos parámetros importantes del agua de alimentación, incorporar nuevas bombas con mejores características que permitan satisfacer los requerimientos de la caldera y del personal que utiliza este servicio.

En el cuarto capítulo se describen y plantean las nuevas propuestas de mantenimiento para la caldera y los nuevos equipos que se proponen para su

implementación. Se especifica la programación del mantenimiento preventivo y las acciones que deben realizarse para otorgar un funcionamiento prolongado del sistema de caldera.

# ÍNDICE

**RESUMEN** ..... **3**
**INTRODUCCIÓN** ..... **11**
**OBJETIVO GENERAL** ..... **12**
**OBJETIVOS ESPECÍFICOS:** ..... **12**

**CAPÍTULO 1: DESCRIPCIÓN DE EMPRESA Y EQUIPOS** ..... **13**
1. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA Y EQUIPOS ..... 14
1.1. DESCRIPCIÓN BASE AERONAVAL ..... 14
1.2 DEPARTAMENTO C.A.T.A.N. ..... 15
1.2.1. Movilización. ..... 16
1.2.2 Simulador de Escape Cabina. ..... 16
1.2.3. Mantenimiento ..... 17
1.3. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA ..... 33
1.3.1 Diagrama causa-efecto ..... 34

**CAPÍTULO 2: EVALUACIÓN ACTUAL DEL SISTEMA DE CALDERA.** ..... **38**
2. EVALUACIÓN ACTUAL DEL SISTEMA DE CALDERA. ..... 39
2.1. CONDICIÓN ACTUAL DE CALDERA. ..... 39
2.1.1. Consumo de combustible ..... 39
2.1.2. Cantidad de vapor generado ..... 40
2.1.3. Purga inferior de sedimentos ..... 40
2.2. TRATAMIENTO DE AGUA DE ALIMENTACIÓN ..... 41
2.2.1. Parámetros de tratamiento de agua de alimentación ..... 42
2.2.2. Requerimientos para agua de alimentación ..... 43
2.2.3. Parámetros de calidad del agua potable ..... 44
2.2.4. Problemas que causan las impurezas contenidas en el agua ..... 45
2.3. CONDICIONES DE LAS TUBERIAS DE SUMINISTRO DE VAPOR ..... 47
2.4. CONDICIÓN ACTUAL DEL SISTEMA DE RECIRCULACIÓN DE CALDERA. ..... 49

**CAPÍTULO 3: PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN DE MEJORA PARA EL SISTEMA DE CALDERA** ..... **50**
3. PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN DE MEJORA PARA EL SISTEMA DE CALDERA ..... 51
3.1. TRATAMIENTO AGUA DE ALIMENTACIÓN DE CALDERA ..... 51

3.1.1. Tratamientos físicos ..... 51
3.1.2. Tratamientos químicos ..... 52
3.1.3. Tratamientos térmicos ..... 53
3.1.4. Tratamientos mixtos ..... 54
3.1.5. Tratamientos eléctricos ..... 54
3.2. TRATAMIENTO CON ABLANDADOR DE AGUA ..... 54
3.2.1. Tipos de ablandadores de agua ..... 55
3.2.2. Ablandador de agua de intercambio iónico ..... 55
3.2.3. Propuesta de implementación de ablandador de agua ..... 57
3.3. SISTEMA DE IMPULSIÓN A.C.C. Y A.C.S. ..... 59
3.3.1. Definición, características y clasificación de las bombas hidráulicas ..... 60
3.3.2. Bombas centrifugas ..... 61
3.3.3. Renovación de bomba recirculadora A.C.C. ..... 62
3.3.4. Datos importantes para la selección de bombas ..... 64
3.3.5. Determinación del $NPSH_D$ ..... 66
3.3.6. Teoría de cálculos para pérdidas de cargas en tuberías ..... 70
3.3.7. Datos obtenidos a considerar para la selección de bombas ..... 80
3.3.8 Selección de bombas ACC y ACS ..... 80
3.4. RESUMEN DE MEJORAS PROPUESTAS ..... 84

**CAPÍTULO 4: PROPUESTA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA SISTEMA DE CALDERA. ..... 85**
4. PROPUESTA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA SISTEMA DE CALDERA ..... 86
4.1 MANTENIMIENTO PREVENTIVO A CALDERA Y ACCESORIOS ..... 86
4.1.1 Mantenimiento e inspecciones diarias ..... 86
4.1.2. Mantenimiento e inspecciones semanales ..... 87
4.1.3. Mantenimiento e inspecciones mensuales ..... 87
4.1.4. Mantenimiento e inspecciones semestrales ..... 88
4.1.5. Mantenimiento e inspecciones anuales ..... 89
4.1.6. Consideración de repuestos críticos ..... 90
4.1.7. Diagnóstico de fallas y soluciones (troubleshooting) para sistema de caldera ..... 90
4.1.8. Programación del mantenimiento para caldera y quemador ..... 91
4.2. MANTENIMIENTO PREVENTIVO A BOMBAS DE A.C.C. Y A.C.S. ..... 93
4.2.1. Mantenimiento e inspecciones diarias ..... 95
4.2.2. Mantenimiento e inspecciones semanales ..... 95

4.2.3. Mantenimiento e inspecciones mensuales ..... 96
4.2.4. Mantenimiento e inspecciones anuales ..... 96
4.2.5. Diagnóstico de fallas y soluciones (troubleshooting) para bombas ..... 96
4.2.6. Programación del mantenimiento a bombas de A.C.C. y A.C.S. ..... 98
4.3. MANTENIMIENTO PREVENTIVO A EQUIPO TRATAMIENTO DE AGUA ..... 98
4.3.1. Mantenimiento e inspecciones diarias ..... 99
4.3.2. Mantenimiento e inspecciones semanales ..... 100
4.3.3. Mantenimiento e inspecciones anuales ..... 100
4.3.4 Diagnóstico de fallas y soluciones (troubleshooting) para equipo tratamiento de agua ..... 100
4.3.5. Programación del mantenimiento del equipo ablandador ..... 102
4.4. DOCUMENTACIÓN DE MANTENIMIENTO ..... 103

**CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES ..... 104**
**BIBLIOGRAFÍA ..... 106**
**ANEXOS ..... 107**
ANEXO A: FORMATO INFORME DE INSPECCIÓN ..... 108
ANEXO B: REVERSO INFORME DE INSPECCIÓN (TAREAS DE INSPECCIÓN A REALIZAR) ..... 109
ANEXO C: FORMATO INFORME DE FALLA ..... 110
ANEXO D: FORMATO ORDEN DE TRABAJO ..... 111
ANEXO E: REVERSO ORDEN DE TRABAJO (INSTRUCCIONES DE SEGURIDAD) ..... 112
ANEXO F: FORMATO BITÁCORA DE MANTENIMIENTO ..... 113
ANEXO G: DIAGRAMA DE MOODY ..... 114
ANEXO H: TABLA DE LONGITUDES EQUIVALENTES DE AMPLIACIONES Y REDUCCIONES ..... 115

# ÍNDICE DE FIGURAS


Figura 1-1. Vista aérea de la ubicación de la Base Aeronaval Concón 7
Figura 1-2. Organigrama Departamento CATAN 8
Figura 1-3. Centro de movilización 9
Figura 1-4. Simulador escape cabina 10
Figura 1-5. Taller de electricidad 11
Figura 1-6. Esquema de funcionamiento Sistema Caldera 12
Figura 1-7. Descripción de una caldera escocesa 13
Figura 1-8. Descripción básica de una caldera 18
Figura 1-9. Manómetro de presión 19
Figura 1-10. Controlador de temperatura 19
Figura 1-11. Válvula de alivio de presión 20
Figura 1-12. Quemador marca RIELLO 21
Figura 1-13. Bomba de recirculación agua caliente caldera 22
Figura 1-14. Estanque de petróleo 22
Figura 1-15. Estanque de agua calefaccionada 23
Figura 1-16. Estanque de expansión 24
Figura 1-17. Estanque Hidropack 24
Figura 1-18. Bombas de impulsión principales 25
Figura 1-19. Estanques de agua 26
Figura 1-20. Diagrama de Ishikawa en análisis de eficiencia y rendimiento 28
Figura 1-21. Gráfico eficiencia vs espesor capa de hollín 30
Figura 1-22. Gráfico eficiencia vs espesor capa de incrustaciones 30
Figura 2-1. Corrosión en purga inferior de caldera 35
Figura 2-2. Incrustaciones en tuberías internas de caldera 39
Figura 2-3. Corrosión por pitting en tuberías linternas 40
Figura 2-4. Arrastre producido por excesiva concentración de sólidos 40
Figura 2-5. Corrosión cáustica en fogón de caldera 41
Figura 2-6. Ausencia de aislamiento en línea de distribución de vapor 42
Figura 3-1. Sistema de ablandamiento de agua para calderas 53
Figura 3-2. Esquema gráfico de funcionamiento del intercambiador iónico 55
Figura 3-3. Partes de una bomba centrífuga 57
Figura 3-4. Diagrama de deterioro del rendimiento en bombas 59
Figura 3-5. Efectos perjudiciales por P.O.R. desviado 60
Figura 3-6. Representación de cargas para el cálculo del $NPSH_D$ 63

Figura 3-7. Gráfico de carga de presión de vapor m/°C 63
Figura 3-8. Gráfico de carga de presión de vapor m/°C 66
Figura 3-9. Gráfico de rendimiento de bomba 70
Figura 3-10. Bombas centrífugas modelo B-N y N marca CAPELDA 77
Figura 3-11. Campo aplicaciones para bombas de 2900 RPM 78
Figura 3-12. Selección bomba modelo N 40-160 B/A 79
Figura 3-13. Selección bomba modelo N 50-125 A/A 79

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1. Características de caldera Base Aeronaval 19
Tabla 1-2. Características del quemador caldera 20
Tabla 1-3. Características de bomba ACC 21
Tabla 2-1. Consumo de combustible aproximado semanal 34
Tabla 2-2. Requerimientos de agua alimentación caldera vapor 37
Tabla 2-3. Valores del agua potable 38
Tabla 3-1. Especificaciones básicas del ablandador marca COTACO 54
Tabla 3-2. Datos del sistema de tuberías por tramos 67
Tabla 3-3. Longitudes equivalentes de accesorios de tuberías 69
Tabla 3-4. Caudales mínimos para artefactos sanitarios 71
Tabla 3-5. Datos obtenidos para selección de bombas 76
Tabla 3-6. Resumen de datos obtenidos de la selección de bombas 78
Tabla 4-1. Diagnóstico de fallas y soluciones para calderas 88
Tabla 4-2. Diagnóstico de fallas y soluciones para bomba centrífuga 94
Tabla 4-3. Diagnóstico de fallas y soluciones para ablandador de agua 99

## SIGLAS

ABMA : American Boiler Manufacturing Association.

ACS : Agua Caliente Sanitaria.

ACC : Agua Caliente Caldera.

| | |
|---|---|
| ASMAR | : Astillero y Maestranza de la Armada. |
| BHP | : Boiler Horse Power. |
| CATAN | : Centro de Apoyo Terrestre de la Aviación Naval. |
| DGAC | : Dirección General de Aeronáutica Civil. |
| HH | : Horas Hombre. |
| NPSH | : Net Positive Suction Head. |
| NTU | : Unidades Nefelométricas de Turbidez. |
| PCN | : Paving Clasification Number. |
| POR | : Punto Óptimo de Rendimiento. |
| SC | : Superficie de Calefacción. |

## SIMBOLOGIA

| | |
|---|---|
| m | : metro |
| Kg | : Kilogramo |
| l | : Litro |
| °C | : Grados Celsius |
| v | : Volt |
| V | : velocidad |
| g | : Aceleración de gravedad |
| ρ | : Densidad |

# INTRODUCCIÓN

La importancia del mantenimiento se ve reflejado en la necesidad de mejorar, conservar y permitir el buen funcionamiento de un sistema o equipo para así obtener una mayor eficiencia y evitar costos extras producto de una falla imprevista. Para cautelar aquello se realizan una serie de actividades que buscan controlar las operaciones utilizando métodos de gestión que eviten un deterioro o una falla. Se debe tener en cuenta que el mantener un activo se hace en sentido de prevención y no de corrección.

Estudiar y analizar el estado actual de la sala de calderas de la Base Aeronaval Concón tiene como objetivo mejorar el uso y funcionamiento de la caldera por medio de parámetros de funcionamiento y realizar un plan de mantenimiento que permita la normal operación evitando la ocurrencia de discrepancias o fallos que dificulten la actividad normal de la caldera, la cual tiene como función entregar un bienestar a los funcionarios de la Base Aeronaval.

Para lograr dicha mejora se debe observar el uso y la condición que presenta la sala de caldera y cada uno de sus componentes. La revisión preliminar evidencia que algunos de los elementos presentan un deterioro debido a la utilización permanente y al tiempo de uso que han tenido, lo cual no otorgan un óptimo manejo. El departamento encargado del mantenimiento cuenta con personas calificadas para el uso y operación de la caldera los cuales realizan pruebas y revisiones de seguridad, pero el mantenimiento es asignado a una empresa externa, ASMAR, la cual realiza acciones correctivas. Por otro lado, la falta de modernización de los elementos de control y seguridad dentro de la sala provocan un ambiente de inseguridad para el operador de turno.

Con la información obtenida se podrá estudiar la posibilidad de realizar una mejora parcial o total de los elementos que integran la sala de caldera con el fin de modernizar y mejorar las condiciones de seguridad y control, proporcionar un sistema de mantenimiento adecuado al uso, y hacer partícipes a los operadores de turno con el fin de que estos ayuden a mantener en condiciones adecuadas todos los elementos del sistema.

## OBJETIVO GENERAL

Proponer un plan de mejoras para el uso y funcionamiento del sistema de caldera utilizando los parámetros actuales de operación como referencia, incluyendo una propuesta de plan de mantenimiento que se adecue a las exigencias de los equipos y que permita el funcionamiento sin fallas imprevistas, extendiendo la vida útil de los sistemas de la sala de caldera.

Para cumplir con lo anterior es imprescindible lograr los siguientes objetivos específicos:

## OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Describir la empresa y equipos a estudiar de la Base Aeronaval.
- Analizar la problemática del sistema de caldera utilizando como herramienta el diagrama de Ishikawa.
- Proponer un conjunto de mejoras de tipo operativas para el sistema de caldera y sus equipos.
- Presentar un plan de mantenimiento que se adecue a las exigencias de los equipos que son propuestos.

# CAPÍTULO 1: DESCRIPCIÓN DE EMPRESA Y EQUIPOS

# 1. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA Y EQUIPOS

## 1.1. DESCRIPCIÓN BASE AERONAVAL

La base aeronaval donde opera la aviación naval es uno de los pilares más valiosos que tiene la Armada de Chile. Ésta cumple con variados propósitos de gran importancia tanto para la soberanía del país como el de prestar ayuda a la comunidad en medio de catástrofes, tales como aero-evacuaciones médicas, patrullaje y rescate marítimo entre otros. Se encuentra ubicada en la parte alta de Concón en el camino internacional debido a que las operaciones aéreas no pueden realizarse cerca de áreas pobladas. En la figura 1-1 se muestra la ubicación física de la base.

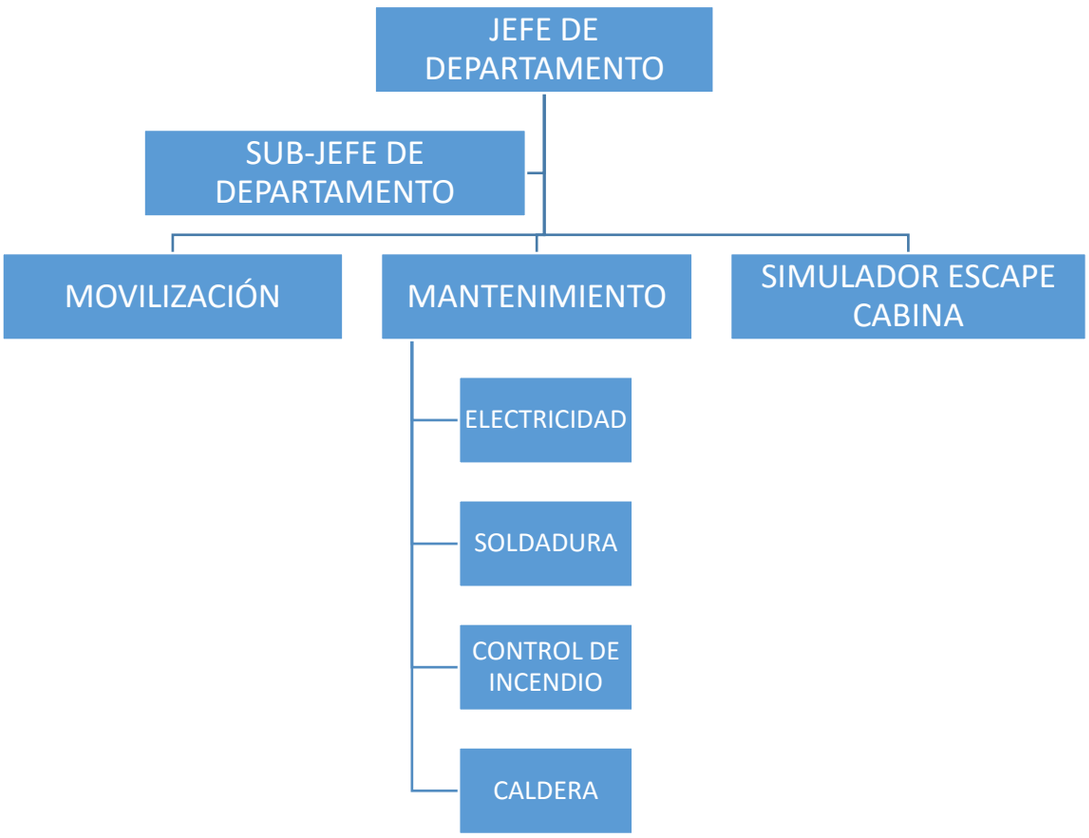
Fuente: Google Maps

Figura 1-1. Vista aérea de la ubicación de la Base Aeronaval Concón

Está compuesta de diferentes departamentos los cuales cuentan con personal calificado para realizar los trabajos requeridos diariamente por cada uno de ellos. Su principal objetivo es realizar el mantenimiento a las aeronaves de la aviación naval y el funcionamiento como aeropuerto para recibir aeronaves tanto militares como civiles que se encuentren dentro del P.C.N. 30 (Paving Clasification Number) de acuerdo a la clasificación habilitada por la dirección de aeronáutica civil (D.G.A.C.).

## 1.2 DEPARTAMENTO C.A.T.A.N.

El departamento C.A.T.A.N. (Centro de Apoyo Terrestre de la Aviación Naval) es el encargado de la mantención de la Base Aeronaval excluyendo el mantenimiento de aeronaves. Está dirigido por un jefe de departamento el cual tiene la responsabilidad de dirigir y proporcionar el personal adecuado para realizar los trabajos asignados al área.
Este se divide en sub-departamentos los cuales son: Movilización, Simulador Escape Cabina y Mantenimiento. A continuación, en la figura 1-2 se describe la organización del departamento.




Fuente: Organización CATAN 2016

Figura 1-2. Organigrama Departamento CATAN

### 1.2.1. Movilización.

El centro de movilización tiene la función de transportar al personal y entregar apoyo en las diferentes operaciones terrestres que requiera la Base Aeronaval. Cuenta con especialistas para realizar el mantenimiento a los vehículos pertenecientes al centro de apoyo para así mantener la disponibilidad de los vehículos.

Fuente: Base Torquemada

Figura 1-3. Centro de movilización

### 1.2.2 Simulador de Escape Cabina.

El simulador es fundamental en el entrenamiento de los tripulantes que operan en las diversas aeronaves, en este dispositivo realizan la preparación necesaria para poder ejecutar el escape de una aeronave siniestrada, tanto en el mar como en tierra. El modo de aprendizaje que ellos adapten será la diferencia que marcará el poder sobrevivir ante una emergencia de ese tipo.

Cuenta, además, con especialistas capacitados para realizar las labores de instructores y a la vez realizar el mantenimiento preventivo básico que necesita el simulador, ya que al encontrarse en un ambiente húmedo de manera constante se deterioran continuamente los componentes que componen el simulador.

Fuente: Base Torquemada

Figura 1-4. Simulador Escape Cabina

### 1.2.3. Mantenimiento

Este es un sub-departamento que está compuesto por un grupo de técnicos que son los encargados de realizar el mantenimiento a los diversos elementos y equipos que son utilizados para la seguridad, operatividad y bienestar de la Base Aeronaval.

#### 1.2.3.1. Control de incendio

El control de incendio es una pieza importante que permite mantener y controlar los elementos requeridos para contener y atacar incendios que se produzcan en el interior y exterior de la Base Aeronaval, para eso es primordial tener en buenas condiciones los grifos y ductos que se encuentran dentro de la Base: mangueras, bombas de espaldas, herramientas para incendio forestal y extintores de PQS y CO2.
Es muy importante la reacción inmediata ante una emergencia de este tipo sin permitir que se propague el fuego con el fin de evitar la pérdida de aeronaves y suministros de gran valor.

#### 1.2.3.2. Taller de Electricidad

Este taller tiene la responsabilidad de mantener los sistemas y elementos eléctricos en buen estado y funcionamiento permitiendo que la Base realice sus trabajos y operaciones con normalidad.

Debido a la importancia de mantener en funcionamiento y energizada la base se cuenta con un generador de emergencia capaz de alimentar los principales puntos de operación hasta que se vuelva a conectar el poder de forma normal. Por lo tanto, los técnicos eléctricos pertenecientes a este taller tienen la responsabilidad de mantener la disponibilidad del generador en todo momento.

Fuente: Base Torquemada

Figura 1-5. Taller de Electricidad

1.2.3.3. Sala de Caldera

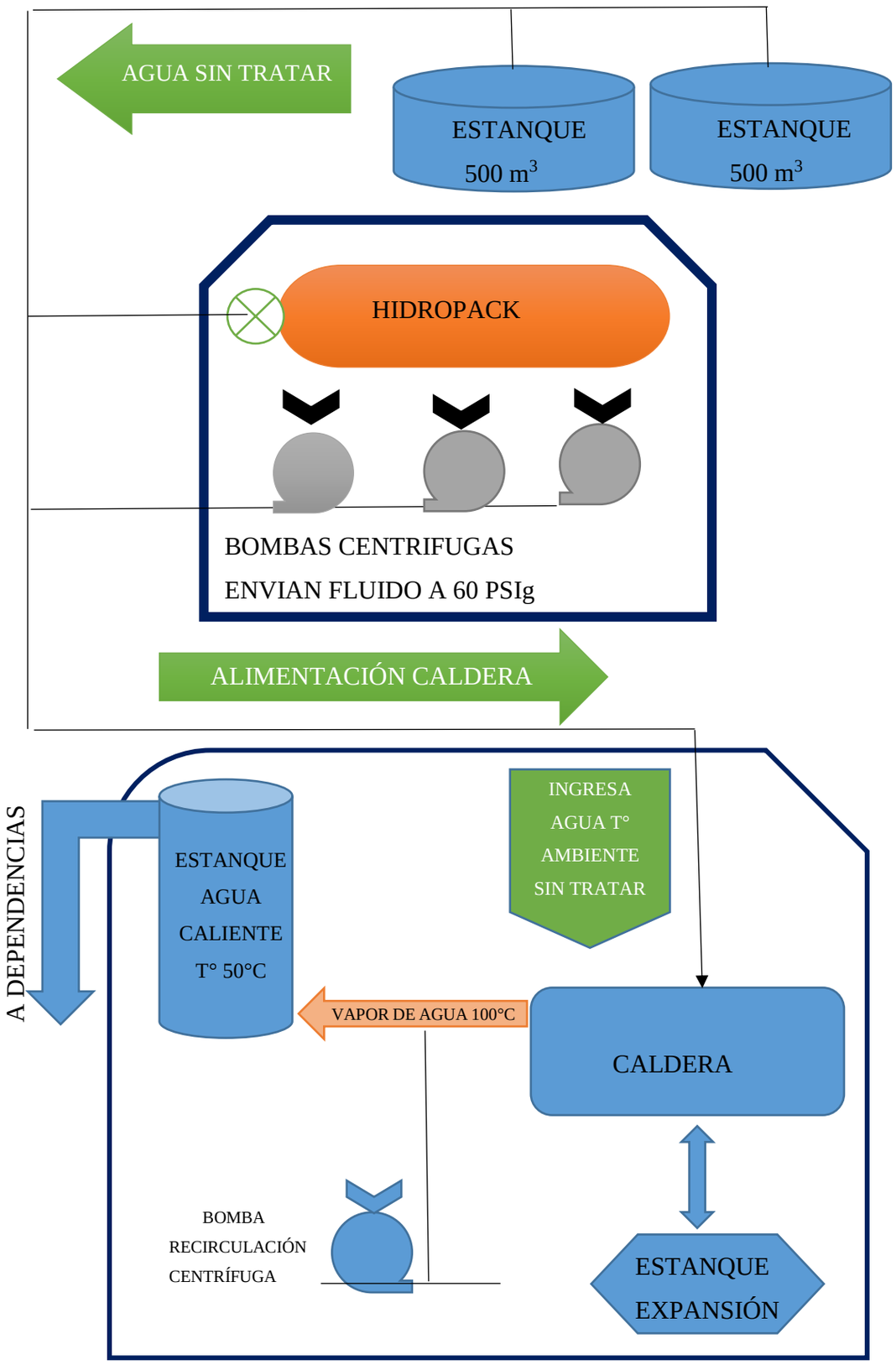
De acuerdo al Decreto Supremo N°10 del Ministerio de Salud de Chile, se define "caldera" como una unidad principal diseñada para generar agua caliente, calentar un fluido térmico o para generar vapor de agua, mediante la acción del calor.

Una definición completa sería: *"Caldera es un recipiente metálico, cerrado, destinado a producir vapor o calentar agua, mediante la acción del calor o calentar agua, mediante la acción del calor a una temperatura superior a la del ambiente y presión mayor que la atmosférica".*

En la base aeronaval cumple un papel fundamental al generar agua caliente para ser usado en la preparación de alimentos y en el bienestar del personal.

1.2.3.3.1. Esquema de funcionamiento básico de sistema caldera

El esquema descrito en la figura 1-6 sintetiza el circuito de agua que alimenta a la caldera y los elementos que participan en el proceso de calefacción del agua:




Fuente: Elaboración Propia

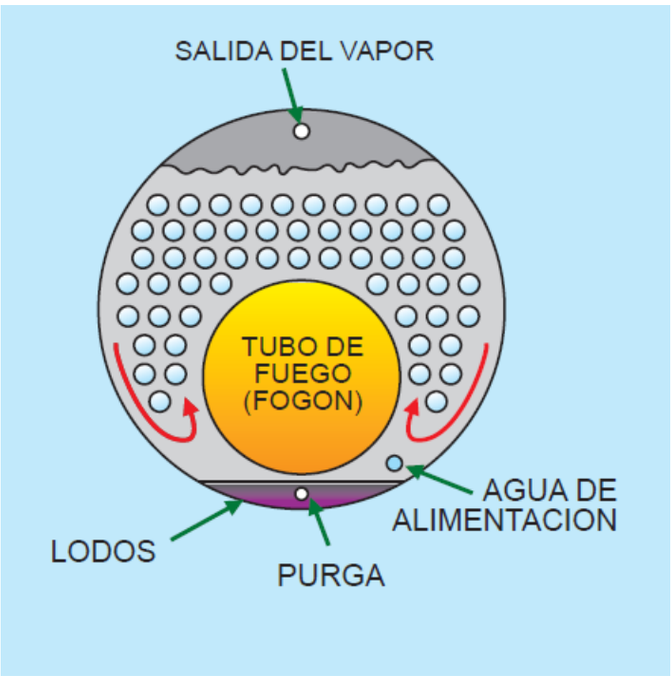
Figura 1-6. Esquema de funcionamiento Sistema Caldera

1.2.3.3.2. Funcionamiento básico de una caldera

Funcionan a través de la transferencia de calor que es producida generalmente al quemarse el combustible, calor que es entregado al agua contenida en su interior o que circula dentro de un recipiente metálico. En la figura 1-7 se visualizan las partes principales de una caldera pirotubular. En las calderas se pueden distinguir dos zonas importantes: a) Cámara de combustión y b) Zona de tubos.

a) Cámara de combustión u Hogar: Es el lugar donde se quema el combustible y ésta puede ser interior o exterior con respecto al recipiente metálico.

Interior: El hogar se encuentra dentro del recipiente metálico o rodeado de paredes refrigeradas por agua.
Exterior: Hogar construido fuera del recipiente metálico
b) Zona de tubos: Es la zona donde los productos de la combustión transfieren calor al agua.




Fuente: Descripción de Calderas y Generadores de Vapor ACHS, Pág.22

Figura 1-7. Descripción de una caldera escocesa

1.2.3.3.3. Clasificación de calderas

Para entender de manera sencilla el Ministerio de Salud de Chile señala en su Decreto Supremo N°10 clasifica las calderas de acuerdo a la función que están desempeñan y de sus presiones de trabajo como a continuación se señalan:

1. Caldera de calefacción: Calderas de vapor de agua, cuya presión manométrica máxima no excede los 0,5 kg/cm$^2$ y calderas diseñadas para generar agua caliente para uso de calefacción o sanitario.
2. Caldera de fluidos térmicos: Caldera que utiliza un fluido distinto al agua, destinado a la transferencia de calor, en fase liquida a altas temperaturas y que fluye por un circuito cerrado.
3. Caldera de vapor: Caldera diseñada para generar vapor de agua, cuya presión manométrica máxima trabajo es igual o superior a 0,5 kg/cm$^2$.
4. Caldera de vapor de baja presión: Caldera diseñada para generar vapor de agua, cuya presión manométrica máxima de trabajo no excede los 3,5 kg/cm$^2$.
5. Caldera de vapor de mediana presión: Caldera diseñada para generar vapor de agua, cuya presión manométrica máxima de trabajo es igual o mayor a 3,5 kg/cm$^2$ e inferior a 15 kg/cm$^2$.
6. Caldera de vapor de alta presión: Caldera diseñada para generar vapor de agua, cuya presión manométrica máxima de trabajo es igual o mayor a 15 kg/cm$^2$ e inferior 42 kg/cm$^2$.
7. Caldera de vapor de gran presión: Caldera diseñada para generar vapor de agua, cuya presión manométrica máxima de trabajo es superior a 42 kg/cm$^2$.
8. Caldera móvil: caldera cuyo diseño permite la posibilidad de desplazamiento entre un lugar y otro de trabajo, siempre en función del trabajo productivo.

Para complementar la clasificación entregada por el ministerio de salud a través del DS10, a continuación, se describe la propuesta realizada por la Asociación Chilena de Seguridad (ACHS) de acuerdo al uso en nuestro país:

1. Atendiendo a la calefacción del agua:
   a) Pirotubulares o de tubos de humos.
   b) Acuotubulares o de tubos de agua.

2. Atendiendo a su posición:
    a) Horizontales
    b) Verticales

3. Atendiendo a su instalación:
    a) Fija o estacionaria
    b) Móviles o portátiles

4. Atendiendo a su ubicación del hogar:
    a) De hogar interior
    b) De hogar exterior

5. Atendiendo a la circulación de los gases:
    a) Recorrido en un sentido (de un paso)
    b) Con retorno simple (de dos pasos)
    c) Con retorno doble (de tres pasos)

6. Con respecto a su forma de calefacción:
    a) Cilíndrica sencilla de hogar exterior
    b) Con un tubo de hogar (liso o corrugado)
    c) Con dos tubos hogares (liso o corrugado)
    d) Con tubo Galloway (calderas horizontales o verticales)

7. De acuerdo a la presión del vapor que producen:
    a) De baja presión (hasta 2,0 kg/cm$^2$)
    b) De mediana presión (sobre 2,0 kg/cm$^2$ hasta 10 kg/cm$^2$)
    c) De alta presión (sobre 10 kg/cm$^2$ hasta 225 kg/cm$^2$)
    d) Supercríticas (sobre 225 kg/cm$^2$)

8. Con respecto al volumen de agua que contienen en relación con su superficie de calefacción:
    a) De gran volumen de agua (más de 150 Lts x m2 de superficie de calefacción SC)
    b) De mediano volumen de agua (entre 70 a 150 Lts x m2 de SC)
    c) De pequeño volumen de agua (menos de 70 Lts x m2 de SC)

9. Según su utilización:
    a) De vapor
    b) De agua caliente

10. Según la recirculación del agua dentro de la caldera:
    a) Circulación natural: El agua circula por efecto térmico
    b) Circulación forzada: El agua se hace circular mediante bombas

11. Según el tipo de combustible:
    a) De combustible sólido
    b) De combustible líquido
    c) De combustible gaseoso

1.2.3.3.4. Partes principales que componen una caldera

- Hogar o fogón: Es el espacio donde se produce la combustión. Se le conoce también con el nombre de cámara de combustión.

  Los hogares se pueden clasificar en:

  - Según su ubicación.
  - Hogar exterior.
  - Hogar interior.

  - Según el tipo de combustible.
  - Hogar para combustible sólido.
  - Hogar para combustible gaseoso.

  - Según su construcción.
  - Hogar liso.
  - Hogar corrugado.

- Puerta hogar: Es una pieza metálica, abisagrada, revestida generalmente en su interior con ladrillo refractario o de doble pared por donde se echa el combustible sólido al hogar y se hacen las operaciones de control del fuego.

  En las calderas que queman combustibles líquidos o gaseosos, esta puerta se reemplaza por el quemador.

- Conducto de humo: Son los espacios por los cuales circulan los humos y gases calientes de la combustión. De esta forma, se aprovecha el calor entregado por estos para calentar el agua y/o producir vapor.

- Caja de humo: Corresponde al espacio de la caldera en el cual se juntan los humos y gases después de haber entregado su calor y antes de salir por la chimenea.

- Chimenea: Es el conjunto de salida de los gases y humos de la combustión para la atmósfera, además, tiene como función producir el tiro necesario para obtener una adecuada combustión.

- Regulador de tiro o templador: Consiste en una compuerta metálica instalada en el conducto de humo que comunica con la chimenea o bien en la chimenea misma. Tiene por objeto dar mayor o mejor paso a la salida de los gases y humos de la combustión.

- Tapas de registro o puertas de inspección: Son aberturas que permiten inspeccionar, limpiar y reparar la caldera. Existen dos tipos, dependiendo de su tamaño:
  - Las puertas hombre
  - Las tapas de registro

  La puerta hombre por sus dimensiones permite el paso de un hombre al interior de la caldera.

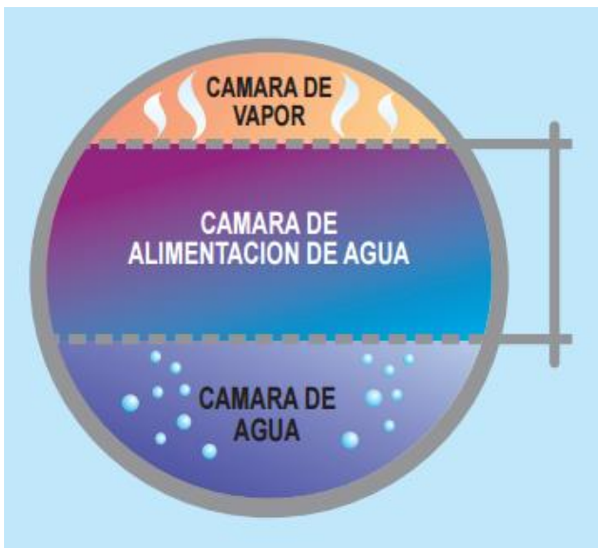
  Las tapas de registro, por ser de menor tamaño, permiten sólo el paso de un brazo.

- Puertas de explosión: Son puertas metálicas con contrapeso o resorte, ubicadas generalmente en la caja de humos y que se abren en caso de exceso de presión en la cámara de combustión, permitiendo la salida de los gases y eliminando la presión. Sólo son utilizables en calderas que trabajen con combustible líquido o gaseoso.

- Cámara de agua: Es el volumen de la caldera que está ocupado por el agua que contiene y tiene como límite superior un cierto nivel mínimo del que no debe descender nunca el agua durante su funcionamiento. Es el comprendido del nivel mínimo visible en el tubo de nivel hacia abajo.

- Cámara de vapor: Es el espacio o volumen que queda sobre el nivel superior máximo de agua y en el cual se almacena el vapor generado por la caldera.
  En este espacio o cámara, el vapor debe separarse de las partículas de agua que lleva en suspensión. Por esta razón, algunas calderas tienen un pequeño cilindro en la parte superior de esta cámara, llamada "domo", y que contribuye a mejorar la calidad del vapor (hacerlo más seco).

- Cámara de alimentación de agua: Es el espacio comprendido entre los niveles máximo y mínimo de agua. Durante el funcionamiento de la cámara, se encuentra ocupada por agua y/o vapor, según sea donde se encuentre el nivel de agua.




Fuente: Descripción de Calderas y Generadores de Vapor ACHS, Pág.18

Figura 1-8. Descripción básica de una Caldera

1.2.3.3.5. Sistema de caldera Base Aeronaval

La distribución del sistema de caldera se conforma con elementos internos y externos a la sala de caldera, los cuales son necesarios para la alimentación hacia la caldera. Está compuesta por los siguientes componentes:

- Caldera

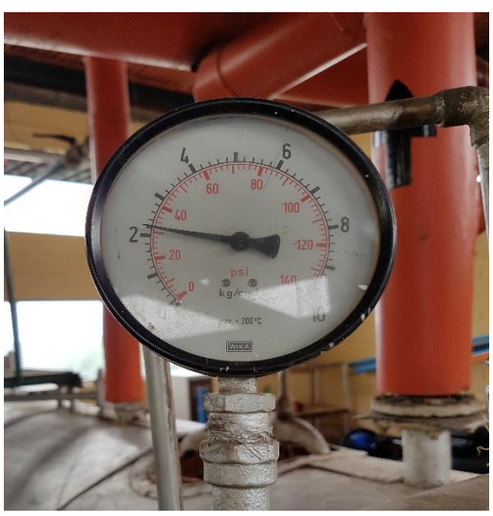
Caldera de vapor tipo escocesa, igneotubular de dos pasos de gases que tiene las siguientes capacidades y características:

Tabla 1-1. Características de caldera Base Aeronaval

| CARACTERÍSTICAS DE CALDERA | |
|---|---|
| **Potencia estimada** | 60 BHP |
| **Superficie de calefacción** | 28 $m^2$ |
| **Presión de trabajo** | 125 psi |
| **Presión de prueba hidráulica** | 187,5 psi |
| **Presión de vapor (con agua de 100°C y/o 125 Lbs/pulg$^2$** | 930 Kg/h |
| **Combustible** | Diésel |
| **Consumo combustible máximo** | 68 Kg/h |
| **Año de fabricación** | 1979 |

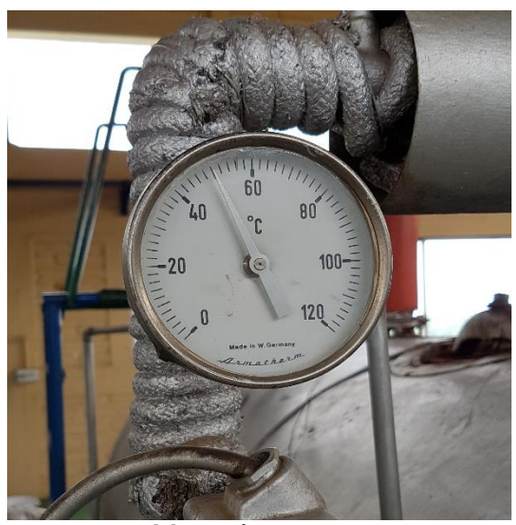
Fuente: Ficha técnica del fabricante

La caldera cuenta con elementos de medición y control que son parte importante para la operación de la caldera, ya que esta caldera no cuenta con una forma de controlar la sobrepresión de manera automática, transformándola en un equipo dependiente del operador en todo momento, ya que, una sobrepresión puede causar una rotura en algún punto del circuito o en la misma caldera.




Fuente: Elaboración propia

Figura 1-9. Manómetro de presión




Fuente: Elaboración propia

Figura 1-10. Controlador de temperatura

Fuente: Elaboración Propia

Figura 1-11. Válvula de alivio de presión

- Quemador

La caldera cuenta con un quemador para petróleo diésel marca RIELLO de dos etapas, modelo RL50-654T1, el cual tiene las siguientes características básicas de operación:

Tabla 1-2. Características del quemador caldera

| CARACTERÍSTICAS DEL QUEMADOR | |
|---|---|
| **Combustible** | Diésel |
| **T° ambiente** | 0°C a 40°C |
| **T° aire combustión** | 60°C Máx. |
| **Corriente de trabajo** | 230V |
| **N° boquillas** | 2 |

Fuente: Ficha técnica

Fuente: Elaboración propia

Figura 1-12. Quemador marca RIELLO

- Bomba de recirculación de agua caliente

La bomba utilizada para la recirculación del agua calefaccionada desde la caldera hacia el estanque de agua o termo, es una bomba centrifuga vertical modelo CNL30, marca LOEWE PUMPENFABRICK.

Tabla 1-3. Características de bomba ACC

| CARACTERÍSTICAS BÁSICAS | |
|---|---|
| **T° trabajo** | 110°C |
| **Caudal** | 30m$^3$/h |
| **Rpm** | 1450 |
| **Potencia** | 0,75KW |
| **H** | 3m |

Fuente: Ficha técnica

Fuente: Elaboración propia

Figura 1-13. Bomba de recirculación agua caliente caldera

- Estanque de petróleo

La sala de caldera cuenta con un estanque de petróleo diésel externo, el cual cuenta con medición de nivel. El combustible es inyectado desde el estanque a la caldera por medio de la bomba interna del quemador. La capacidad de este estanque es de 5000 Lts.

Fuente: Elaboración propia

Figura 1-14. Estanque de petróleo

- Estanque de almacenamiento de agua caliente

Este estanque fabricado en plancha de acero CAP.A3724ES es el encargado de almacenar el agua calefaccionada que viene desde la caldera pasando por un serpentín de calefacción, posteriormente, a través de una válvula de paso, se comunica a todo el circuito de agua caliente. El agua almacenada puede llegar a alcanzar una temperatura de 50°C regulada por el operador de la caldera.

Fuente: Elaboración propia

Figura 1-15. Estanque de agua calefaccionada

- Estanque de expansión

En los sistemas de calefacción el uso de estanques de expansión es necesario para acomodar el aumento del volumen del agua debido a su expansión cuando aumenta la temperatura. Tiene una capacidad de 1500 Lts, soporta una de 16 bar.

Fuente: Elaboración propia

Figura 1-16. Estanque de expansión

- Estanques hidropack

En el circuito de alimentación de agua, que sale desde la sala de bombas principal de la base, se encuentran dos estanques HIDROPACK los cuales tienen como principio de funcionamiento soportar fuertes variaciones de presión y caudal. Estas variaciones bruscas llamadas “golpe de ariete” pueden ocasionar daños mecánicos en las uniones y soldaduras, en los sistemas de medición y control, bombas impulsoras y conductos.
La ventaja principal de los estanques amortiguadores es que mejoran la vida útil de las instalaciones y regulan la presión de mejor forma.

Fuente: Elaboración propia

Figura 1-17. Estanques Hidropack

- Bombas de alimentación de agua principales

La sala de bombas principal cuenta con 3 bombas elevadoras de presión que son las encargadas de enviar el agua por medio de los circuitos a la Base, éstas tienen un sistema de funcionamiento en pareja, donde una bomba funciona como líder, otra stand-by para reforzar a la líder en caso de una mayor exigencia de caudal y la otra fuera de servicio. En conjunto proporcionan una presión de alimentación que llega hasta los 70 PSI. Son bombas centrífugas de aspiración axial con un solo rodete, marca CALPEDA, modelo B-N 80-250B, con un caudal de trabajo de 108 $m^3/h$, 45 KW de potencia.

Fuente: Elaboración propia

Figura 1-18. Bombas de impulsión principales

- Estanques principales de agua

La base cuenta con 2 estanques de concreto con una capacidad de $500m^3$ cada uno, los cuales reciben agua de ESVAL y alimentan a la caldera sin tratamiento previo. Se mantienen diariamente con una capacidad del 90% debido a la necesidad en caso de algún incendio dentro o fuera de las dependencias con la finalidad de entregar suministro de agua necesario.

Fuente: Elaboración Propia

Figura 1-19. Estanques de agua

## 1.3. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La base aeronaval cuenta con una sala de calderas la cual es operada y mantenida por un operador de caldera designado por el departamento CATAN, el cual tiene las responsabilidades de asegurar el funcionamiento adecuado de todos los elementos y equipos que la componen. En su función es ayudado por personal designado a operar la caldera después del horario de trabajo que corresponden a los turnos diarios de guardia. El personal de guardia posee solamente la capacitación para efectuar la operación de calentamiento de A.C.S., sin prestar mayor atención a las condiciones de funcionamiento que se presentan. El departamento carece de personal adecuado para realizar un monitoreo diario de las condiciones de operación de la caldera y de las posibles fallas que puedan producirse al detectarse diversos síntomas en los equipos.

Es importante que cada operador designado por los turnos de guardia tenga el conocimiento necesario para detectar falencias en el trabajo normal de los equipos y así poder registrarlos para su posterior análisis junto con el mecánico responsable. Las inspecciones que son realizadas por el personal encargado se realizan de manera desfasada a lo que realmente deberían realizarse las tareas de mantenimiento, lo que produce un control deficiente de las tareas realizadas. Al no existir una planificación y programación adecuada se desconocen las acciones y tareas que deben realizarse para mantener un funcionamiento eficiente de los activos que posee el departamento.

Se suma a las condiciones anteriores el tiempo de vida que tiene la caldera en conjunto con la bomba que permite la recirculación de vapor hacia el estanque de A.C.S., produciendo de esa forma un aumento de las posibilidades de que se produzca una falla al no realizar las acciones de mantenimiento en el límite de tiempo adecuado.

El sistema de caldera no cuenta con un mecanismo de tratamiento de agua para ser utilizado en la alimentación de la caldera, lo cual permitiría disminuir las impurezas contenidas en el agua. Los tratamientos que se realizan al agua son complementarios, lo que permite combinar diversos métodos para prevenir la mayor cantidad de impurezas que el agua contiene.

El sistema de tuberías presenta deterioro en los elementos de aislación en algunos sectores, producto de la humedad que se genera en el interior de la sala de caldera y a golpes que ha sufrido durante los años, esta es una condición que no presenta un mayor inconveniente para el funcionamiento, pero debe ser considerado en las acciones de inspección para evitar su aumento.

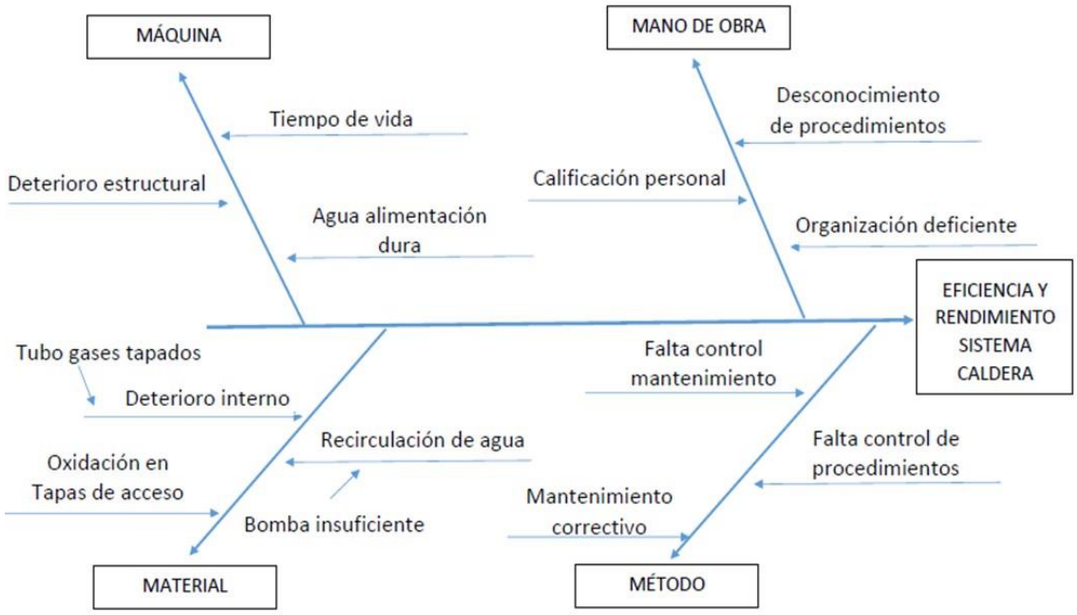
Existen variados métodos que son utilizados para agrupar el conjunto de discrepancias que pueden existir en un sistema, para poder ser analizados y encontrar las fallas que lo producen para luego planificar las posibles soluciones.

A continuación, se utilizará el diagrama de Ishikawa (causa-efecto) para encontrar las posibles causas que producen el deterioro del rendimiento del sistema de caldera.

### 1.3.1 Diagrama causa-efecto

Una de las formas de organizar una seria de causas que dan origen a un efecto principal es el Diagrama de Ishikawa o Diagrama Causa-Efecto. El cual permite ordenar todas las posibles causas que originen el problema.

La utilización del diagrama permitió observar las diferentes causas que originan una disminución de la eficiencia y rendimiento del sistema de calderas. Teniendo en cuenta los factores del mantenimiento, el estado de la caldera, el conocimiento de los operadores, la eficiencia del intercambio de calor y procedimientos necesarios para la operación diaria de la caldera. En la tabla 2-1 se utiliza una tabla como herramienta para evidenciar la disminución de la eficiencia de la caldera al aumentar el consumo de combustible para conseguir la temperatura necesaria en el interior de la caldera.




Fuente: Elaboración propia

Figura 1-20. Diagrama de Ishikawa en análisis de eficiencia y funcionamiento

1.3.1.1. Máquina

Es el equipo el cual la empresa le otorga un nivel de importancia de acuerdo a las funciones que esta emplea. Para permitir que el equipo pueda desarrollar las tareas o trabajos específicos por los cuales fue adquirido, se debe realizar un ciclo de planificaciones y programaciones de mantenimiento que logren conservar el buen funcionamiento con ausencia de fallas imprevistas dentro del tiempo de control o ciclo de trabajo normal.

1.3.1.2. Mano de obra

La principal fuente de desarrollo y progreso dentro de toda empresa lo realizan sus trabajadores, es por eso que son considerados el recurso de mayor valor dado a los trabajos que estos realizan para la organización. Es necesario que la mano de obra sea calificada o esté capacitada para realizar los trabajos a los cuales son encomendados, para así permitir un funcionamiento de manera continua los trabajos a los cuales son designados. En el departamento CATAN los operadores de mantenimiento no cuentan con un orden prioritario de acuerdo a la importancia de los trabajos, lo cual aumenta los tiempos de trabajo.

#### 1.3.1.3. Material

Es importante que las personas que realicen trabajos dentro de la empresa cuentes con los equipos necesarios que les proporcione seguridad y comodidad a la hora de trabajar. Estos equipos deben cumplir con los estándares de calidad acordes al nivel y tipo de acciones que realicen los trabajadores. El departamento cuenta con herramientas y equipos necesarios para realizar las operaciones de mantenimiento, pero no todos se encuentran en estado óptimo de utilización.

#### 1.3.1.4. Método

Toda empresa que realice alguna labor de mantenimiento debe poseer una planificación y programación adecuada e idónea para permitir que las acciones de mantención a los equipos se realicen de manera óptima y efectiva. Debe existir de igual manera procedimientos controlados y registros de las labores que son realizadas para luego analizarlas proporcionando ideas para mejora continua, teniendo en consideración las reparaciones que deben ser realizadas de acuerdo a la norma ASME IX (Reparaciones en caliente). El departamento carece de una planificación y programación de trabajos adecuados al nivel de operación que tienen los equipos lo cual no permite un control y análisis adecuado de las acciones que son realizadas durante el ciclo de vida de los equipos.

#### 1.3.1.5. Conclusión de Diagrama Causa Efecto

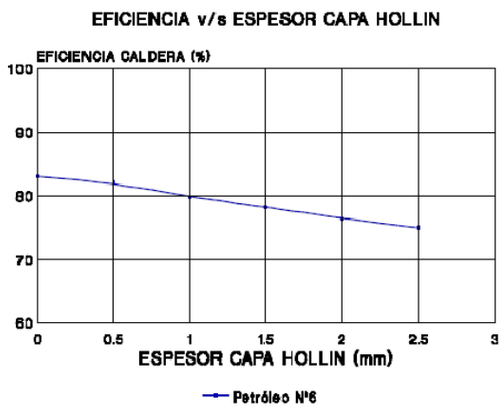
Es importante trabajar cada punto de las causas descritas en el diagrama ya que las uniones de estas producen efectos que pueden deteriorar a la caldera y disminuir su capacidad de trabajo.

La aplicación de un sistema de tratamiento de agua, la implementación y refuerzo de bombas de agua caliente de caldera y sanitaria y la realización de un plan de mantenimiento de forma organizada y de acuerdo a las normas establecidas en el DS10 del Ministerio de salud de Chile, deben ayudar a mejorar las condiciones actuales y evitar fallas futuras.

Para complementar el cómo influyen algunas condiciones en la caldera, debemos considerar el efecto que produce el hollín y las incrustaciones. Existe una relación directa entre el deterioro de la eficiencia y los espesores de las capas de hollín e incrustaciones. El hollín y las incrustaciones actúan como aislante disminuyendo el flujo de calor entre los productos de la combustión y el fluido contenido en el interior de la caldera. las

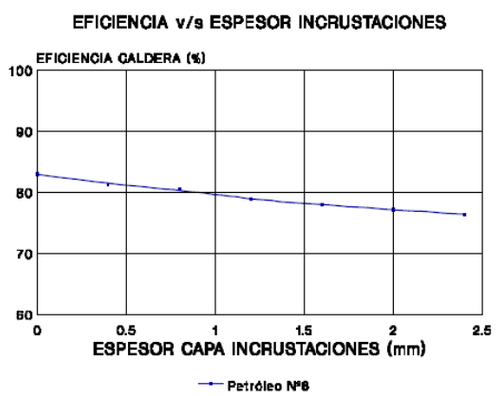
acumulaciones de incrustaciones aumentan la temperatura de las tuberías llegando a producir daños considerables en la caldera por sobrecalentamiento.

En las figuras se observa la influencia de los espesores de las capas en donde solo unos milímetros pueden provocar una considerable disminución de la eficiencia. De acuerdo a lo anterior es necesario contar con un buen tratamiento de agua que permita evitar este problema.




Fuente: Artículo técnico "Análisis de la eficiencia en calderas", Thermal Engineering ltda, Pág.5

Figura 1-21. Gráfico eficiencia vs espesor capa de hollín




Fuente: Artículo técnico "Análisis de la eficiencia en calderas", Thermal Engineering ltda, Pág.6

Figura 1-22. Gráfico Eficiencia vs espesor capa de incrustaciones

# CAPÍTULO 2: EVALUACIÓN ACTUAL DEL SISTEMA DE CALDERA.

# 2. EVALUACIÓN ACTUAL DEL SISTEMA DE CALDERA.

## 2.1. CONDICIÓN ACTUAL DE CALDERA.

La caldera de vapor tipo escocesa igneotubular de dos pasos de gases se encuentra en un estado funcional aceptable, pero no proporciona la misma eficiencia que tenía en sus inicios de operación. Al evaluar las condiciones mecánicas y de funcionamiento se detectaron tubos internos de paso de gases tapados debido al mal mantenimiento y falta de limpieza de los ductos.

En la cámara de acceso superior se encuentra el sello de la tapa de entrada en mal estado, esto último, como consecuencia de utilizar un sello que no soporte temperaturas y presiones de trabajo normales. Al utilizar este sello deficiente se produce una fuga de agua calefaccionada como consecuencia de un alza de presión, disminuyendo el agua caliente en el interior de la caldera producto que debe realizarse la realimentación de agua cruda a temperatura ambiente lo que trae consigo la disminución de temperatura interna del agua de recirculación.

Debido a la condición actual y sumando los 30 años aproximadamente que tiene en funcionamiento esta caldera lo más recomendable sería realizar un estudio para reemplazarla, pero al no contar con el presupuesto necesario se propondrá un sistema de mejora a bajo costo y planes de mantenimiento adecuado para conservar la operatividad de la caldera.

### 2.1.1. Consumo de combustible

La caldera instalada en la Base Aeronaval tiene un tiempo promedio de operación diario variable debido a la disminución del personal que utiliza este servicio los fines de semana y festivos. Considerando el primer margen de operación entre los días lunes y viernes se estima un tiempo de funcionamiento promedio de 320 minutos diarios, disminuyendo este tiempo los días festivos y fines de semana a 140 minutos promedio diarios.

La alimentación de combustible hacia la caldera no se encuentra controlada por un flujómetro que permita tener conocimiento de manera directa y exacta sobre el combustible utilizado. El control se realiza por medio de una sonda de medición ubicada en el exterior del estanque de combustible.

Se realizó una medición del consumo de acuerdo a un régimen de operación normal durante una semana mostrados en la tabla n°1.

Tabla 2-1. Consumo de combustible aproximado semanal

| DÍA | TIEMPO OPERACIÓN (Minutos) | LECTURA INICIAL (Litros) | LECTURA FINAL (Litros) | CONSUMO (Litros) |
|---|---|---|---|---|
| **LUNES** | 210 | 2145 | 1985 | 160 |
| **MARTES** | 275 | 1985 | 1780 | 205 |
| **MIERCOLES** | 270 | 1780 | 1575 | 205 |
| **JUEVES** | 300 | 1575 | 1350 | 225 |
| **VIERNES** | 300 | 1350 | 1125 | 225 |
| **SABADO** | 230 | 1125 | 953 | 172 |
| **DOMINGO** | 70 | 953 | 908 | 45 |

Fuente: Elaboración propia

### 2.1.2. Cantidad de vapor generado

El proceso de generación de vapor es llevado a cabo desde que se enciende el combustible en el interior de la cámara de combustión generando la energía calorífica necesaria, para llevar a cabo el calentamiento del agua que se encuentra en el interior de la caldera. Por medio de los pasos de tubos los gases calientes van cediendo su calor al agua para que este genere una cantidad de 930 Kg/h de vapor saturado, destinado a recircular hacia el estanque de ACS y aumentar la temperatura del agua que viene desde los estanques principales.

### 2.1.3. Purga inferior de sedimentos

La caldera cuenta con una purga en la parte inferior que tiene como objetivo vaciar el lodo o sedimentos que se van acumulando en su interior debido a los sólidos que se desprenden del agua al evaporarse. Estos sedimentos deben ser eliminados ya que facilitan el sobrecalentamiento de las planchas inferiores. Los que pueden provocar deformaciones altamente peligrosas en los tubos. La tarea de eliminar los depósitos debe realizarse al final de cada turno y lo ideal es eliminar todo el contenido de agua turbia.

En la operación diaria de la caldera los operadores no poseen tareas que estipulen la acción de eliminar los sedimentos y barros a través de la purga, por lo general, estos se acumulan hasta ser eliminados en alguna inspección o mantenimiento que se realice.
Debido a la perdida de agua por la tapa de acceso superior se ha producido una corrosión en el sector de la purga por el contacto del agua calefaccionada, donde el daño en el cuerpo de este ha aumentado considerablemente.

Fuente: Elaboración propia

Figura 2-1 Corrosión en purga inferior de caldera

## 2.2. TRATAMIENTO DE AGUA DE ALIMENTACIÓN

La repartición no cuenta con un sistema de tratamiento de agua que se adecue a los requerimientos y necesidades del sistema de caldera. Se evidencia que la calidad del agua influye de manera directa en el rendimiento y seguridad de la caldera.
Cuando se habla de rendimiento nos referiremos a la relación que existe entre el calor que es entregado por el combustible al quemarse y el calor que se contiene en el vapor. Esto es producido por las incrustaciones que forman una capa que se adhiere a las superficies internas de la caldera formando una capa aislante dificultando la transmisión de calor entregado por el combustible.

En cuanto a la seguridad, las incrustaciones crean una aislación entre las superficies de calefacción del agua, lo cual produce un aumento excesivo de temperatura en estas. Debido al aumento de temperatura pueden llegar a perder gran parte de su

resistencia sufriendo deformaciones, roturas y explosiones. Es el rendimiento y la seguridad en el funcionamiento de la caldera los que influyen en la calidad del agua utilizada.

Si el agua fuera únicamente H2O no requeriría tratamiento alguno, pero el nivel de impureza varía. Lo más cercano es el agua de lluvia que aun así contiene elementos sujetos a cuestionamiento.

### 2.2.1. Parámetros de tratamiento de agua de alimentación

Los parámetros principales involucrados en el tratamiento del agua para ser utilizada en caldera, se detallan a continuación:

- **pH**: Es la medida de las características ácidas o alcalinas del agua, indicando la concentración de iones hidrógenos los cuales deben ser controlados para prevenir problemas de corrosión (bajo pH) y depósitos (alto pH).
- **Dureza**: Esta cuantifica la cantidad de iones de magnesio y calcio presentes en el agua, los cuales ayudan a la formación de incrustaciones y depósitos en las superficies de transferencia de calor (tuberías de paso) de una caldera.
- **Oxígeno**: Elemento presente en el agua que fomenta la corrosión de todos los componentes metálicos en una caldera. La velocidad en que se produce la corrosión se puede ver beneficiada al aumentar la temperatura y presión dentro de ella.
- **Hierro y cobre**: El hierro (Fe) y el cobre (Cu) forman depósitos que también producen un deterioro a la transferencia de calor. Para evitar o disminuir la posibilidad de la formación de depósitos se pueden utilizar filtros para retener y remover posteriormente estas sustancias.
- **Dióxido de carbono**: Este compuesto al igual que el oxígeno favorece a la formación de corrosión.
- **Aceite**: El aceite favorece a la generación de espuma lo cual produce el arrastre del vapor generado.
- **Solidos disueltos**: Son la cantidad de sólidos que se encuentran disueltos en el agua.
- **Sílice:** Presente en el agua de alimentación, este puede provocar la formación de incrustaciones duras (silicatos) o de muy baja conductividad térmica (silicatos de calcio y magnesio).
- **Alcalinidad**: Representa la cantidad de carbonatos, bicarbonatos, hidróxidos, silicatos y fosfatos en el agua.

- **Conductividad**: Esta permite controlar la cantidad de sales (iones) disueltas en el agua.

### 2.2.2. Requerimientos para agua de alimentación

Antes de establecer que parámetros se deben considerar al momento de establecer un sistema que permita acondicionar las características del agua necesarias para el buen funcionamiento de las calderas, se deben considerar las distintas normas que son utilizadas para establecer los requisitos a utilizar. En chile de acuerdo al DS 10 "Reglamento de calderas, autoclaves y equipos que utilizan vapor de agua", establece 3 requisitos para la calidad físico química del agua que se describen a continuación:

a) *El agua de alimentación debe tener un aspecto cristalino, homogéneo y transparente, y su turbiedad no exceder las 10 NTU.*
b) *La dureza total del agua no debe exceder las 10 ppm.*
c) *El Ph debe ser entre 7 a 11.*

Teniendo en consideración los requisitos anteriores establecidos por el DS10 y de acuerdo a las bases de las recomendaciones de la Norma Británica BS-2486, la ABMA (American Boiler Manufacturing Association) y el TÜV, se ha preparado la siguiente tabla que muestra los requerimientos que debe satisfacer el agua de alimentación y el agua de caldera para prevenir incrustaciones y corrosión en calderas de baja presión (hasta 145 PSI).

Tabla 2-2. Requerimientos de agua alimentación caldera vapor

| PARÁMETRO | VALOR REQUERIDO |
|---|---|
| **Dureza total** | < 2 ppm |
| **Contenido de oxígeno** | < 8 ppb |
| **Dióxido de carbono** | < 25 mg/l |
| **Contenido total de hierro** | < 0,05 mg/l |
| **Contenido total de cobre** | < 0,01 mg/l |
| **Alcalinidad total** | < 25 ppm |
| **Contenido de aceite** | < 1 mg/l |
| **pH a 25 °C** | 8.5 – 9.5 |
| **Condición general** | Incoloro, claro y libre de agentes indisolubles. |

Fuente: DS10 y Norma BS2486-1997

### 2.2.3. Parámetros de calidad del agua potable

Debido a que la alimentación de agua para el sistema de caldera se realiza desde los estanques principales de la Base Aeronaval, los cuales reciben agua de ESVAL, la calidad del agua se debe regir de acuerdo a los controles realizados por la superintendencia de servicios sanitarios manteniendo los niveles dentro del sector. Estos valores serán comparados con los requeridos por la Norma Británica BS 2486 con el fin de encontrar el mejor tratamiento para el agua y así prevenir incrustaciones, sedimentos y roturas.

Tabla 2-3. Valores del agua potable

| COLIFORMES TOTALES | Ausencia | NMP |
|---|---|---|
| **Turbiedad** | 2,0 | NTU |
| **Cobre total** | 2 | mg/L |
| **Cromo total** | 0,05 | mg/L |
| **Fluoruro** | 1,5 | mg/L |
| **Hierro total** | 0,3 | mg/L |
| **Manganeso total** | 0,1 | mg/L |
| **Magnesio** | 125 | mg/L |
| **Selenio** | 0,01 | mg/L |
| **Zinc** | 3 | mg/L |
| **Arsénico** | 0,01 | mg/L |
| **Cadmio** | 0,01 | mg/L |
| **Cianuro** | 0,05 | mg/L |
| **Mercurio** | 0,001 | mg/L |
| **Nitratos** | 50 | mg/L |
| **Nitritos** | 3 | mg/L |
| **Plomo** | 0,05 | mg/L |
| **Tetracloroeteno** | 40 | ug/L |
| **Benceno** | 10 | ug/L |
| **Tolueno** | 700 | ug/L |
| **Lindano** | 2 | ug/L |
| **Metoxicloro** | 20 | ug/L |
| **Pentaclorofenol** | 9 | ug/L |
| **Monocloraminas** | 3 | mg/L |
| **Dibromoclorometano** | 0,1 | mg/L |
| **Bromodiclorometano** | 0,06 | mg/L |
| **Color verdadero** | 20 | U Pt/Co |
| **Olor** | Sin Olor | |
| **Sabor** | Sin Sabor | |
| **Amoniaco** | 1,5 | mg/L |

| | | |
|---|---|---|
| **Cloruros** | 400 | mg/L |
| **PH** | 6,5 - 8,5 | Unidades |
| **Sulfatos** | 500 | mg/L |
| **Sólidos disueltos totales** | 1.500 | mg/L |
| **Compuestos fenólicos** | 2 | ug/L |
| **Cloro libre residual** | 0,2 - 2,0 | mg/L |

Fuente: Estudio del agua por SISS Julio 2016

### 2.2.4. Problemas que causan las impurezas contenidas en el agua

**a) Embancamiento**: La sílice y el barro con ayuda de algunas sales disueltas se depositan de manera rápida en el fondo de la caldera, produciendo que la libre circulación del agua y la salida de esta sea más difícil. Antes del ingreso del agua a la caldera debe realizarse el retiro de las impurezas por medio de un método de filtración.

**b) Incrustaciones:** Debido a las concentraciones de sales de calcio y magnesio en el agua utilizada para la alimentación de la caldera, se producen depósitos en las superficies metálicas de la caldera en forma de costras duras. Estos depósitos adoptan la característica de aislante afectando a la transferencia de calor al agua disminuyendo el rendimiento de la caldera. También producen recalentamientos en los tubos afectando a su resistencia mecánica y restringiendo el libre paso del agua.

Fuente: Artículo técnico “Tratamientos de agua de alimentación”, Thermal Engineering ltda, Pág.7

Figura 2-2. Incrustaciones en tuberías internas de caldera

**c) Corrosiones**: Es la degradación progresiva de las superficies metálicas que se encuentran en contacto con el agua, sumado a la acción del oxígeno, anhídrido carbónico

y algunas sales contenidas en el agua. También se pueden causar por compuestos químicos utilizados en el tratamiento del agua.

Fuente: Artículo técnico "Tratamientos de agua de alimentación", Thermal Engineering ltda, Pág.5

Figura 2-3. Corrosión por pitting en tuberías internas (por oxígeno).

**d) Arrastre:** Se produce cuando el vapor de la caldera lleva partículas de agua en suspensión. Esto provoca que los sólidos disueltos en esas partículas de agua se depositen en los elementos y equipos por donde circula el vapor, lo cual puede llegar a suscitar problemas en los sistemas de vapor. Este fenómeno se asocia a la formación de espuma en la superficie del agua, que puede ser causado por ejemplo a la presencia excesiva de sólidos disueltos, alta alcalinidad, sustancia orgánicas, entre otras.

Fuente: Artículo técnico "Tratamientos de agua de alimentación", Thermal Engineering ltda, Pág.9

Figura 2-4. Arrastre producido por excesiva concentración de sólidos.

**e) Fragilidad caustica:** es la formación de pequeñas fisuras en el metal de los tubos y elementos sometidos a esfuerzos mecánicos. Esto se produce cuando el agua utilizada contiene un exceso de hidróxido de sodio.

Fuente: Artículo técnico "Tratamientos de agua de alimentación", Thermal Engineering ltda, Pág.6

Figura 2-5. Corrosión cáustica en fogón de caldera

## 2.3. CONDICIONES DE LAS TUBERIAS DE SUMINISTRO DE VAPOR

En el suministro de vapor lo ideal sería que la energía producida en la casa de la caldera llegará a su proceso final, pero debido a que la temperatura del vapor es mucho mayor a la temperatura del aire que circula dentro de la sala de caldera siempre existirán pérdidas en este proceso.

El primer método recomendable para evitar lo anterior es la utilización de aislante térmico en las líneas de distribución de vapor. La diferencia es grande entre una tubería sin aislamiento y otra con aislamiento de 1", aproximadamente se produce una disminución del 85 a 90% de la perdida por conducción y radiación.

El aislamiento más común es la fibra de vidrio con un revestimiento de acero inoxidable. Para que exista una aislación ideal todos los elementos auxiliares como válvulas de aislamiento, válvulas de control entre otros. También deberían permanecer aislados, pero con un aislamiento que pueda ser retirado de fácil manera a la hora de realizar el mantenimiento regular a esos dispositivos. Además, es importante evitar que el aislante contenga humedad, siendo esto peor que la falta de aislamiento.

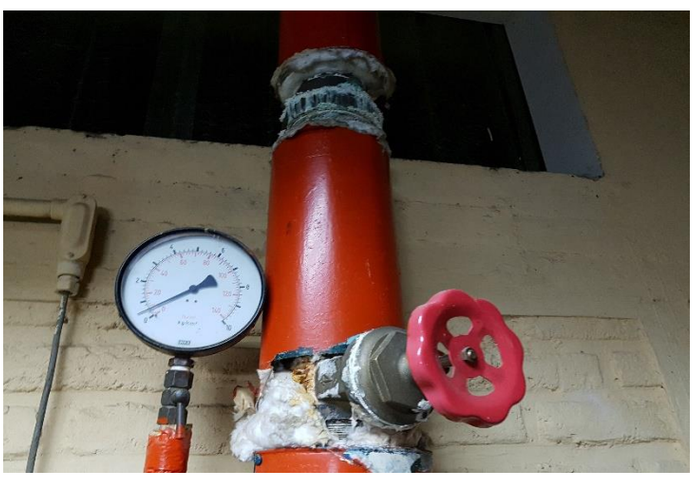
La sala de calderas de la Base Aeronaval cuenta con un aislamiento de fibra de vidrio y revestimiento de acero en sus líneas de distribución de vapor. Estos aislamientos se encuentran en su mayoría deteriorados por el tiempo de uso y presentan también sectores con deformaciones disminuyendo el espesor del aislante en algunos sectores y la

eficiencia de estos. La mayoría de las conexiones de tuberías y desviaciones de las líneas se encuentran sin aislamiento lo que produce una pérdida de energía por radiación y convección en esos sectores, al mismo tiempo, si contaran con aislamiento estas ahorrarían en un 95% de energía perdida.

Las conexiones de tuberías presentan también un deterioro por corrosión y desgaste producido por las variaciones de temperaturas y la exposición a vapores dentro de la sala de calderas, a causa de que no se considera la inspección de estas líneas, provocando el descuido y posterior deterioro del sistema.

Factores que afectan debido a la falta de aislamiento térmico correcto:

- Mayor consumo de combustible.
- Reducción en la eficiencia energética del vapor.
- Condensación en las líneas de vapor.
- Pérdidas de calor por los medios de conducción, convección y radiación.
- Reducción de la vida útil de la cañería.
- Tubería altamente peligrosa para el personal operario y de mantenimiento.
- Corrosión a la tubería por el ambiente de humedad que la rodea.



Fuente: Elaboración propia

Figura 2-6. Ausencia de aislamiento en accesorios de línea de distribución de vapor

## 2.4. CONDICIÓN ACTUAL DEL SISTEMA DE RECIRCULACIÓN DE CALDERA.

La sala de caldera cuenta con una bomba centrífuga vertical LOEWE PUMPENFABRICK modelo CNL30, la cual produce un caudal de 30m$^3$/h, con una potencia de 0,75Kw. La función de esta bomba es hacer recircular en un circuito cerrado entre la caldera y el estanque A.C.S. el agua calentada dentro de la caldera para así producir el intercambio de calor con el agua que ingresa en el estanque A.C.S. de acuerdo al régimen de utilización.

La desventaja que tiene este sistema radica en depender de una bomba para realizar los trabajos de intercambio de temperatura entre los fluidos de A.C.C. y A.C.S. de manera diaria, lo que proporciona un nivel de riesgo al no poseer una bomba en paralelo a ésta en caso de producirse una falla y dejar deshabilitado el sistema de recirculación.

La red de distribución de A.C.S. no cuenta con bombas de recirculación que mantengan un flujo de manera constante en la red con el objetivo de entregar A.C.S. de forma inmediata al momento de abrir una llave. La utilización de la bomba permitiría un flujo de retorno de A.C.S. ingresándola nuevamente a la caldera para que no se genere perdida de agua caliente debido a las purgas que se realizan al no tener el sistema de recirculación y las pérdidas producidas en las tuberías del sistema de distribución de A.C.S.

# CAPÍTULO 3: PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN DE MEJORA PARA EL SISTEMA DE CALDERA

# 3. PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN DE MEJORA PARA EL SISTEMA DE CALDERA

## 3.1. TRATAMIENTO AGUA DE ALIMENTACIÓN DE CALDERA

El agua posee una variedad amplia de minerales solubles y no solubles, los cuales al no ser extraídos antes de ingresar por la alimentación de la caldera pueden producir diversos efectos adversos en su interior. Por eso la importancia de tratar el agua para prevenir los problemas de las impurezas permitiendo una operación de caldera más segura y eficiente.

La pureza del agua de alimentación se determina de acuerdo a la cantidad de impurezas y a la naturaleza de las mismas, donde se puede presenciar la dureza, hierro, sílice y grasas como las principales concentraciones.

Es esencial en un sistema de caldera poseer un tratamiento de agua para prevenir todos los efectos que puedan producir las impurezas, teniendo en cuenta que la Base Aeronaval carece del tratamiento que ayude a mantener y prolongar la vida útil de la caldera y sus elementos.

### 3.1.1. Tratamientos físicos

Filtración: El objetivo de este tratamiento es extraer las partículas grandes que se encuentran en suspensión en el agua antes que llegue a la caldera (externo). Los filtros utilizados pueden ser de mallas o de grava y arena.

Desaireación: Está basado en quitar los gases disueltos (oxígeno, anhídrido carbónico) lo cual se consigue calentando el agua de alimentación por los métodos de ducha o agitación, lo cual provee una gran área de contacto agua-aire.

Extracciones o purgas: Consiste en retirar una cantidad determinada de agua desde el fondo de la caldera o del domo, con el propósito de disminuir la mayoría del lodo, polvo, suciedad y otras impurezas indeseables que se encuentran en su interior. Estas pueden ser continuas o intermitentes.

Continua (superficie): Mantiene de forma automática el agua de caldera dentro de los límites deseados. Al eliminar las concentraciones de manera periódica se puede mantener un rango óptimo de impurezas.

Intermitente (de fondo): extrae los depósitos de impurezas que se encuentran en la parte inferior de la caldera, abriendo la válvula de purga cuando sea necesaria. La parte negativa es el desperdicio de agua caliente al eliminar el lodo y la complejidad de determinar el régimen de purga adecuado que se debe llevar a cabo.

### 3.1.2. Tratamientos químicos

Consiste en suministrar sustancias químicas al interior de la caldera la cuales reaccionan al entrar en contacto con las impurezas del agua precipitando solidos insolubles o en suspensión los cuales pueden ser eliminados posteriormente a través de la purga. Y las sustancias utilizadas se clasifican de acuerdo al propósito o parámetro que se busca mejorar.

#### 3.1.2.1. Reductoras de dureza o ablandadoras

Hidróxido de sodio o soda cáustica ($NaOH$): Este compuesto precipita todas las sales de magnesio que estén contenidas dentro de la caldera, lo que tiene como consecuencia aumentar la alcalinidad del agua. También puede ser utilizada para eliminar algunos aceites que contengan el agua o los ductos.

Carbonato de sodio o soda comercial ($Na_2CO_3$): Esta composición precipita las sales de calcio contenidas en la caldera, este uso de carbonato produce acidez y también el uso de este tratamiento tiene un bajo costo comercial.

Hidróxido de calcio o cal ($Ca(OH)_2$): Este compuesto permite que las sales de calcio y magnesio se precipiten al fondo de la caldera formando un lodo el cual puede ser retirado o extraído mediante el control de purga.

Fosfatos de sodio ($NaHPO_4$): El tratamiento con fosfatos permite que las sales de calcio se precipiten al fondo de la caldera al igual que los otros compuestos pudiendo de esa forma eliminar las sales por medio de purgas.

Intercambio de iones: Necesita la utilización de ablandadores naturales o sintéticos (Zeolitas o Permutitas). Se lleva a cabo por medio del intercambio iónico entre los iones de Calcio y Magnesio, mediante una resina catiónica fuerte.

3.1.2.2. Inhibidores de corrosión

La formación de corrosión es considerada la segunda fuente de problemas que produce el agua no tratada después de la formación de incrustaciones. Existen muchas causas de corrosión por el agua de caldera, lo que incluye también reacciones químicas resultantes de una mala dosificación de productos químicos.

Sulfito de sodio ($NaSO_3$): Este compuesto reacciona con el oxígeno contenido en el agua eliminándolo y produciendo sulfitos de sodio. Esta reacción tiende a disminuir el pH, lo cual debe ser controlado para no aumentar el grado de acidez del agua.

Hidracina ($N_2H_4$): Reacciona con el oxígeno contenido en el agua y produce Nitrógeno inerte. Esta reacción química produce compuestos que son volátiles y neutros lo que permite evitar la formación de solidos disueltos en el agua. La Hidracina es efectiva para niveles de aplicación bajos.

Aminas: Es utilizado para controlar la corrosión en tuberías de retorno de condensado (corrosión por anhídrido carbónico) evitando la formación del CO2 y la disminución del pH que aumenta la acides del agua que produce como consecuencia perdidas metálicas en tuberías.

3.1.2.3. Inhibidores de fragilidad cáustica

Nitratos y nitritos de sodio ($NaNO_3$-$NaNO_2$): Esta solución debe usarse donde el agua tiene características de fragilidad.

3.1.2.4. Inhibidores de adherencias por lodos

Agentes orgánicos: La utilización de taninos, almidones y derivados de aguas marinas los cuales evitan que se formen lodos que se adhieran a las superficies de la caldera y también minimizan el arrastre.

3.1.3. Tratamientos térmicos

Son tratamientos externos realizados al agua de alimentación el cual consiste en calentar el agua hasta su punto de ebullición, lo que provoca la precipitación de todos los bicarbonatos en forma de carbonatos insolubles que decantan y son enviados al fondo del

economizador para posteriormente ser extraídos. De esta manera se elimina la dureza temporal y los gases disueltos en el agua, pero este tratamiento no separa la dureza permanente.

### 3.1.4. Tratamientos mixtos

Se basa en el empleo y combinación de tratamientos ya que ninguno por si solo asegura la eliminación de todas las impurezas contenidas en el agua de alimentación. Utilizando por ejemplo algunos desincrustantes, inhibidores de corrosión, resinas catiónicas, sistema de filtración de agua y sistema de calentamiento eliminando de esa forma ambas durezas contenidas (dureza temporal y permanente).

### 3.1.5. Tratamientos eléctricos

Este método se basa en emplear un mecanismo de electrólisis del agua, utilizando planchas de Zinc apernadas a tubos de chapas, donde evita la incrustación de las sales en las planchas de hierro. De esta forma permite disminuir las incrustaciones en el interior de la caldera otorgando seguridad en el funcionamiento y aumentando su vida útil. En esta familia también puede ser considerado el uso de ablandadores ya que por medio del cabezal electrónico permite controlar el trabajo del intercambio iónico.

## 3.2. TRATAMIENTO CON ABLANDADOR DE AGUA

Debido a que el agua contiene diversos minerales como el Calcio y Magnesio, se origina la necesidad de realizar un tratamiento que permita disminuir o eliminar las impurezas requeridas. De acuerdo a la cantidad de Ca y Mg contenido en el agua determina si el agua pasa a denominarse dura (exceso de sales de Ca y Mg).

Los ablandadores de agua son mecanismos que funcionan como un filtro ya que retienen y extraen las sales del agua dura. El funcionamiento de estos equipos es variado debido a los diferentes métodos de extraer las sales; al igual que las múltiples capacidades y modelos que existen los cuales se adaptan a las diferentes necesidades y requerimientos de agua.

### 3.2.1. Tipos de ablandadores de agua

Ablandador de agua mecánico: Este tipo de sistemas funcionan de acuerdo al método de osmosis inversa trasladando el agua hacia una membrana semipermeable la cual proporciona altas presiones, lo que elimina las impurezas contenidas en el agua. Estos ablandadores están diseñados para operar en la purificación de agua potable.

Ablandador de agua catalítico: El funcionamiento de estos equipos reside en los efectos que producen las aleaciones de metales utilizados en los dispositivos, la turbulencia y los cambios de presión en el sistema. Actúan como catalizadores aprovechando el aumento del pH que se genera por la aleación de metales y así inducir a la precipitación del $CaCO_3$.

Ablandador de agua eléctrico: Su funcionamiento se basa en el efecto generado por un impulso eléctrico que genera un campo magnético en la tubería afectando a los cristales de calcio, estos son modificados en su estructura molecular para que se mantengan en suspensión sin adherirse a las paredes. Para que tenga un funcionamiento óptimo y adecuado los aparatos deben ser calibrados dependiendo de la velocidad, diámetro de la tubería, composición química y temperatura del agua.

Ablandador de agua químico o intercambio iónico: Estos equipos funcionan por medio de una zeolita que son minerales micro-porosos los cuales tienen la cualidad de hidratarse y deshidratarse de manera reversible. Esta sustancia es la encargada de reemplazar las sales de calcio y magnesio del agua por sodio, lo cual permite que no se adhieran las sales a las superficies o paredes impidiendo la generación de contaminación en las tuberías.

### 3.2.2. Ablandador de agua de intercambio iónico

Este equipo posee la combinación de ablandador electrónico y químico, ya que posee un cabezal de control eléctrico que monitorea la ejecución del tratamiento iónico de la resina.

Cumple la función de realizar un intercambio iónico entre los iones de Ca y Mg a través de una resina catiónica fuerte, de esta manera el agua dura que ingresa al sistema sale con una dureza inferior de acuerdo a los parámetros requeridos. El propósito es conectar a la alimentación de caldera este sistema para disminuir la dureza del agua que está siendo proporcionada por Esval, anteriormente en la Tabla N°3 se detallaron los parámetros de las impurezas contenidas que no han sido tratadas para evitar las diferentes formaciones y consecuencias tanto en el interior de la caldera como en sus elementos.

Los elementos principales de este equipo son el estanque de resina, válvula y estanque de salmuera que se detallaran a continuación.

#### 3.2.2.1. Estanque de resina

Aquí es donde se lleva a cabo el "ablandamiento" del agua por medio del intercambio iónico entre el agua que contiene las impurezas (agua dura) y la resina catiónica rica en sodio. Es así como los iones de calcio y magnesio se adhieren a los granos de la zeolita o resina intercambiándose estos iones por los de sodio que tienen una carga eléctrica menor, se produce la acumulación de la dureza hasta que la resina es saturada y se produce un ciclo de retroalimentación o de limpieza de la resina, en donde se envía agua rica en Na desde el estanque de salmuera para desplazar las impurezas contenidas por la resina hacia el dreno del estanque de resina, posteriormente se realiza un enjuague del estanque de resina con agua fresca y se realiza la recarga de agua y sodio en el estanque de salmuera para iniciar un nuevo ciclo.

#### 3.2.2.2. Válvula o panel de control

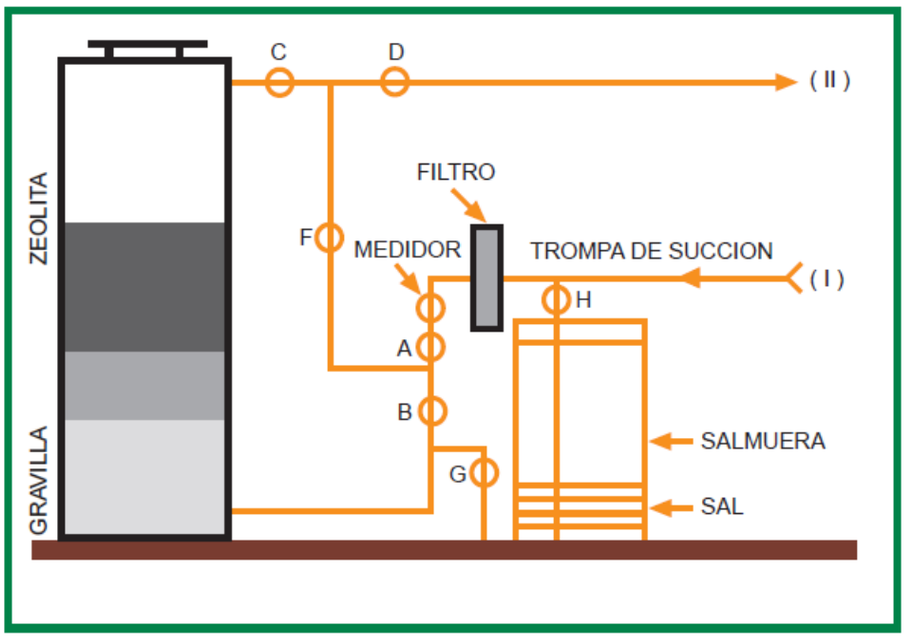
Este dispositivo es una pieza fundamental para llevar a cabo el proceso de ablandamiento del agua, ya que a través de él se puede configurar el ciclo de trabajo completo del sistema permitiendo que la regeneración de la resina se realice de forma programada de acuerdo al uso y nivel de dureza del agua.

En la totalidad de los ablandadores la regeneración se produce de manera automática por medio de un mecanismo de cronometro eléctrico encargado de regular el horario de limpieza y recarga del agua. También el control se puede llevar a cabo por computadora la cual activa la regeneración de acuerdo al consumo y la disminución de la capacidad de la resina de retener los iones de Ca y Mg. Y existe un tercer mecanismo de control el cual usa una escala de medida mecánica que mide la cantidad de agua usada para accionar la recarga, este tipo tiene la ventaja de no utilizar componentes eléctricos, y la recarga del depósito de resina se realiza solo cuando es necesario.

#### 3.2.2.3. Depósito de salmuera

En este depósito se encuentra el agua necesaria para realizar la recarga y regeneración de las partículas de la resina catiónica. Para realizar el proceso se debe agregar una cantidad determinada de sodio de acuerdo a la especificación de cada fabricante apta para realizar de manera óptima la regeneración de la resina. Es conectado

mediante una manguera al estanque intercambiador permitiendo la alimentación de acuerdo al régimen establecido en el controlador. Una vez utilizada la salmuera se debe realizar la realimentación del estanque debido a que la salmuera utilizada en la regeneración es expulsada por el intercambiador iónico a través de la purga del regenerante.




Fuente: Artículo ACHS "Aguas de alimentación de Calderas", Pág.14

Figura 3-1. Sistema de ablandamiento de agua para calderas

### 3.2.3. Propuesta de implementación de ablandador de agua

La incorporación de un equipo ablandador de agua es de gran importancia para el departamento CATAN, permitiendo así disminuir la dureza del agua de alimentación de caldera que era una de las preocupaciones debido a los años funcionando sin este sistema, teniendo en cuenta la existencia de incrustaciones en el interior de la caldera y tuberías.
Para llevar a cabo esta mejora se utilizará un equipo ablandador de agua marca COTACO modelo WQA-50-A el cual está construido en fibra de vidrio con un funcionamiento totalmente automático con una válvula reloj-timer superior para permitir el control de las operaciones de ablandamiento, regeneración, retrolavado y lavado del equipo.

Posee un sistema interno de distribución con toberas definidas técnica y matemáticamente, para lograr una buena distribución de agua, máxima eficiencia de la

resina y óptimos retrolavados del equipo, evitando canalizaciones perjudiciales en el interior.

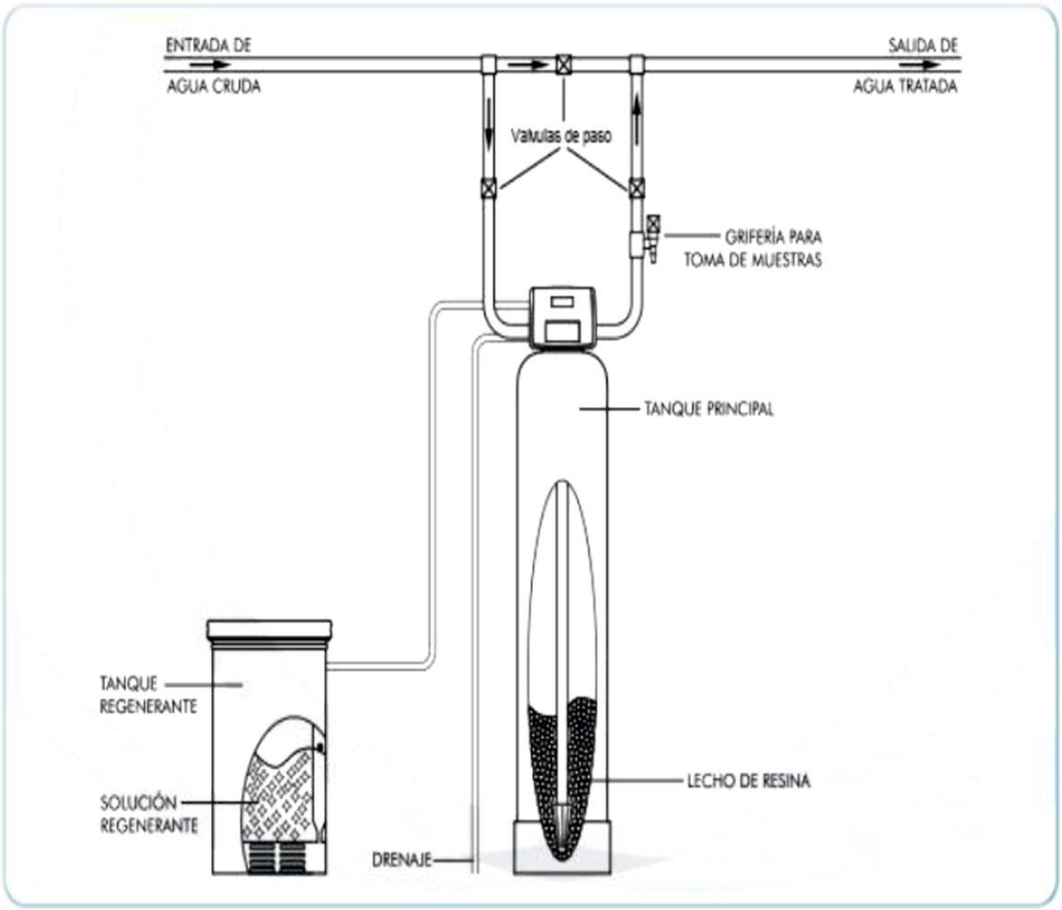
Este equipo posee características importantes y relevantes que son su fácil operación y mantención, son 1/3 más livianos que los equipos de acero, lo que hace más fácil su manejo además de su durabilidad, ya que al tener su cuerpo fabricado con fibra de vidrio no tiene problemas de corrosión. Están construidos además en su interior con una capa de polietileno de alta densidad, que cubre todo el interior impidiendo el contacto de la fibra de vidrio con el agua, en la tabla 3.1 se detallan sus especificaciones.

Otra característica importante es la alta resistencia a la presión hasta 150 PSIg, debido a que son construidos en máquinas especiales, con rollos de fibra de vidrio tejidos en forma helicoidal y circunferencial por toda la estructura del equipo.

Tabla 3-1. Especificaciones básicas del ablandador marca COTACO

| CARACTERÍSTICAS DEL ABLANDADOR | |
|---|---|
| **Cantidad de resina** | 50 Lts |
| **Capacidad de funcionamiento** | Rendimiento aprox. 8 $m^3$ agua blanda |
| **Flujo máximo continuo** | 0.6 – 2.0 m3/h |
| **Conexiones** | 1” diámetro |
| **Presión de servicio** | 30 PSIg |
| **Presión máxima de prueba** | 150 PSIg |
| **Temperatura máxima de operación** | 52°C |
| **Cantidad de sal por regeneración** | 12,5 Kg |
| **Dimensiones** | 12” x 48” |
| **Estanque de salmuera** | Plástico interconectado con válvula de salmuera |
| **Válvula de comando** | Automático con reloj-timer |
| **Válvula de salmuera** | Sistema flotador y control de sal |

Fuente: Ficha técnica ablandador




Fuente: Empresa de tratamiento de agua COTACO

Figura 3-2. Esquema gráfico de funcionamiento del intercambiador iónico

## 3.3. SISTEMA DE IMPULSIÓN A.C.C. Y A.C.S.

La sala de caldera de la Base Aeronaval cuenta con una bomba centrifuga vertical la cual fue descrita en el Capítulo N°2, cuya función es producir la recirculación del vapor generado por la caldera hacia el estanque de almacenamiento de agua caliente.

El objetivo de mejorar este sistema de recirculación está orientado para evitar una parada no programada durante el periodo de funcionamiento normal diario de la caldera. Se busca realizar la incorporación de otras bomba a la ya existente que permita cumplir con el propósito que está establecido resguardando su operación con otra conectada en paralelo al sistema permaneciendo en reposo para ser incorporada en caso de producirse una falla.

### 3.3.1. Definición, características y clasificación de las bombas hidráulicas

Podemos definir a las bombas como un dispositivo empleado para elevar, transferir o comprimir fluidos y permitiendo que estos se mantengan en movimiento logrando de esa forma aumentar la energía cinética del fluido. La energía mecánica necesaria para generar el movimiento del fluido puede ser originada a través del vapor, gas, combustible o electricidad. Estas se clasifican en dos grandes grupos que son turbo-máquinas (dinámicas) y de desplazamiento positivo.

#### 3.3.1.1. Desplazamiento positivo

Son aquellas donde una fuerza o par de fuerza es aplicada a un conjunto de cámaras donde trabaja el fluido, estas cámaras se van llenando y vaciando de forma continua. Este proceso se denomina RECIPROCANTE ya que al igual que en los automóviles, una energía es transmitida por medio de un elemento móvil (pistón) dentro de un recipiente cerrado (cilindro). Y este grupo de bombas se clasifican en:

- Reciprocantes.
  - De pistón o embolo (de vapor o de potencia).
  - De diafragma.
- Rotatorias.
  - De engranes.
  - De lóbulos.
  - De tornillo.
  - Peristálticos.

#### 3.3.1.2. Centrífugas (dinámicas)

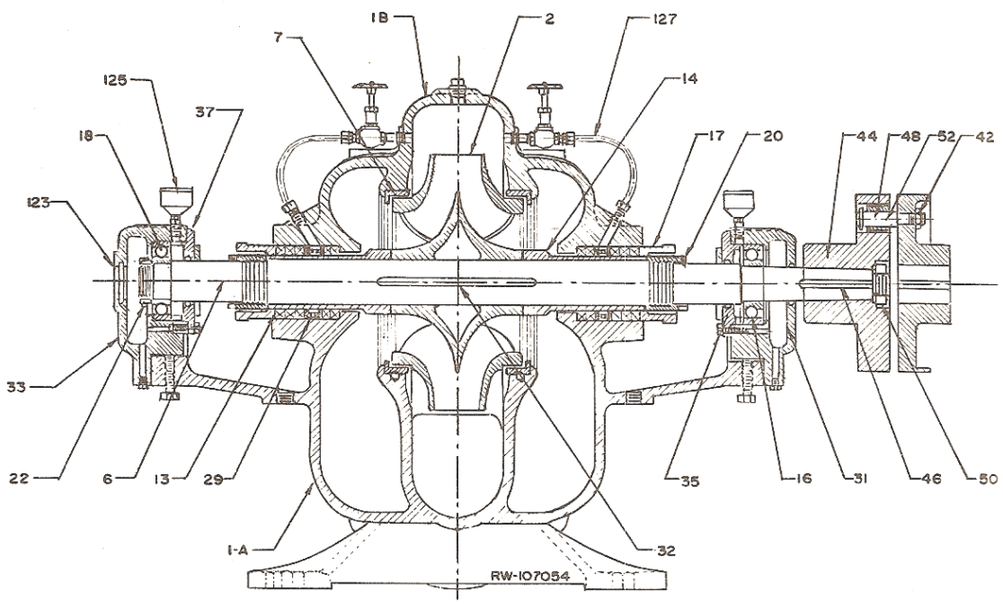
Son aquellas en donde se transfiere la energía cinética al fluido por medio del rotor (parte móvil o giratoria) produciendo un exceso de energía que dentro del difusor o cuerpo de la bomba se transforma en presión generando de esa forma el desplazamiento del fluido. Este grupo corresponde a las bombas centrifugas la cuales se clasifican en:

- De voluta.
- Difusor.
- Flujo mixto.
- Flujo axial.

- Turbina o regenerativa.

### 3.3.2. Bombas centrifugas

Las bombas centrifugas son las de mayor uso en el ámbito industrial para desplazar líquidos a través de un sistema de tuberías, son accionadas comúnmente de manera eléctrica, por combustión interna o vapor. Estas bombas constan básicamente de una entrada o tubería de aspiración, un rodete móvil que entrega la energía cinética al fluido, un difusor que reduce la velocidad del fluido (bombas de alta potencia) y una voluta que genera el movimiento del fluido.




Fuente: Elaboración propia

Figura 3-3. Partes de una bomba centrifuga

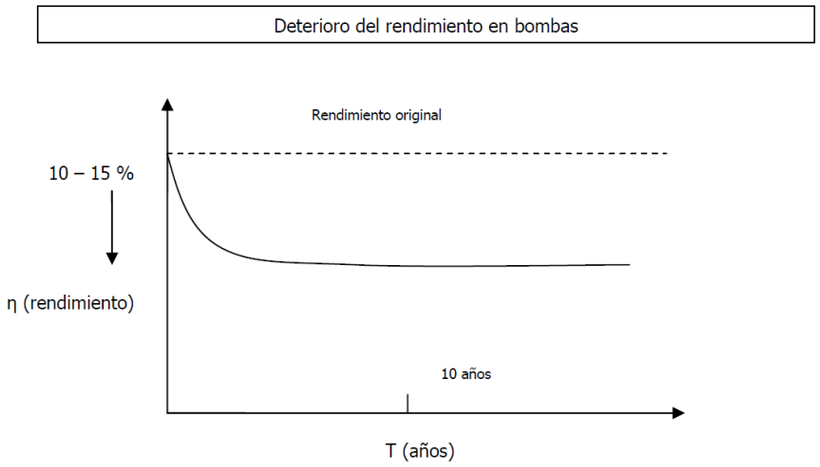
| Nomenclatura recomendada para piezas de las bombas Centrifugas. | | | |
|---|---|---|---|
| **Ref. No.** | **Nombre de la pieza** | **Ref. No.** | **Nombre de la pieza** |
| 1 | Carcasa | 31 | Cubierta de cojinete (interno) |
| 1A | Carcasa (mitad inferior) | 32 | Cuña del impulsor |
| 1B | Carcasa (mitad superior) | 33 | Cubierta de cojinete (externo) |
| 2 | Impulsor | 35 | Tapa de cojinete (interno) |
| 6 | Árbol de la bomba | 37 | Tapa de cojinete (externo) |
| 7 | Anillo de la carcasa | 42 | Acoplamiento (mitad en el impulsor) |
| 13 | Empaquetadura | 44 | Acoplamiento (mitad en la bomba) |
| 14 | Manguito del árbol | 46 | Cuña del acoplamiento |
| 16 | Cojinete (interno) | 48 | Buje del acoplamiento |
| 17 | Collarín del estopero | 50 | Contratuerca del acoplamiento |
| 18 | Cojinete (externo) | 52 | Pasador del acoplamiento |
| 20 | Tuerca de manguito de árbol. | 123 | Tapa de extremo de cojinete |
| 22 | Contratuerca del cojinete | 125 | Aceitera o grasera |
| 29 | Anillo de cierre hidráulico | 127 | Tubo de sello |

Las bombas centrifugas cuentas con características que le otorgan algunas ventajas que hacen ser apropiadas para el uso de calderas, algunas de esas ventajas son que producen un caudal constante y presión uniforme, poseen una construcción sencilla que facilita el mantenimiento, diferentes tamaños, flexibilidad de regulación y bajo nivel de mantenimiento.

### 3.3.3. Renovación de bomba recirculadora A.C.C.

Es importante mantener durante un régimen normal de operación del sistema de caldera la recirculación del vapor generado hacia el estanque donde se almacena el agua que es calentada a través de un serpentín. Al generase una falla en el equipo impulsador, éste inmediatamente detiene la transferencia de energía y disminuye la capacidad de agua caliente en el estanque. Por lo tanto, es importante que en todo sistema donde opere una bomba con una función primordial para un proceso, debe tener un equipo de respaldo con el fin de mantener el proceso en operación constante, para ello se puede incorporar otra bomba para generar un trabajo de forma paralela y así asegurar el funcionamiento continuo del sistema. Producto del tiempo que lleva en funcionamiento la bomba existe una incertidumbre en el departamento C.A.T.A.N. enfocada en la ocurrencia de fallas que conlleven un valor alto de reparación, teniendo en cuenta lo anterior el incorporar dos bombas centrifugas al sistema aumentaría la disponibilidad del sistema.

La elección que realizó anteriormente el departamento C.A.T.A.N. al incorporar la bomba centrifuga vertical modelo CNL30 marca LOEWE PUMPENFABRICK al sistema de caldera, logró realizar el trabajo y cumplir con la necesidad de enviar el fluido caliente hacia el estanque de agua fría destinada para realizar la transferencia de energía y calentar el agua. Pero a lo largo del ciclo de vida de trabajo el rendimiento de cualquier equipo de bombeo disminuye principalmente por los desgastes mecánicos, oxidación o incrustaciones. De acuerdo a la Unión Europea el rendimiento de un equipo de impulsión disminuye aproximadamente 15% de su valor inicial por año.




Fuente: Artículo técnico "Deterioro del rendimiento en bombas y su prevención", INEXA

Figura 3-4. Diagrama de deterioro del rendimiento en bombas

En el grafico anterior se puede observar que se produce una disminución importante en los primeros años de su funcionamiento y se ve incrementado siempre al no realizarse el mantenimiento preventivo para de esa forma aumentar el tiempo de vida útil evitando una falla mayor que obligue a detener el funcionamiento normal de la sala de caldera y de esa forma mantener el rendimiento de la bomba. Todo departamento que realice el mantenimiento a equipos de impulsión de agua deben tener en conocimiento las causas que pueden afectar el deterioro de las bombas y que afectan al rendimiento de estas.

3.3.3.1. Causas que afectan al deterioro y pérdidas de rendimiento en bombas

- Selección errónea de la bomba: No se realiza una buena elección de la bomba la cual opere en su punto óptimo de rendimiento, material de la bomba no apto para el fluido que transporta.

- Deficiencias en el montaje de la bomba: Al realizar una instalación inadecuada de la bomba, sin preparar una base que mantenga una buena alineación del eje.

- Colector de aspiración mal dimensionado: Al no seleccionar un colector que opere de manera eficiente en la aspiración del fluido, este puede provocar vórtices.

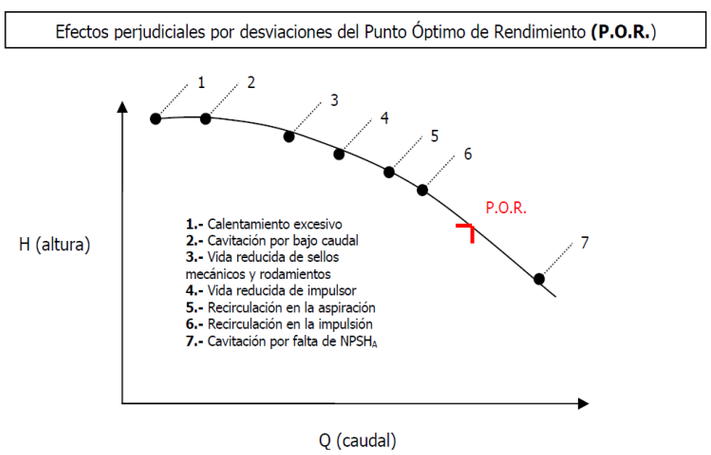
- Purga de aire deficiente: En el funcionamiento de la bomba al transportar un fluido se debe considerar que al existir aire puede provocar graves daños tanto al cuerpo de la bomba como a los alabes o paletas del rotor.

- Funcionamiento sin fluido: Esto puede traer consigo daños mayores como un sobrecalentamiento al no contener fluido en su interior y también roturas de sus partes móviles.

- Funcionamiento fuera de su punto óptimo de rendimiento: Al estar fuera del P.O.R puede provocar fenómenos de recirculación interna provocando desequilibrio en los empujes que soporta, incrementando la velocidad de deterioración de los sellos mecánicos, anillos de desgaste y rodamientos que son provocados por el Desalineamiento de los ejes.

- Grasa contaminada: Al estar contaminada la grasa de los rodamientos provoca un desgaste acelerado de los rodamientos y vibraciones que pueden afectar a los soportes y accesorios conectados a la bomba.

Para entender de mejor manera lo anterior en la figura 3.5 se ilustran los efectos que pueden afectar a las bombas al estar desviados de su punto óptimo de rendimiento (POR).




Fuente: Artículo técnico "Deterioro del rendimiento en bombas y su prevención", INEXA

Figura 3-5. Efectos perjudiciales por P.O.R. desviado

### 3.3.4. Datos importantes para la selección de bombas

El objetivo de las bombas es impulsar fluidos a través de sistema de tuberías y vencer las pérdidas que son generadas en su desplazamiento por las características de las diversas tuberías existentes. Estas deben mover el flujo volumétrico que se desea al mismo tiempo que se desarrolla la carga dinámica total $h_{A,}$ que es creada

por las diferencias de las cargas de presión, los cambios de elevación y velocidades.

Es importante determinar los parámetros que son involucrados a la hora de realizar la selección de una bomba, a continuación, se enumeran los factores a considerar para seleccionar un equipo de acuerdo a una aplicación específica:

1. Naturaleza del líquido a bombear.
2. Capacidad requerida (flujo volumétrico).
3. Condiciones del lado de succión (entrada) de la bomba.
4. Condiciones del lado de la descarga (salida) de la bomba.
5. Carga total sobre la bomba.
6. Tipo de sistema donde la bomba impulsa el fluido.
7. Tipo de fuente de potencia (motor eléctrico, diésel, turbina de vapor y otros).
8. Limitaciones de espacio, peso y posición.
9. Condiciones ambientales.
10. Costo de adquisición e instalación de la bomba.
11. Costo de operación de la bomba.
12. Códigos y estándares gubernamentales.

Conocer la naturaleza del fluido que se caracteriza por su temperatura, condiciones de bombeo, gravedad específica, viscosidad, densidad y tendencia a corroer o erosionar las partes internas de una bomba. Al momento de seleccionar la bomba se debe especificar lo siguiente:

1. Tipo de bomba y su fabricante.
2. Tamaño de la bomba.
3. Tamaño de la conexión de succión y su tipo (pin o inglesa).
4. Tamaño y tipo de la conexión de descarga.
5. Velocidad de operación.
6. Especificaciones para el impulsor (potencia requerida, voltaje, velocidad, frecuencia entre otros).
7. Tipo de acoplamientos, fabricante y número de modelo.
8. Detalles de montaje.
9. Materiales y accesorios especiales que se requiere.
10. Diseño y materiales del sello del eje.
11. Stock de repuestos.
12. Representación de la marca.

### 3.3.5. Determinación del $NPSH_D$

La $NPSH_D$ (es la representación en siglas del concepto inglés "Net Positive Suction Head"), que en es español significa la "Carga Succión Neta Positiva" y representa la energía que se encuentra para llenar la parte de aspiración de la bomba y de esa forma vencer las pérdidas por rozamientos y aumentar la velocidad del fluido hasta la sección donde se produce el incremento de la energía. El propósito de aumentar la presión en el fluido en la succión de la bomba es para evitar la formación de burbujas de vapor dentro del fluido en movimiento, condición que es llamada *cavitación*.

Es importante tener en conocimiento las pérdidas producidas por la presión de vapor generada en la bomba para calcular la carga de presión que se genera, en las figuras 3.7 y 3.8 se puede identificar los valores de acuerdo a la temperatura de los fluidos.

#### 3.3.5.1. Cálculo del $NPSH_D$

Para realizar el cálculo se debe considerar que el valor depende de las pérdidas de energía en las tuberías de la línea de succión, la presión del vapor del fluido bombeado, la presión que es aplicado al fluido y a la ubicación del almacenamiento del fluido, y esta se expresa como:

$$\mathrm{NPSH_D} = \frac{\mathrm{P_1}}{\rho \mathrm{g}} - \frac{\mathrm{V_2^2}}{2\mathrm{g}} \pm \Delta \mathrm{h} - \mathrm{H_F} - \frac{P_V}{\rho g}$$

Donde:

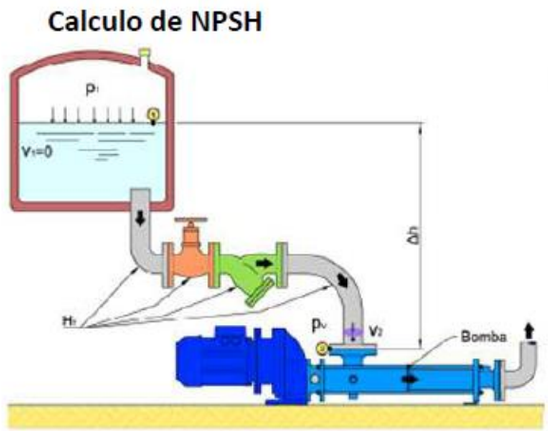
$\frac{\mathrm{P_1}}{\rho \mathrm{g}} =$ Carga de presión estática sobre el fluido en el almacenamiento en (m).

$\frac{V_2^2}{2\mathrm{g}} =$ Carga de la velocidad del fluido expresada en (m).

$\Delta \mathrm{h} =$ Carga producida por la diferencia de elevación desde el nivel del fluido en el depósito y la línea succión de la bomba expresada en (m).

$H_F =$ Pérdidas de carga en la tubería de succión expresada en (m).

$\frac{\mathrm{P_V}}{\rho \mathrm{g}} =$ Carga de presión de vapor de líquido a la temperatura de bombeo obtenidas de las figuras 3.7 y 3.8 en (m).




Fuente: Apuntes de Mecánica de Fluidos, Prof. Félix Pizarro

Figura 3-6. Representación de cargas para el cálculo del $NPSH_D$

TABLA 13.2. Presión de vapor y carga de presión de vapor del agua.

| Temperatura °C | Presión de vapor (kPa abs) | Peso específico ($kN/m^3$) | Carga de presión de vapor (m) |
|---|---|---|---|
| 0 | 0.6105 | 9.806 | 0.06226 |
| 5 | 0.8722 | 9.807 | 0.08894 |
| 10 | 1.228 | 9.804 | 0.1253 |
| 20 | 2.338 | 9.789 | 0.2388 |
| 30 | 4.243 | 9.765 | 0.4345 |
| 40 | 7.376 | 9.731 | 0.7580 |
| 50 | 12.33 | 9.690 | 1.272 |
| 60 | 19.92 | 9.642 | 2.066 |
| 70 | 31.16 | 9.589 | 3.250 |
| 80 | 47.34 | 9.530 | 4.967 |
| 90 | 70.10 | 9.467 | 7.405 |
| 100 | 101.3 | 9.399 | 10.78 |

Fuente: Mecánica de fluidos, Robert Mott, sexta edición

Figura 3-7. Gráfico de carga de presión de vapor m/°C

3.3.5.2. Determinación del $NPSH_D$ para bomba A.C.C.

Se realizó la determinación de la carga de aspiración neta positiva de acuerdo a los siguiente valores que fueron recopilados en terreno, a través de publicaciones y cálculos, $\rho_{vapor}$ = 0,576 $Kg/m^3$, la viscosidad = 0,0000125 Kg/ms , D = 0,0508 m, L tub = 7,2 m, Q = 40 $m^3/h$ y 30 $psi_g$ en la caldera.

$$\frac{P1}{\rho g} = \frac{308{,}17\ (KN/m^2)}{9{,}81 \times 0{,}596} = 52\ (m).$$

$$\frac{V2^2}{2g} = \frac{5{,}48^2}{2 \times 9{,}81} = 1{,}53\ (m).$$

$$\Delta h = -2{,}7\ (m).$$

$$\frac{P_V}{Pg} = \frac{101{,}3}{9{,}399} = 10{,}78\ (m); \text{según figura 3.7.}$$

Para el cálculo de las perdidas en la línea de succión se consideró Q= 40 $m^3/h$; $\mu_{vapor}$ = 0,0000125 Kg/ms; D= 0,0508 m; $\rho_{vapor}$= 0,576 $Kg/m^3$; V= 1,82 m/s y $\varepsilon_{acero}$= 0,000046 m.

$$Re = \frac{0{,}596 \times 5{,}48 \times 0{,}0508}{0{,}0000125} = 13.273{,}35 \qquad \varepsilon/D = \frac{0{,}000046}{0{,}0508} = 0{,}0009$$

$$f = 0{,}031; \text{según diagrama de Moody.}$$

$$\text{Pérdidas en tuberías} \rightarrow H_L = 0{,}031 \times \frac{8{,}6}{0{,}0508} \times \frac{5{,}48^2}{2 \times 9{,}81} = 8{,}03\ (m).$$

$$\text{Pérdidas en codo } 90° \rightarrow H_L = 0{,}93 \times \frac{5{,}48^2}{2 \times 9{,}81} \times 5 = 7{,}11\ (m); K = 0{,}031 \times 30 = 0{,}93$$

$$\text{Pérdidas en T de tramo} \rightarrow H_L = 0{,}62 \times \frac{5{,}48^2}{2 \times 9{,}81} = 0{,}94\ (m); K = 0{,}031 \times 20 = 0{,}62$$

La pérdida total generada en la línea de succión es $H_L$ = 16,08 (m), el cual es utilizado a continuación con los valores anteriormente calculado para conocer las cargas producidas y determinar el valor del $NPSH_D$:

$$NPSH_D = \frac{P_1}{\rho g} - \frac{V_2^2}{2g} \pm \Delta h - H_F - \frac{P_V}{\rho g}$$

$$NPSH_D = 52 - 1{,}53 - 2{,}7 - 16{,}08 - 10{,}78 = 20{,}91\ (m).$$

3.3.5.3. Determinación del $NPSH_D$ para bomba A.C.S.

Para determinar el valor del $NPSH_D$ se utilizaron los siguientes datos obtenidos como referencia las velocidades establecidas en el Art. 52 del Decreto MOP N° 752. $\rho_{agua}$ = 990,22 (Kg/m$^3$), V = 1,95 (m/s) y g = 9,81 (m/s$^2$).

$$\frac{P1}{\rho g} = \frac{308{,}17\ (\mathrm{KN/m^2})}{9{,}71\ (KN/m^3} = 31{,}73\ (\mathrm{m}).$$

$$\frac{V2^2}{2g} = \frac{1{,}95^2}{19{,}62} = 0{,}19\ (\mathrm{m}).$$

$$\Delta h = 3{,}5\ (\mathrm{m}).$$

$$\frac{P_V}{Pg} = 1{,}15\ (\mathrm{m});\ \text{según figura 3.8.}$$

Para el cálculo de la perdidas en la línea de succión se consideró Q= 30 m$^3$/h; $\mu_{agua(45°c)}$= 0,000596 Kg/ms; D= 0,0762 m; $\rho_{agua(45°c)}$= 990,22 Kg/m$^3$; V= 1,82 m/s y $\varepsilon_{acero}$= 0,000046 m.

$$\mathrm{Re} = \frac{990{,}22 \times 1{,}82 \times 0{,}0762}{0{,}000596} = 230.415 \qquad \varepsilon/D = \frac{0{,}000046}{0{,}0762} = 0{,}00060$$

$$f = 0{,}032;\ \text{según diagrama de Moody.}$$

$$\text{Pérdidas en tuberías} \rightarrow H_L = 0{,}032 \times \frac{26{,}6}{0{,}0254} \times \frac{2{,}05^2}{2 \times 9{,}81} = 7{,}17\ (\mathrm{m}).$$

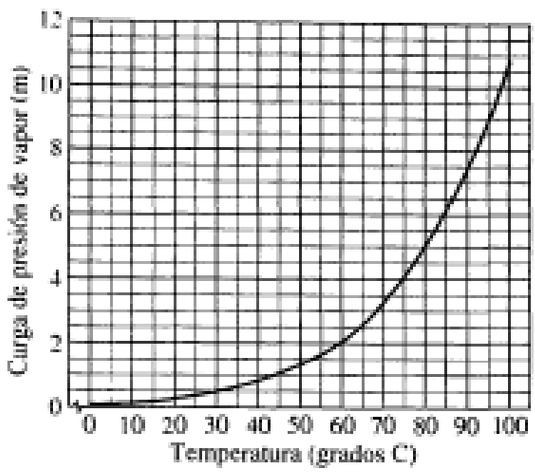
$$\text{Pérdidas en codo } 90° \rightarrow H_L = 0{,}96 \times \frac{2{,}05^2}{2 \times 9{,}81} \times 16 = 3{,}29\ (\mathrm{m});\ K = 0{,}032 \times 30 = 0{,}96$$

$$\text{Pérdidas en T de tramo} \rightarrow H_L = 0{,}64 \times \frac{2{,}05^2}{2 \times 9{,}81} \times 8 = 1{,}09\ (\mathrm{m});\ K = 0{,}032 \times 20 = 0{,}64$$

La pérdida total generada en la línea de succión es $H_L$ = 11,55 (m), el cual es utilizado a continuación con los valores anteriormente calculado para conocer las cargas producidas y determinar el valor del $NPSH_D$:

$$\mathrm{NPSH_D} = \frac{\mathrm{P_1}}{\rho g} - \frac{\mathrm{V_2^2}}{2g} \pm \Delta h - \mathrm{H_F} - \frac{P_V}{\rho g}$$

$$\mathrm{NPSH_D} = 31{,}73 - 0{,}19 + 3{,}5 - 11{,}55 - 1{,}15 = 22{,}34 \text{ (m)}.$$




Fuente: Mecánica de fluidos, Robert Mott, sexta edición

Figura 3-8. Gráfico de carga de presión de vapor m/°C

### 3.3.6. Teoría de cálculos para pérdidas de cargas en tuberías

Una vez realizado el registro de los caudales necesarios se procedió a calcular el caudal total que se utilizara para determinar las pérdidas de carga del sistema por medio de la siguiente ecuación:

$Q_T = Q_D + Q_L$

Donde:

$Q_T$: es el caudal total requerido en ($m^3$/h).
$Q_D$: es el caudal total de las duchas en ($m^3$/h).
$Q_L$: es el caudal total de los lavamanos en ($m^3$/h).

Después de determinado el caudal total del sistema de acuerdo a la norma, se consideró la utilización del 50% del total del caudal del agua caliente para realizar los cálculos de pérdidas en el sistema de tuberías ya que se consideró de igual manera la mezcla con el caudal de agua fría a la salida de los artefactos, como se demuestra a continuación en la ecuación:

$Q_T$ – 50% = $Q_U$

Donde:

$Q_U$: es el caudal real a utilizar.

La red de tuberías no se encuentra en serie lo que llevo a realizar el cálculo con tuberías en paralelo dividiendo los caudales a lo largo de su recorrido hasta llegar a los artefactos sanitarios, en la tabla 3.3 se dan a conocer los datos de caudales, largo de tuberías y la cantidad de accesorios que posee el circuito. Debido a lo anterior los resultados se obtuvieron a través de tramos de tuberías de acuerdo a sus caudales permitiendo de esa forma determinar de mejor manera las pérdidas de carga.

| SISTEMA DE TUBERÍAS EN TRAMOS | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Tramo 1 | Tramo 2 | Tramo 3 | Tramo 4 | Tramo 5 | Tramo 6 | Tramo 7 |
| **Q ($m^3$/h)** | 30 | 30 | 15 | 15 | 7,5 | 3,75 | 1,875 |
| **V (m/s)** | 4,1 | 1,02 | 0,51 | 2,05 | 1,02 | 2,05 | 1,02 |
| **Largo tubería (m)** | 0,5 | 51,3 | 51,8 | 1,5 | 10,8 | 26,6 | 49 |
| **Diámetro tubería (m)** | 0,0508 | 0,1016 | 0,1016 | 0,0508 | 0,0508 | 0,0254 | 0,0254 |

Fuente: Medición en terreno del ramal de tuberías

Tabla 3-2. Datos del sistema de tuberías por tramos

Una vez obtenido los caudales y velocidades respectivas a cada tramo se procedieron al cálculo por tramos como se describe a continuación:

El primer paso realizado fue determinar el régimen del fluido a través del número de Reynolds, con el fin de obtener el factor de fricción en conjunto con la rugosidad relativa del material de la tubería:

$$Re = \frac{\rho V D}{\mu}$$

Donde:

$\rho$: Densidad del fluido en (Kg/m$^3$).
V: Velocidad del fluido en (m/s).
D: Diámetro de la tubería en (m).
$\mu$: Viscosidad dinámica del fluido en (Kg/ms).

Después de obtenido el número de Reynolds se debe identificar si el flujo del fluido es laminar (<2.000) o turbulento (>4000), para proceder a calcular el factor de fricción de acuerdo al régimen:

$$\text{Flujo laminar} \rightarrow \mathrm{f} = \frac{64}{\mathrm{Re}}$$

Si se obtiene un flujo turbulento se procede a determinar la rugosidad relativa $\varepsilon / D$, la cual se utilizará en conjunto con los números de Reynolds para determinar el factor de fricción utilizando como herramienta el diagrama de Moody ubicado en el Anexo 1:

Rugosidad relativa = $\varepsilon / D$
$\varepsilon$: Rugosidad de tubería de acero comercial en m.
D: Diámetro de la tubería.

Después de obtenido el factor de fricción a través del diagrama de Moody se procede a calcular las pérdidas de fricción $H_L$ por medio de la ecuación de Darcy como se indica a continuación:

$$H_L = \frac{f L V^2}{D 2g} \ (m)$$

Donde:

f: factor de fricción.
L: longitud de la tubería en (m).
D: Diámetro de la tubería en (m).

V: Velocidad del fluido en (m/s).

g: Aceleración de gravedad en ($m/s^2$).

Una vez obtenido los valores de $H_L$ en tuberías, se debe determinar las pérdidas de carga producidas por los accesorios de tuberías (codos, tees, válvulas, etc.), para eso se calculó el coeficiente de resistencia K de acuerdo con el factor de fricción f y la longitud equivalente en diámetro de tubería $L_e/D$ (véase en la tabla 3.4), para luego ser usado en la ecuación de pérdidas de accesorios como se detalla a continuación:

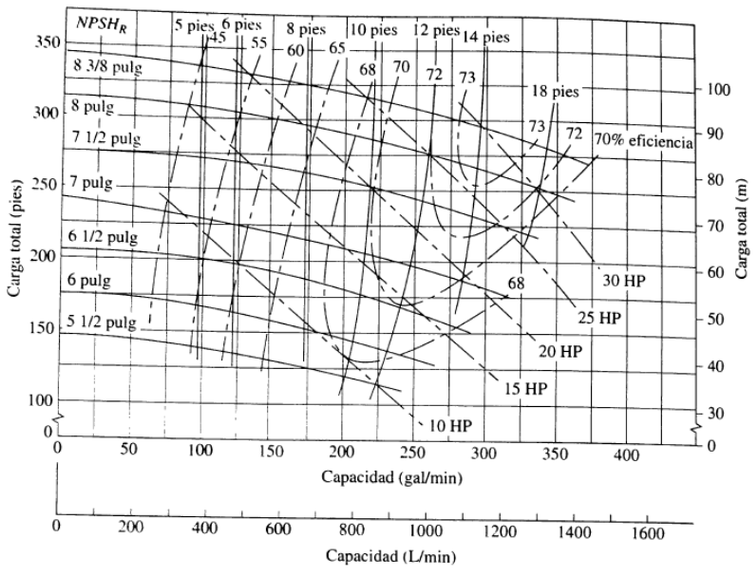
$$K = f_{tubo} \times L_e/D \qquad H_L = K \times \frac{V^2}{2g}\ (m)$$

| LONGITUDES EQUIVALENTES EN DIAMETROS DE TUBERÍAS DE ACCESORIOS | | |
|---|---|---|
| **ACCESORIOS** | | $L_e/D$ |
| **Válvula de globo abierta** | | 340 |
| **Válvula de ángulo abierta** | | 150 |
| **Válvula de compuerta** | Abierta | 8 |
| | 75% abierta | 35 |
| | 50% abierta | 160 |
| | 25% abierta | 900 |
| **Válvula de bola abierta** | | 150 |
| **Válvula de mariposa abierta** | | 45 |
| **Codo de 90°** | | 30 |
| **Codo de 90° (radio grande)** | | 20 |
| **Codo de 90° de calle** | | 50 |
| **Codo de 45°** | | 16 |
| **Codo de 45° de calle** | | 25 |
| **T, flujo en el tramo** | | 20 |
| **T, flujo en rama** | | 60 |

Fuente: Apuntes de Mecánica de Fluidos, Prof. Félix Pizarro.

Tabla 3-3. Longitudes equivalentes de accesorios de tuberías

Después de obtenido los valores de las pérdidas en la línea de descarga, el total es utilizado en conjunto con el valor del caudal utilizado para calculo con el objetivo de identificar y elegir la bomba adecuada utilizando como herramienta los gráficos de datos del fabricante de bombas, para determinar el modelo, rendimiento y potencia de la bomba como lo demuestra la figura 3-9.




Fuente: Mecánica de fluidos, Robert Mott, sexta edición

Figura 3-9. Gráfico de rendimiento de bomba

3.3.6.1. Cálculo de ayuda para selección de bombas agua caliente sanitaria (A.C.S.)

Como se ha descrito en los capítulos anteriores, las dependencias de la Base Aeronaval no cuentan con un sistema de recirculación de A.C.S. operativo que permita disponer de manera oportuna del caudal necesario para satisfacer los requerimientos de los edificios que utilizan y necesitan de este servicio. Debido al aumento de la población de la Base y a la remodelación e incorporación de más equipos sanitarios se realizaron nuevos cálculos para seleccionar el par de bombas adecuadas que proporcionen el caudal necesario y que genere la menor cantidad de perdida en el sistema.

La determinación del caudal necesario que debe salir por cada aparato sanitario (duchas y lavamanos) se realizó considerando los valores otorgados por la *NORMA NCh 2485.Of2000 de instalaciones domiciliarias de agua potable – Diseño, cálculo y requisitos de redes interiores mencionados en el Anexo A de la norma*, la cual puede ser utilizada para uso doméstico, industrial o comercial. Para usar estos datos, lo primero que se llevó a cabo fue el registro de todos los artefactos que se necesitan para determinar el caudal total necesario para el sistema. En la tabla 3.2 se dan a conocer el total de elementos que dispone cada edificio para su uso diario.

| ARTEFACTOS SANITARIOS | EDIFICIO 1 | | EDIFICIO 2 | | TOTAL ARTEFACTOS | CAUDAL MÍNIMO(l/min) | CAUDAL TOTAL(l/min) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1° PISO | 2° PISO | 1° PISO | 2° PISO | | | |
| **Duchas** | 12 | 10 | 12 | 12 | 46 | 10 | 460 |
| **Lavamanos** | 6 | 13 | 16 | 16 | 61 | 8 | 488 |

Fuente: Norma chilena Nch2485.Of2000, Pag.14 Anexo "A"

Tabla 3-4. Caudales mínimos para artefactos sanitarios

3.3.6.2. Desarrollo de los cálculos de pérdidas de carga en línea de descarga

Como anteriormente se describió tuvo que desarrollarse los cálculos de acuerdo a tramos debido a la división de los caudales por el diseño del sistema de tuberías, a continuación, se describen los cálculos realizados de acuerdo a las características del fluido, de las tuberías y de los accesorios.

Tramo 1:

Para el cálculo de las pérdidas en este tramo se consideró Q= 30 $m^3/h$; $\mu_{agua(45°c)}$= 0,000596 Kg/ms; $\rho_{agua(45°c)}$= 990,22 $Kg/m^3$; V= 4,11 m/s y $\varepsilon_{acero}$= 0,000046 m.

$$\mathrm{Re} = \frac{990{,}22 \times 4{,}11 \times 0{,}0508}{0{,}000596} = 346.890 \qquad \varepsilon/D = \frac{0{,}000046}{0{,}0508} = 0{,}0009055$$

$\mathrm{f} = 0{,}025$; según diagrama de Moody, (Véase Anexo 7).

$$\text{Pérdidas en tuberías} \rightarrow \mathrm{H_L} = 0{,}025 \times \frac{0{,}5}{0{,}0508} \times \frac{4{,}11^2}{2 \times 9{,}81} = 0{,}212\ (\mathrm{m}).$$

$$\text{Pérdidas en codo } 90° \rightarrow \mathrm{H_L} = 0{,}75 \times \frac{4{,}11^2}{2 \times 9{,}81} = 0{,}64\ (\mathrm{m});\ \mathrm{K} = 0{,}025 \times 30 = 0{,}75$$

$$\text{Pérdidas en válvula} \rightarrow \mathrm{H_L} = 0{,}2 \times \frac{4{,}11^2}{2 \times 9{,}81} = 0{,}17\ (\mathrm{m});\ \mathrm{K} = 0{,}025 \times 8 = 0{,}2$$

de compuerta abierta

Ampliación 2" a 4" → $H_L = 1{,}52\ (m)$, ($véase\ Anexo$ 8).

<u>Tramo 2:</u>

Para el cálculo de las pérdidas en este tramo se consideró Q= 30 $m^3/h$; $\mu_{agua(45°c)}$= 0,000596 Kg/ms; $\rho_{agua(45°c)}$= 990,22 $Kg/m^3$; V= 1,02 m/s y $\varepsilon_{acero}$= 0,000046 m.

$$\mathrm{Re} = \frac{990{,}22 \times 1{,}02 \times 0{,}1016}{0{,}000596} = 172.177 \qquad \varepsilon/D = \frac{0{,}000046}{0{,}1016} = 0{,}000452$$

$\mathrm{f} = 0{,}031$; según diagrama de Moody, (Véase Anexo 7).

$$\text{Pérdidas en tuberías} \rightarrow \mathrm{H_L} = 0{,}031 \times \frac{51{,}3}{0{,}1016} \times \frac{1{,}02^2}{2 \times 9{,}81} = 0{,}83\ (\mathrm{m}).$$

$$\text{Pérdidas en codo } 90° \rightarrow \mathrm{H_L} = 0{,}93 \times \frac{1{,}02^2}{2 \times 9{,}81} \times 2 = 0{,}098\ (\mathrm{m});\ \mathrm{K} = 0{,}031 \times 30 = 0{,}93$$

$$\text{Pérdidas en T de tramo} \rightarrow \mathrm{H_L} = 0{,}62 \times \frac{1{,}02^2}{2 \times 9{,}81} = 0{,}033\ (\mathrm{m});\ \mathrm{K} = 0{,}031 \times 20 = 0{,}62$$

<u>Tramo 3:</u>

Para el cálculo de las pérdidas en este tramo se consideró Q= 15 $m^3/h$; $\mu_{agua(45°c)}$= 0,000596 Kg/ms; $\rho_{agua(45°c)}$= 990,22 $Kg/m^3$; V= 0,51 m/s y $\varepsilon_{acero}$= 0,000046 m.

$$\mathrm{Re} = \frac{990{,}22 \times 0{,}51 \times 0{,}1016}{0{,}000596} = 86.089 \qquad \varepsilon/D = \frac{0{,}000046}{0{,}1016} = 0{,}000452$$

$\mathrm{f} = 0{,}033$; según diagrama de Moody, (Véase Anexo 7).

$$\text{Pérdidas en tuberías} \rightarrow \mathrm{H_L} = 0{,}033 \times \frac{51{,}8}{0{,}1016} \times \frac{0{,}51^2}{2 \times 9{,}81} = 0{,}22\ (\mathrm{m}).$$

$$\text{Pérdidas en codo } 90° \rightarrow \mathrm{H_L} = 0{,}99 \times \frac{0{,}51^2}{2 \times 9{,}81} = 0{,}013\ (\mathrm{m});\ \mathrm{K} = 0{,}033 \times 30 = 0{,}99$$

Reducción 4" a 2" → $\mathrm{H_L} = 0{,}98 \times 2 = 1{,}96$ (m), (véase Anexo 8).

Tramo 4:

Para el cálculo de las pérdidas en este tramo se consideró Q= 15 $m^3/h$; $\mu_{agua(45°c)}$= 0,000596 Kg/ms; $\rho_{agua(45°c)}$= 990,22 $Kg/m^3$; V= 2,05 m/s y $\varepsilon_{acero}$= 0,000046 m.

$$\mathrm{Re} = \frac{990{,}22 \times 2{,}05 \times 0{,}0508}{0{,}000596} = 173.023 \qquad \varepsilon/D = \frac{0{,}000046}{0{,}0508} = 0{,}00090$$

$\mathrm{f} = 0{,}029$; según diagrama de Moody, (Véase Anexo 7).

Pérdidas en tuberías → $\mathrm{H_L} = 0{,}029 \times \frac{1{,}5}{0{,}0508} \times \frac{2{,}05^2}{2 \times 9{,}81} = 0{,}183$ (m).

Pérdidas en T de tramo → $\mathrm{H_L} = 0{,}58 \times \frac{2{,}05^2}{2 \times 9{,}81} = 0{,}124$ (m); $\mathrm{K} = 0{,}029 \times 20 = 0{,}58$

Tramo 5:

Para el cálculo de las pérdidas en este tramo se consideró Q= 7,5 $m^3/h$; $\mu_{agua(45°c)}$= 0,000596 Kg/ms; $\rho_{agua(45°c)}$= 990,22 $Kg/m^3$; V= 1,02 m/s y $\varepsilon_{acero}$= 0,000046 m.

$$\mathrm{Re} = \frac{990{,}22 \times 1{,}02 \times 0{,}0508}{0{,}000596} = 86.089 \qquad \varepsilon/D = \frac{0{,}000046}{0{,}0508} = 0{,}00090$$

$\mathrm{f} = 0{,}034$; según diagrama de Moody, (Véase Anexo 7).

Pérdidas en tuberías → $\mathrm{H_L} = 0{,}034 \times \frac{10{,}8}{0{,}0508} \times \frac{1{,}02^2}{2 \times 9{,}81} = 0{,}38$ (m).

Pérdidas en codo 90° → $\mathrm{H_L} = 1{,}02 \times \frac{1{,}02^2}{2 \times 9{,}81} \times 4 = 0{,}21$ (m); $\mathrm{K} = 0{,}034 \times 30 = 1{,}02$

Reducción 2" a 1" → $\mathrm{H_L} = 0{,}40 \times 4 = 1{,}60$ (m), (véase Anexo 8).

Tramo 6:

Para el cálculo de las pérdidas en este tramo se consideró Q= 3,75 $m^3/h$; $\mu_{agua(45°c)}$= 0,000596 Kg/ms; $\rho_{agua(45°c)}$= 990,22 $Kg/m^3$; V= 2,05 m/s y $\varepsilon_{acero}$ = 0,000046 m.

$$\mathrm{Re} = \frac{990{,}22 \times 2{,}05 \times 0{,}0254}{0{,}000596} = 86.511 \qquad \varepsilon/D = \frac{0{,}000046}{0{,}0254} = 0{,}0018$$

$\mathrm{f} = 0{,}032$; según diagrama de Moody, (Véase Anexo 7).

$$\text{Pérdidas en tuberías} \rightarrow \mathrm{H_L} = 0{,}032 \times \frac{26{,}6}{0{,}0254} \times \frac{2{,}05^2}{2 \times 9{,}81} = 7{,}17\ (\mathrm{m}).$$

$$\text{Pérdidas en codo } 90° \rightarrow \mathrm{H_L} = 0{,}96 \times \frac{2{,}05^2}{2 \times 9{,}81} \times 16 = 3{,}29\ (\mathrm{m});\ \mathrm{K} = 0{,}032 \times 30 = 0{,}96$$

$$\text{Pérdidas en T de tramo} \rightarrow \mathrm{H_L} = 0{,}64 \times \frac{2{,}05^2}{2 \times 9{,}81} \times 8 = 1{,}09\ (\mathrm{m});\ \mathrm{K} = 0{,}032 \times 20 = 0{,}64$$

Tramo 7:

Para el cálculo de las pérdidas en este tramo se consideró Q= 1,875 $m^3/h$; $\mu_{agua(45°c)}$= 0,000596 Kg/ms; $\rho_{agua(45°c)}$= 990,22 $Kg/m^3$; V= 1,02 m/s y $\varepsilon_{pvc}$= 0 m.

$$\mathrm{Re} = \frac{990{,}22 \times 1{,}02 \times 0{,}0254}{0{,}000596} = 43.044 \qquad \varepsilon/D = 0$$

$\mathrm{f} = 0{,}042$; según diagrama de Moody, (Véase Anexo 7).

$$\text{Pérdidas en tuberías} \rightarrow \mathrm{H_L} = 0{,}042 \times \frac{49}{0{,}0254} \times \frac{1{,}02^2}{2 \times 9{,}81} = 4{,}29\ (\mathrm{m}).$$

Al obtener las pérdidas de cargas en cada tramo se realiza la suma de los resultados para determinar la carga por perdidas de la sección de descarga de la bomba $h_L$, la cual será utilizada para obtener la carga total sobra la bomba en (m), $h_A$.

$$\mathrm{h_L} = \text{tramo 1} + \text{tramo 2} + \text{tramo 3} + \text{tramo 4} + \text{tramo 5} + \text{tramo 6} + \text{tramo 7}$$

$$h_L = 0{,}212 + 0{,}64 + 0{,}17 + 1{,}52 + 0{,}83 + 0{,}098 + 0{,}033 + 0{,}22 + 0{,}013 + 1{,}96 + 0{,}183 + 0{,}124 + 0{,}38 + 0{,}21 + 1{,}60 + 7{,}17 + 3{,}29 + 1{,}09 + 4{,}29.$$

$h_L = 24{,}033\ (m)$.

3.3.6.3. Cálculo de ayuda para la selección de bombas agua caliente caldera A.C.C.

La sala de caldera solo cuenta con una bomba para producir la recirculación del vapor que es generado por la caldera y producir de esa forma el intercambio de calor para calentar el agua del estanque de almacenamiento de A.C.S., esta situación actual mantiene en una preocupación constante al departamento producto de los años de funcionamiento que posee la bomba que va de la mano con el desgaste y deterioro que esta posee, y también por la falta de una bomba en paralelo que permita el funcionamiento continuo del sistema de intercambio de calor. Los cálculos siguientes buscan asesorar al departamento para realizar la selección de la bomba utilizando los datos del $NPSH_D$, $H_L$ de la bomba y el caudal necesario que serán determinados a continuación.

3.3.6.4. Desarrollo de los cálculos de pérdidas de carga en línea de descarga

El resultado que se obtiene a continuación de las pérdidas de carga en la línea de descarga de la bomba debe ser utilizado en conjunto con el caudal del fluido para determinar el modelo de bomba de acuerdo a los gráficos de datos del fabricante como se demuestra en la figura 3-9.

Para el cálculo de las pérdidas en la línea de descarga se consideró Q= 40 $m^3/h$; $\mu_{vapor}$ = 0,0000125 Kg/ms; $\rho_{vapor}$= 0,576 $Kg/m^3$; V= 5,48 m/s, $\varepsilon_{acero}$= 0,000046 m y D = 0,0508 m.

$$\mathrm{Re} = \frac{0{,}596 \times 5{,}48 \times 0{,}0508}{0{,}0000125} = 13.273{,}35 \qquad \varepsilon/D = \frac{0{,}000046}{0{,}0508} = 0{,}0009$$

$\mathrm{f} = 0{,}031$; según diagrama de Moody, (Véase Anexo 7).

$$\text{Pérdidas en tuberías} \rightarrow \mathrm{H_L} = 0{,}031 \times \frac{7{,}2}{0{,}0508} \times \frac{5{,}48^2}{2 \times 9{,}81} = 6{,}72\ (\mathrm{m}).$$

$$\text{Pérdidas en codo } 90° \rightarrow \mathrm{H_L} = 0{,}93 \times \frac{5{,}48^2}{2 \times 9{,}81} \times 4 = 5{,}69\ (\mathrm{m});\ \mathrm{K} = 0{,}031 \times 30 = 0{,}93$$

$$\text{Pérdidas en T de tramo} \rightarrow H_L = 0{,}62 \times \frac{5{,}48^2}{2 \times 9{,}81} = 0{,}94\ (\text{m});\ K = 0{,}031 \times 20 = 0{,}62$$

La pérdida total generada en la línea de descarga $H_L$ = 13,35 (m), y la carga total de la bomba $h_A$ es 23.44 (m), la cual debe ser utilizada para posteriormente seleccionar la bomba adecuada de acuerdo a los datos que son entregados por los fabricantes de las bombas. Se debe tener en consideración que es de gran importancia conocer las perdidas y el caudal del sistema para seleccionar las bombas, utilizando las gráficas y tablas entregadas por el fabricante.

### 3.3.7. Datos obtenidos a considerar para la selección de bombas

Es importante determinar los datos que son necesarios para seleccionar la bomba adecuada utilizando como herramienta los datos que son entregados por los fabricantes. Anteriormente se realizaron los cálculos necesarios para obtener los valores que serán utilizados en los criterios de selección de las bombas. A continuación, se describen en la tabla 3-5 los diferentes parámetros obtenidos.

| DATOS NECESARIOS PARA SELECCIÓN DE BOMBAS | | |
|---|---|---|
| **PARÁMETROS** | BOMBA ACC | BOMBA ACS |
| **$NPSH_D$** | 20,91 m | 22,34 m |
| **Carga de bomba ($h_A$)** | 23,44 m | 24,033 m |
| **Caudal** | 40 $m^3/h$ | 30 $m^3/h$ |
| | | |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3-5. Datos obtenidos para selección de bombas

### 3.3.8 Selección de bombas ACC y ACS

Mediante los datos reflejados en la tabla 3-5, se proponen a continuación las bombas que se adecuan a las prestaciones y exigencias del sistema de caldera de la Base Aeronaval, a través de los gráficos de bombas y tablas proporcionados por la empresa CALPEDA por medio de su distribuidor en Chile PGIC S.A.

Estas bombas poseen características adecuadas para el funcionamiento en instalaciones de calefacción, poseen un rodete de aspiración axial con soporte y eje libre,

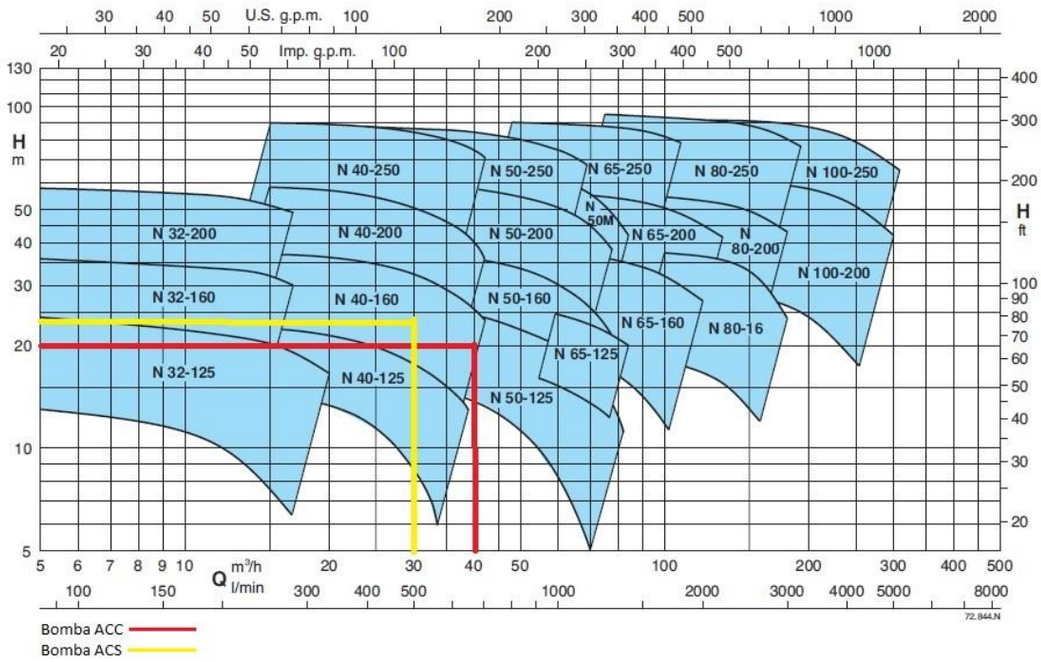
las prestaciones y dimensiones están regidas por la norma europea EN733. Son de construcción “Back Pull-Out”, que es un formato de construcción de bomba que facilita el desmontaje y montaje de la misma.

Posee límites de empleo que corresponden a temperatura del fluido entre -10°C a +90°C, temperatura ambiente hasta 40°C, altura de aspiración manométrica hasta 7 m y una presión máxima admitida en el cuerpo de la bomba 10 bar. Las bombas utilizadas trabajan a 2900 RPM, están permiten entregar la cantidad de fluido necesario al sistema.

Fuente: Ficha Técnica bombas centrífugas empresa CALPEDA

Figura 3-10. Bombas centrífugas modelo B-N y N marca CALPEDA

A continuación, en la figura 3-10, se identifican las bombas que por medio de los parámetros calculados reflejados en la tabla 3-5, se aproximan a los márgenes de utilización necesarios para el sistema.




Fuente: Ficha Técnica bombas centrífugas empresa CALPEDA

Figura 3-11. Campo de aplicaciones para bombas de 2900 RPM

Después de seleccionado el campo de cada bomba, se puede observar que ambos pares de bombas pueden ser del mismo modelo, pero al comparar con las tablas de prestaciones se determinó que para el circuito de ACS se utilizaría el modelo N 40-160 B/A identificada en la figura 3-11 y para el circuito de ACC el modelo N 50-125 A/A identificado en la figura 3-12, ambos modelos se acercan a los requerimientos del sistema. En la tabla 3-6 se resumen las especificaciones de operación de cada modelo.

| MODELO | Q ($m^3/h$) | H (m) | P. MOTOR (Kw) |
|---|---|---|---|
| N 40-160 B/A | 30 | 23,5 | 3 |
| N 50-125 A/A | 42 | 22,5 | 4 |

Fuente: Ficha Técnica bombas centrífugas empresa CALPEDA

Tabla 3-6. Resumen de datos obtenidos de la selección de bombas

## Prestaciones n ≈ 2900 1/min

| BOMBA | BOMBA | MOTOR | P2 kW | Q m³/h | 6,6 | 7,5 | 8,4 | 9,6 | 10,8 | 12 | 13,2 | 15 | 16,8 | 18,9 | 21 | 24 | 27 | 30 | 33 | 37,8 | 39 | 42 | 45 | 48 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Q l/min | 110 | 125 | 140 | 160 | 180 | 200 | 220 | 250 | 280 | 315 | 350 | 400 | 450 | 500 | 550 | 630 | 650 | 700 | 750 | 800 |
| B-N 32-125F/A | N 32-125F/A | 71 B2 | 0,55 | | 12,5<br>0,4 | 12,5<br>0,43 | 12<br>0,46 | 11,5<br>0,48 | 11<br>0,5 | 10,5<br>0,52 | 9,5<br>0,54 | 8<br>0,55 | 6<br>0,56 | | | | | | | | | | | |
| B-N 32-125D/A | N 32-125D/A | 80 A2<br>80 B2 | 0,75<br>1,1 | | 18<br>0,63 | 18<br>0,67 | 17,5<br>0,7 | 17<br>0,75 | 16,5<br>0,79 | 16<br>0,83 | 15,5<br>0,86 | 14<br>0,9 | 12,5<br>0,93 | 11<br>0,95 | 8,5<br>0,97 | | | | | | | | | |
| B-N 32-125A/A | N 32-125A/A | 80 B2<br>90 S2 | 1,1<br>1,5 | | 23<br>0,83 | 23<br>0,87 | 22,5<br>0,91 | 22<br>0,96 | 21,5<br>1,01 | 21<br>1,06 | 20,5<br>1,1 | 19,5<br>1,19 | 18<br>1,26 | 16<br>1,31 | 14<br>1,35 | 10<br>1,38 | | | | | | | | |
| B-N 32-125S/A | N 32-125S/A | 90 S2 | 1,5 | | 23,5<br>0,86 | 23,5<br>0,9 | 23<br>0,94 | 22,5<br>1 | 22<br>1,06 | 21,5<br>1,12 | 21<br>1,17 | 20,5<br>1,25 | 19<br>1,3 | 18,5<br>1,36 | 16,5<br>1,42 | 13<br>1,49 | | | | | | | | |
| B-N 32-160B/A | N 32-160B/A | 90 S2<br>90 L2 | 1,5<br>2,2 | | 29,5<br>1,1 | 29,5<br>1,17 | 29<br>1,23 | 28,5<br>1,30 | 27,5<br>1,37 | 27<br>1,43 | 26<br>1,48 | 25*<br>1,55 | 22,5*<br>1,63 | 20*<br>1,7 | 17,5*<br>1,75 | 12,5*<br>1,79 | | | | | | | | |
| B-N 32-160A/A | N 32-160A/A | 90 L2<br>100 L2 | 2,2<br>3 | | 35,5<br>1,56 | 35,5<br>1,64 | 35<br>1,71 | 34,5<br>1,81 | 34<br>1,9 | 33,5<br>1,98 | 33<br>2,05 | 32*<br>2,16 | 30*<br>2,24 | 28*<br>2,33 | 25*<br>2,4 | 21*<br>2,47 | 15*<br>2,5 | | | | | | | |
| B-N 32-200D/A | N 32-200D/A | 90 L2<br>100 L2 | 2,2<br>3 | | 37,5<br>1,92 | 37<br>2 | 36<br>2,08 | 35<br>2,17 | 34<br>2,24 | 33<br>2,3 | 32<br>2,35 | 30<br>2,4 | 27<br>2,45 | 22<br>2,5 | | | | | | | | | | |
| B-N 32-200C/A | N 32-200C/A | 100 L2 | 3 | | 44,5<br>2,17 | 44<br>2,28 | 43,5<br>2,36 | 43<br>2,5 | 42<br>2,63 | 41<br>2,74 | 40<br>2,83 | 38,5<br>2,97 | 36<br>3,1 | 32<br>3,2 | | | | | | | | | | |
| B-N 32-200A/A | N 32-200A/A | 112 M2<br>132 SA2 | 4<br>5,5 | | 57<br>2,9 | 56,5<br>3,1 | 56<br>3,18 | 55,5<br>3,35 | 54,5<br>3,51 | 53,5<br>3,67 | 52,5<br>3,8 | 51<br>4 | 49<br>4,2 | 46<br>4,4 | | | | | | | | | | |
| B-N 40-125F/A | N 40-125F/A | 80 B2 | 1,1 | H m | | | | | | | | 14<br>0,96 | 13,5<br>1,00 | 13<br>1,04 | 12<br>1,07 | 11<br>1,10 | 9,5<br>1,13 | 8<br>1,13 | 6<br>1,13 | | | | | |
| B-N 40-125C/A | N 40-125C/A | 90 S2 | 1,5 | P3 kW | | | | | | | | 17,5<br>1,21 | 17<br>1,26 | 16,5<br>1,32 | 16<br>1,38 | 15<br>1,44 | 13,5<br>1,49 | 12<br>1,53 | 10,5<br>1,56 | 7,5<br>1,57 | 6,5<br>1,57 | | | |
| B-N 40-125A/A | N 40-125A/A | 90 L2 | 2,2 | | | | | | | | | 22<br>1,50 | 22<br>1,57 | 21,5<br>1,65 | 21<br>1,72 | 20<br>1,82 | 19<br>1,91 | 18<br>1,98 | 16,5<br>2,04 | 14<br>2,10 | 13<br>2,11 | 11,5<br>2,13 | | |
| B-N 40-160C/A | N 40-160C/A | 90 L2 | 2,2 | | | | | | | | | 23<br>1,55 | 22,5<br>1,63 | 22<br>1,72 | 21,5<br>1,80 | 20<br>1,90 | 18,5<br>1,99 | 16,5<br>2,06 | 14,5<br>2,12 | 11<br>2,17 | 10<br>2,17 | | | |
| B-N 40-160B/A | N 40-160B/A | 100 L2 | 3 | | | | | | | | | 29<br>2,08 | 28,8<br>2,18 | 28<br>2,30 | 27,5<br>2,41 | 26,5<br>2,55 | 25<br>2,67 | 23,5<br>2,78 | 21,5<br>2,87 | 18<br>2,97 | 17<br>2,99 | 14<br>3,02 | | |
| B-N 40-160A/A | N 40-160A/A | 112 M2<br>132 SA2 | 4<br>5,5 | | | | | | | | | 37<br>2,70 | 36,5<br>2,84 | 36,5<br>3,01 | 36<br>3,18 | 35<br>3,36 | 33,5<br>3,53 | 32<br>3,72 | 30,5<br>3,84 | 27<br>4,01 | 26<br>4,05 | 23,5<br>4,12 | 20<br>4,20 | 17<br>4,22 |
| B-N 40-200D/A | N 40-200D/A | 112 M2<br>132 SA2 | 4<br>5,5 | | | | | | | | | 39<br>3,20 | 38<br>3,35 | 37<br>3,51 | 35,5<br>3,66 | 33,5<br>3,86 | 30,5<br>4,03 | 27<br>4,16 | 22,5<br>4,30 | 14<br>4,43 | | | | |
| B-N 40-200C/A | N 40-200C/A | 112 M2<br>132 SA2 | 4<br>5,5 | | | | | | | | | 41,5<br>3,44 | 40,5<br>3,59 | 39,5<br>3,78 | 38<br>3,95 | 36<br>4,15 | 33,5<br>4,35 | | | | | | | |
| B-N 40-200B/A | N 40-200B/A | 132 SA2 | 5,5 | | | | | | | | | 50<br>3,96 | 49,5<br>4,18 | 48,5<br>4,41 | 47,5<br>4,64 | 45,5<br>4,82 | 43,5<br>5,17 | 41,5<br>5,39 | 37,5<br>5,60 | 30,5<br>5,87 | | | | |
| B-N 40-200AR/A | N 40-200AR/A | 132 SA2<br>132 SB2 | 5,5<br>7,5 | | | | | | | | | 55<br>4,50 | 54,5<br>4,70 | 54<br>5,07 | 53<br>5,30 | 51<br>5,65 | 49<br>5,95 | | | | | | | |
| B-N 40-200A/A | N 40-200A/A | 132 SB2 | 7,5 | | | | | | | | | 57,5<br>4,78 | 57<br>5,04 | 56,5<br>5,34 | 55,5<br>5,63 | 54,5<br>6,03 | 52,5<br>6,40 | 50,5<br>6,70 | 48<br>7,01 | 42,5<br>7,34 | 40,5<br>7,43 | 35<br>7,62 | | |
| B-N 40-250C/A | N 40-250C/A | 160 MA2 | 11 | | | | | | | | | 61<br>5,86 | 61<br>6,16 | 60,5<br>6,49 | 59,5<br>6,82 | 58,5<br>7,28 | 56,5<br>7,72 | 53,5<br>8,07 | 49,5<br>8,48 | 41,5<br>9,02 | 40<br>9,15 | 33,5<br>9,35 | | |
| B-N 40-250B/A | N 40-250B/A | 160 MA2 | 11 | | | | | | | | | 69,5<br>6,87 | 69,5<br>7,19 | 69<br>7,56 | 68,5<br>7,91 | 67<br>8,47 | 65,5<br>8,91 | 63,5<br>9,35 | 60,5<br>9,75 | 53,5<br>10,40 | 51<br>10,54 | 45<br>10,93 | | |
| B-N 40-250A/A | N 40-250A/A | 160 MB2 | 15 | | | | | | | | | 90<br>9,31 | 90<br>9,73 | 89,5<br>10,21 | 89<br>10,68 | 88,5<br>11,34 | 87<br>11,98 | 85<br>12,60 | 83<br>13,19 | 77,5<br>14,00 | 76<br>14,21 | 70,5<br>14,65 | | |

P2 Potencia nominal del motor.

P3 Potencia absorbida por la bomba. **H** Altura total en m. * Altura máxima de aspiración 1-2 m.

Fuente: Ficha Técnica bombas centrífugas empresa CALPEDA

Figura 3-12. Selección bomba modelo N 40-160B/A

## Prestaciones n ≈ 2900 1/min

| BOMBA B-N | BOMBA N | MOTOR | P2 kW | Q m³/h | 24 | 27 | 30 | 33 | 37,8 | 42 | 48 | 54 | 60 | 66 | 69 | 72 | 75 | 78 | 81 | 84 | 96 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Q l/min | 400 | 450 | 500 | 550 | 630 | 700 | 800 | 900 | 1000 | 1100 | 1150 | 1200 | 1250 | 1300 | 1350 | 1400 | 1600 |
| B-N 50-125F/A | N 50-125F/A | 90 L2 | 2,2 | | | | 15,5<br>1,87 | 15<br>1,93 | 14<br>2,02 | 13,5<br>2,09 | 12<br>2,14 | 10<br>2,18 | 8<br>2,14 | 6<br>2,10 | | | | | | | |
| B-N 50-125D/A | N 50-125D/A | 100 L2 | 3 | | | | 20<br>2,5 | 19,5<br>2,58 | 18,5<br>2,7 | 18<br>2,81 | 16,5<br>2,91 | 14,5<br>2,96 | 13<br>2,98 | 10,5<br>2,92 | 9<br>2,9 | 8<br>2,87 | | | | | |
| B-N 50-125A/A | N 50-125A/A | 112 M2 | 4 | | | | 24<br>3,11 | 24<br>3,22 | 23<br>3,39 | 22,5<br>3,54 | 21<br>3,69 | 19,5<br>3,78 | 17,5<br>3,85 | 15<br>3,87 | 14<br>3,86 | 12,5<br>3,84 | 11,5<br>3,81 | 10<br>3,79 | | | |
| B-N 50-125S/A | N 50-125S/A | 112 M2<br>132 SA2 | 4<br>5,5 | | | | 26,5<br>3,38 | 26<br>3,52 | 25,5<br>3,71 | 24,5<br>3,87 | 23,5<br>4,04 | 22<br>4,18 | 20<br>4,25 | 18<br>4,29 | 16,5<br>4,29 | 15,5<br>4,28 | 14<br>4,26 | 13<br>4,24 | 11<br>4,22 | | |
| B-N 50-160B/A | N 50-160B/A | 132 SA2 | 5,5 | | | | 31<br>4,30 | 30,5<br>4,48 | 29,5<br>4,71 | 28<br>4,90 | 26<br>5,11 | 24<br>5,28 | 21,5<br>5,35 | 19<br>5,40 | 17,5<br>5,40 | 15,5<br>5,36 | 13,5<br>5,32 | 11,5<br>5,30 | 9,5<br>5,22 | | |
| B-N 50-160A/A | N 50-160A/A | 132 SB2 | 7,5 | | | | 38,5<br>5,44 | 38<br>5,67 | 37,5<br>6,02 | 36,5<br>6,31 | 34,5<br>6,67 | 32,5<br>6,95 | 30<br>7,18 | 27<br>7,30 | 25,5<br>7,34 | 24<br>7,38 | 22,5<br>7,41 | 20,5<br>7,42 | 19<br>7,46 | | |
| B-N 50-200B/A | N 50-200B/A | 160 MA2 | 11 | | 48<br>5,81 | 47,5<br>6,13 | 47,5<br>6,44 | 47<br>6,73 | 45,5<br>7,18 | 44,5<br>7,55 | 42,5<br>8,02 | 40<br>8,43 | 37<br>8,77 | 33<br>9,01 | 30,5<br>9,08 | 28<br>9,15 | 25,5<br>9,19 | 23<br>9,23 | | | |
| B-N 50-200A/A | N 50-200A/A | 160 MA2 | 11 | H m | 55<br>6,92 | 55<br>7,29 | 54,5<br>7,65 | 54,5<br>7,99 | 53,5<br>8,56 | 52<br>8,99 | 50<br>9,57 | 48<br>10,05 | 45<br>10,45 | 41,5<br>10,75 | 39,5<br>10,89 | 37<br>10,98 | 35<br>11,11 | 32,5<br>11,15 | | | |
| B-N 50-200S/A | N 50-200S/A | 160 MB2 | 15 | P3 kW | 60<br>7,56 | 60<br>7,98 | 59,5<br>8,39 | 59,5<br>8,79 | 58,5<br>9,38 | 57,5<br>9,82 | 55,5<br>10,48 | 53,5<br>11,00 | 50,5<br>11,54 | 47<br>11,86 | 45<br>12,02 | 43<br>12,20 | 40,5<br>12,30 | 37<br>12,40 | | | |
| B-N 50-250C/A | N 50-250C/A | 160 MA2 | 11 | | 55<br>7,28 | 54,5<br>7,68 | 54<br>8,06 | 53<br>8,42 | 51,5<br>8,98 | 49,5<br>9,42 | 46,0<br>9,99 | 41,5<br>10,42 | 35,5<br>10,75 | 28,5<br>10,95 | 24,5<br>11,08 | | | | | | |
| B-N 50-250B/A | N 50-250B/A | 160 MB2 | 15 | | 69<br>9,62 | 68,5<br>10,08 | 68<br>10,58 | 67,5<br>11,05 | 66<br>11,68 | 64<br>12,32 | 61<br>13,05 | 57<br>13,77 | 52,5<br>14,20 | 46,5<br>14,77 | 43<br>14,98 | | | | | | |
| B-N 50-250A/A | N 50-250A/A | 160 L2 | 18,5 | | 80,5<br>11,75 | 80,5<br>12,33 | 80<br>12,92 | 79,5<br>13,56 | 78,5<br>14,47 | 77<br>15,20 | 74,5<br>16,10 | 71,5<br>16,94 | 67<br>17,65 | 61,5<br>18,25 | 58,5<br>18,55 | | | | | | |
| B-N 50-250S/A | N 50-250S/A | 180 M2 | 22 | | 88,5<br>12,76 | 88,5<br>13,46 | 88<br>14,15 | 87<br>14,85 | 86<br>15,93 | 84<br>16,84 | 81,5<br>17,92 | 78,5<br>19,02 | 75<br>19,91 | 71<br>20,62 | 68,5<br>20,96 | | | | | | |
| B-N 50M/E/A | N 50M/E/A | 160 MA2 | 11 | | | 48<br>7,5 | 47,5<br>8 | 47<br>8,5 | 46<br>9 | 45<br>9,4 | 43<br>10 | 40<br>10,4 | 37<br>11 | 32<br>11,3 | 29,5<br>11,4 | 27<br>11,5 | 24<br>11,8 | | | | |
| B-N 50M/D/A | N 50M/D/A | 160 MB2 | 15 | | | | 57<br>9,3 | 56,5<br>9,9 | 56<br>10,5 | 55<br>11 | 53<br>12,3 | 51<br>12,6 | 48<br>13 | 44,5<br>13,6 | 42<br>14,2 | 39,5<br>15 | 37<br>15,1 | 32<br>15,2 | 29<br>15,3 | 25*<br>15,4 | |
| B-N 50M/C/A | N 50M/C/A | 160 L2 | 18,5 | | | | 68<br>11,8 | 67,5<br>12,3 | 67<br>12,9 | 66,5<br>13,6 | 65<br>14,7 | 63<br>15,4 | 61<br>16,2 | 58<br>16,8 | 56<br>17,4 | 53,5<br>18,2 | 51,5<br>18,4 | 48<br>18,6 | 45,5<br>18,8 | 42*<br>19 | |

Fuente: Ficha Técnica bombas centrífugas empresa CALPEDA

Figura 3-13. Selección bomba modelo N 50-125A/A

## 3.4. RESUMEN DE MEJORAS PROPUESTAS

Para resumir todo lo planteado en este capítulo correspondiente a las propuestas de mejoras para la Base Aeronaval, al incorporar un equipo de tratamiento de agua al sistema de alimentación de la caldera se está previniendo la acumulación de minerales de Ca y Mg en el cuerpo interno de la caldera a través de la disminución de la dureza, evitando de esa forma la disminución del calor de transferencia y el aumento del riesgo de explosiones de los tubos internos producto de las incrustaciones. De igual manera se puede complementar esta mejora con otros tipos de tratamientos que pueden otorgar otras características al agua de alimentación. Con esta mejora también se procura disminuir la aparición de discrepancias producto de ductos tapados, los cuales aumentan el tiempo de utilización de la caldera al disminuir su capacidad de calentar el agua.

La incorporación de las nuevas bombas de ACC busca mejorar el proceso de calefacción del agua al aumentar la capacidad de las bombas y al incorporar otra de forma paralela evitando que el sistema se detenga cuando exista un alto régimen de utilización del servicio. De igual forma la propuesta de incorporar las bombas de ACS busca mejorar la utilización del servicio al permitir que el agua recircule de manera constante por el circuito entregando una mejor calidad del servicio, y produciendo que el agua se mantenga a una temperatura aproximadamente constante y no pierda temperatura por el estancamiento que se produce al no recircular nuevamente hacia la caldera, también permite que se utilice un agua de alimentación con mayor temperatura evitando el funcionamiento excesivo de la caldera ahorrando de esa forma combustible al departamento CATAN y tiempo al personal encargado de la operación de la caldera.

# CAPÍTULO 4: PROPUESTA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA SISTEMA DE CALDERA.

# 4. PROPUESTA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA SISTEMA DE CALDERA

## 4.1 MANTENIMIENTO PREVENTIVO A CALDERA Y ACCESORIOS

Con el fin de proporcionar a la Base Aeronaval con ACS, nace el propósito de mantener en funcionamiento óptimo el sistema de caldera. Para lograr lo anterior se debe implementar un mecanismo programado y planificado de mantenimiento el cual debe ser sistemático y claro, para que todo operador o mantenedor pueda interpretar y ejecutar las acciones que sean descritas.

Mantenimiento preventivo para cualquier sistema, equipo o elemento tiene una gran importancia que reside en la programación de un mantenimiento bien planificado, el cual previene aquellas interrupciones no programadas e innecesarias que pueden ser de gran valor monetario para la empresa.

Implementar un plan de mantenimiento trae consigo ventajas las cuales son de gran aporte para extender la vida y funcionamiento, así como, aumentar la confianza y seguridad del operador al controlar el correcto funcionamiento evitando la ocurrencia de fallas. También permite disminuir el consumo y desperdicio de combustible, previniendo el deterioro interno de la caldera y sus accesorios.

Al realizar las tareas de mantenimiento, estas deben estar abocadas a lo establecido en el Decreto Supremo N°10 del ministerio de salud, de esa forma ejecutar las tareas de manera segura y normalizadas. Para las acciones realizadas en las inspecciones diarias, semanales y mensuales se deben seguir las indicaciones establecidas en el Art.52 del DS10.

### 4.1.1 Mantenimiento e inspecciones diarias

La organización del departamento que desarrolla el mantenimiento al sistema de caldera en conjunto con su programación es de gran importancia para la ejecución del trabajo que realizan, teniendo en cuenta que son los encargados de la aplicación del mantenimiento procurando que se realice de manera eficiente para obtener buenos resultados.

La mantención que se realiza de forma diaria se relaciona directamente con observar el funcionamiento de los elementos de seguridad y las condiciones de operación de la caldera. A continuación, se nombran las rutinas de inspección y mantenimiento que

se deben realizar de manera diaria para garantizar el buen funcionamiento de la caldera y sus elementos:

- Inspección por fugas de agua.
- Inspección por fugas de gases.
- Inspección por fugas de vapor.
- Inspección por fugas de combustible.
- Inspección alimentación de agua a caldera.
- Verificación de forma y color de llama.
- Verificación de funcionamiento válvula de alivio presión.
- verificación de funcionamiento válvula de purga.
- Verificación de funcionamiento de instrumentos de temperatura y presión.
- Verificación de funcionamiento de bombas de recirculación A.C.S. Y A.C.C.
- Verificación de alimentación eléctrica a caldera.

### 4.1.2. Mantenimiento e inspecciones semanales

Todo equipo requiere de un monitoreo semanal que complemente las inspecciones diarias, para que estas entreguen un mejor cuidado a los elementos de caldera. Se debe considerar que todos los trabajos deben ser programados por el jefe de mantenimiento CATAN, donde debe usar su criterio y evaluar cuantos trabajos puede programar teniendo en cuenta la cantidad de HH disponibles.

Se indican a continuación las tareas que deben programarse para realizarlas de manera semanal:

- Limpieza de filtro de combustible.
- Inspección de línea de alimentación de combustible.
- Limpieza de conductos de combustible.
- Verificación de fugas en tanque de agua caliente.
- Chequeo de funcionamiento de quemador.
- Verificación de combustión en el quemador.

### 4.1.3. Mantenimiento e inspecciones mensuales

Es importante para el departamento encargado del mantenimiento en toda empresa conseguir la realización de las tareas o trabajos de mantenimiento en el menor tiempo posible con el personal disponible. También se deben establecer los activos a utilizar para

dichas actividades y así lograr la ejecución de la manera más eficiente posible sin carecer de los recursos necesarios. Para complementar las tareas o rutinas de mantenimiento semanales se mencionan a continuación las actividades a realizar de manera mensual:

- Inspección a electrodos de ignición.
- Inspección de boquillas del quemador.
- Verificación de cables y aisladores de ignición.
- Inspección a accesorios de tuberías.
- Inspección y limpieza del ventilador.
- Inspección a válvulas de sala de caldera.
- Inspección a empaquetaduras de caldera.
- Inspección de estanque de A.C.S.
- Verificación del nivel de tanque de combustible.
- Inspección de sellos en bombas de A.C.S. Y A.C.C.
- Accionamiento de válvula de purga.
- Verificación del cebado de bombas.

### 4.1.4. Mantenimiento e inspecciones semestrales

Mantener un registro de todas las actividades o rutinas de mantenimiento diarias y mensuales permite verificar las observaciones encontradas para ser consideradas y agregadas a la programación para ser realizadas permitiendo el buen funcionamiento del sistema de caldera. Se nombran a continuación las actividades semestrales que deben ser realizadas:

- Inspección de conexiones de terminales eléctricos.
- Inspección a anclaje de bombas A.C.S. Y A.C.C.
- Inspección a cojinetes de bombas A.C.S. Y A.C.C.
- verificación a instrumentos de temperatura y presión de caldera.
- Inspección a ferretería de puerta de caldera.
- Inspección a ferretería de tapas de acceso a interior de caldera.
- Inspección a uniones de tuberías de sala de caldera.
- Inspección y lubricación a sistema de ventilador.
- Inspección a válvulas del sistema de distribución de vapor.
- Inspección de estanque Hidropack.
- Inspección de conexiones panel de control.

- Verificación y ajuste de presostato, termostato y transmisores.

### 4.1.5. Mantenimiento e inspecciones anuales

Los trabajos mayores a realizarse en el mantenimiento anual al igual que las otras actividades nombradas anteriormente deben ser programados en conjunto con los recursos necesarios para ser realizadas. La importancia de estos trabajos radica en el buen funcionamiento de la caldera, ya que su nivel de inspección es más profundo permitiendo encontrar falencias en la mayoría de sus sistemas. A continuación, se nombran las acciones a realizar de forma anual:

- Inspección y reparación (si fuese necesario) a material refractario.
- Inspección a tuberías interiores de paso de gases.
- Limpieza a interior de caldera lado fuego y agua.
- Inspección y limpieza de atomizadores de aire.
- Inspección a ferreterías de cuerpo interior de caldera.
- Reemplazo de empaquetaduras de tapas registro hombre.
- Reemplazo de quemadores petróleo (boquillas).
- Reemplazo de electrodos encendido.
- Reemplazo sensor de llama.
- Inspección de aislamiento de bombas.
- Inspección de vibración a sistema de ventilador.
- Limpieza de conexiones eléctricas.
- Limpieza de chimenea.
- Inspección de aislamiento de tuberías de distribución de ACS y ACC.
- Limpieza e inspección de estanque ACS.
- Inspección cuerpo exterior de caldera y tuberías.
- Pintado exterior caldera y tuberías.
- Medición de espesores estanque ACS.
- Medición de espesores a tubos de fuego.
- Prueba Hidrostática (de acuerdo a Art.47, 48 y 49 del DS10).
- Regulación de la válvula de seguridad (de acuerdo al Art. 50 del DS10).
- Prueba de acumulación de vapor (de acuerdo al Art.51 del DS10).
- Inspecciones no destructivas, en caso de ser necesario de acuerdo al Art.53 del DS10.

De acuerdo al DS10 Art.45. al realizar revisiones en el interior de la caldera, se debe dejar enfriar, se evacuará la totalidad del fluido en su interior, se abrirá y procederá a retirar cualquier vestigio de lodos, impurezas o incrustaciones, también se deberán limpiar por completo el hogar, los conductos de humos y las cámaras por donde circulan los gases de la combustión, cuando corresponda.

### 4.1.6. Consideración de repuestos críticos

A partir de todos los trabajos de mantenimiento periódico que se deben realizar a la caldera hay que incluir en la programación un conjunto de elementos o repuestos considerados de gran relevancia para asegurar la realización de las actividades de la manera más eficiente sin perder tiempo importante en las demoras logísticas.
Para lo anterior se indican a continuación los repuestos considerados imprescindibles para la buena operación de una caldera y que deben poseer en stock en el almacén de repuestos.

- Transformador de alta tensión.
- Sensor de llama.
- Boquilla (quemador de petróleo).
- Electrodos de encendido.
- Empaquetaduras.
- Filtro de combustible.
- Acoplamiento ventilador.
- Presostato.
- Termostato.
- O’ring.
- Bobinas para válvulas solenoides.

### 4.1.7. Diagnóstico de fallas y soluciones (troubleshooting) para sistema de caldera

Los sistemas de la caldera pueden operar sin ocurrencia de fallas durante un largo tiempo, la mayoría de las fallas que puede presentar una caldera se basa en el circuito de control, debido a que es el encargado de iniciar y detener el funcionamiento comandado desde el tablero de control por parte del operador de caldera.

Para identificar los problemas que se producen al operar el sistema el personal tiene la obligación de conocer la secuencia de encendido ya que es en este proceso donde tiene participación el quemador. Por lo tanto, se plantea a continuación las fallas más comunes con sus respectivas consecuencias y posibles soluciones.

| DIAGNOSTICO DE FALLAS Y SOLUCIONES PARA CALDERA | | |
|---|---|---|
| PROBLEMA | CAUSA | CORRECCIÓN |
| No se inicia la secuencia de encendido | 1.- Límites de parámetros fuera del mínimo (nivel de agua, presión, temperatura petróleo, ausencia de petróleo, ausencia de llama en fogón, ausencia de aire en cámara) necesarios para iniciar secuencia.<br>2.- Problemas con el presostato de aire.<br>3.- Sobrecarga del motor del ventilador.<br>4.- Daño en sistema de control. Presostato de corte dañado o mal ajustado. | 1.- verificación de alimentación de agua y combustible, cambio de inyectores y válvulas internas.<br>2.- Cambio de presostato.<br>3.- Inspección a motor del ventilador y disminuir carga de funcionamiento.<br>4.- Cambio de presostato. |
| No se cierra templador después de su apertura. | 1.- Daño de servomotor.<br>2.- Interruptor límite de recorrido servomotor dañado. | 1.- Inspección y reparación de servomotor.<br>2.- Cambio de interruptor dañado. |
| No se produce la chispa y paso de combustible. | 1.- Daño de servomotor.<br>2.- Interruptor límite de recorrido servomotor dañado. | 1.- Inspección y reparación de servomotor.<br>2.- Cambio de interruptor dañado. |
| No se produce la llama. | 1.- Sensor de llama sucio.<br>2.- Electrodo dañado.<br>3.- Exceso de aire.<br>4.- Cables de alta dañados.<br>5.- Transformador dañado. | 1.- Limpiar sensor de llama.<br>2.- Cambio de electrodo dañado.<br>3.- verificación de inyector de aire y motor de ventilador.<br>4.- Cambio de cables dañados.<br>5.- Cambio de transformador. |
| No ingresa combustible a cámara. | 1.- Llama piloto no es detectada.<br>2.- Solenoide de válvula dañado.<br>3.- Controlador dañado. | 1.- Cambio de sensor de llama.<br>2.- Cambio de solenoide dañado.<br>3.- inspección y verificación de circuito de controlador. |
| Llama principal intermitente. | 1.- Válvula o inyector de combustible dañado.<br>2.- Exceso de aire para combustión.<br>3.- Caldera sin energizar. | 1.- Cambio de válvula o inyector dañado.<br>2.- Calibrar operación de quemador.<br>3.- Verificar energía eléctrica en tablero. |
| No se produce encendido de caldera. | 1.- Tablero de control sin energía eléctrica.<br>2.- Falla en operación normal de caldera. | 1.- Verificar alimentación de energía eléctrica de tablero de control.<br>2.- Presionar botón “RESET” de caldera para reiniciar su funcionamiento. |

Fuente: Manual de caldera y planificación de mantenimiento Armada de Chile para Calderas

Tabla 4-1. Diagnóstico de fallas y soluciones para calderas

### 4.1.8. Programación del mantenimiento para caldera y quemador

Para brindar un funcionamiento confiable de la caldera y el quemador se debe realizar la programación de las actividades o rutinas de mantenimiento. De acuerdo a la periodicidad de las tareas de mantenimiento se agrupan en 2 niveles de trabajo, el primero de nivel “MENOR” y el segundo de nivel “MAYOR”.

En el mantenimiento de nivel “MENOR” serán contempladas las operaciones diarias y semanales que estarán destinadas para que sean realizadas por el operador de caldera. Por consiguiente, el nivel “MAYOR” contemplará las operaciones mensuales, semestrales y anuales que estarán destinadas para que sean realizadas por personal de mantenimiento del departamento CATAN que corresponden a técnicos electricistas y técnicos en combustión interna. Permitiendo así un orden, distribución y mejor conocimiento de las tareas que se procuran realizar.

| PERIODICIDAD DE MANTENCIÓN MENOR | | | | |
|---|---|---|---|---|
| EQUIPO | ACCIONES | DIARIA | SEMANAL | PERSONAL |
| CALDERA | Inspección por fugas de agua. | x | | O |
| | Inspección por fugas de gases. | x | | O |
| | Inspección por fugas de vapor. | x | | O |
| | Inspección alimentación de agua a caldera. | x | | O |
| | Inspección por fugas de combustible. | x | | O |
| | Verificación de forma y color de llama. | x | | O |
| | Verificación de funcionamiento válvula de alivio presión. | x | | O |
| | Verificación de funcionamiento válvula de purga. | x | | O |
| | Verificación de funcionamiento de instrumentos de temperatura y presión. | x | | O |
| | Verificación de funcionamiento de bombas de recirculación ACS Y ACC. | x | | O |
| | Verificación de fuga en estanque de agua caliente. | | x | O |
| | | | | |
| QUEMADOR | Verificación de alimentación eléctrica a caldera. | x | | O |
| | Limpieza de filtro de combustible. | | x | O |
| | Inspección de línea de alimentación de combustible. | | x | O |
| | Limpieza de conductos de combustible. | | x | O |
| | Chequeo de funcionamiento de quemador. | | x | O |
| | Verificación de combustión en el quemador. | | x | O |

O: Operador de Caldera

| PERIODICIDAD DE MANTENCIÓN MAYOR | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| EQUIPO | ACCIONES | MENSUAL | SEMESTRAL | ANUAL | PERSONAL |
| CALDERA | Inspección a accesorios de tuberías. | x | | | M |
| | Inspección y limpieza a ventilador. | x | | | M |
| | Inspección a válvulas de sala de caldera. | x | | | M |
| | Inspección a empaquetaduras de caldera. | x | | | M |
| | Verificación del nivel de tanque de combustible. | x | | | M |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | Accionamiento de válvula de purga. | x | | | M |
| | Verificación a instrumentos de temperatura y presión. | | x | | M |
| | Inspección a ferretería de tapas de acceso. | | x | | M |
| | Inspección a uniones de tuberías de sala de caldera. | | x | | M |
| | Inspección y lubricación a sistema de ventilador. | | x | | M |
| | Inspección a válvulas del sistema de distribución de vapor. | | x | | M |
| | Inspección a estanque Hidropack. | | x | | M |
| | Verificación y ajuste de presostato, termostato y trasmisores. | | x | | M |
| | Inspección a tuberías de paso de gases. | | | x | M |
| | Limpieza interior lado fuego y agua. | | | x | M |
| | Inspección y reparación (si fuese necesario) de material refractario. | | | x | M |
| | Inspección a ferretería interior de caldera. | | | x | M |
| | Reemplazo de empaquetaduras tapas de registro hombre. | | | x | M |
| | Inspección de vibración a sistema de ventilador. | | | x | M |
| | Limpieza de chimenea. | | | x | M |
| | Inspección a aislamiento de tuberías de distribución de vapor. | | | x | M |
| | Inspección a cuerpo exterior de caldera y tuberías. | | | x | M |
| | Pintado exterior de caldera y tuberías. | | | x | M |
| | Medición a tubos de fuego. | | | x | M |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| QUEMADOR | Inspección a electrodos de ignición | x | | | E |
| | Inspección a boquillas del quemador. | x | | | M |
| | Verificación de cables y aisladores de ignición. | x | | | E |
| | Inspección a conexiones de terminales eléctricos. | | x | | E |
| | Inspección y limpieza de atomizadores de aire. | | | x | M |
| | Reemplazo de quemadores de petróleo (boquillas). | | | x | M |
| | Reemplazo de electrodos de encendido. | | | x | M |
| | Reemplazo de sensor de llama. | | | x | M |
| | Limpieza de conexiones eléctricas. | | | x | E |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| ESTANQUE ACS | Inspección por corrosión y limpieza. | x | | | M |
| | Medición de espesores. | | | x | M |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| PANEL DE CONTROL | Inspección a conexiones. | x | | | E |
| | | | | | |

E: Técnico Electricista.

M: Mecánico Combustión Interna.

## 4.2. MANTENIMIENTO PREVENTIVO A BOMBAS DE A.C.C. Y A.C.S.

La exigencia a la cual están sometidas las bombas constantemente obliga a los departamentos de mantenimiento a realizar una programación que se ajuste a las exigencias de utilización y ambiente al cual están sometidas. El funcionamiento periódico de las bombas puede estar sometido a distintos contaminantes que frecuentemente contienen los fluidos. Se sugiere tener en cuenta que los daños prematuros producidos en las bombas se relacionan con los contaminantes, mala lubricación o por problemas de alineación.

Contaminación: Las basuras que puede traer el fluido que está siendo bombeado puede contaminar el interior de la bomba al igual que sus accesorios. También se puede como contaminación el ingreso de aire o gases a través de las uniones.

Lubricación incorrecta: Uno de los puntos más importante en el mantenimiento de una bomba es mantener las partes móviles lubricadas, es por eso que los cojinetes deben ser lubricados con aceite o grasas de acuerdo a las especificaciones del fabricante. Los empaques y sellos se consideran lubricados por el mismo fluido.

Desalineación: Es de considerar que la desalineación en las bombas trae consigo vibraciones provocando desgaste en los cojinetes y aumento de temperatura. Teniendo en cuenta lo anterior se debe realizar el alineamiento de los equipos de acuerdo a las especificaciones del fabricante.

Es importante considerar acciones que permitan prevenir fallas prematuras desde el arranque de las bombas. Para asegurar lo anterior se puede realizar la siguiente rutina:

1. Verificar el cebado de la bomba.
2. Abrir válvulas de sellos para aquellas bombas que son enfriadas por fluido externo, o mantener cerradas las válvulas de sellos si es enfriada por el mismo fluido que impulsa.
3. Abrir completamente la válvula de succión.
4. En bombas de baja velocidad, la válvula de descarga debe abrirse antes de arrancar la bomba.
5. Abrir inmediatamente toda la válvula de sello cerrada después de arrancar la bomba.
6. Dejar escapar el aire por la válvula de purga (si existe) hasta eliminar las burbujas.
7. Si la válvula de descarga está cerrada, abrirla lentamente posterior al arranque.
8. Verificar si el fluido es descargado observando los manómetros de presión.
9. Si se percibe un sonido áspero, es probable que contenga aire, para eso se debe realizar nuevamente el cebado a la bomba.

En caso de poner en servicio una bomba que fue desarmada o estuvo detenida un tiempo prolongado se aconseja realizar las siguientes tareas:

- Verificar que el sentido de rotación de la bomba y motor lo hagan en la dirección correcta.

- Verificar el alineamiento de la bomba y motor de acuerdo a las especificaciones del fabricante.
- Verificar de forma manual que el rotor de la bomba gira libremente.
- Verificar después de un par de horas el alineamiento preferentemente en bombas que trabajen con fluido caliente.
- Verificar las conexiones eléctricas y el aislamiento de las bombas.
- Verificar fugas a través de empaques y sellos.

### 4.2.1. Mantenimiento e inspecciones diarias

El primer nivel de inspección de mantenimiento y las herramientas más básicas para dicho efecto son los sentidos que cada operador y mantenedor poseen. Es necesario utilizar la vista, el tacto y el oído para percibir problemas básicos en el funcionamiento diario de las bombas, de esa forma prevenir fallas como por ejemplo ruidos inusuales, fugas o alzas de temperatura.

Los operadores tienen las capacidades de realizar el mantenimiento e inspecciones básicas que son necesarias realizar diariamente para controlar el funcionamiento correcto de las bombas. A continuación, se señalan las tareas diarias que se requieren realizar:

- Verificar la presión en los manómetros de entrada y salida.
- Verificar fugas de los empaques.
- Verificar fugas de los sellos.
- Verificar la temperatura de los cojinetes.
- Verificar la alimentación eléctrica de la bomba.
- Verificar la temperatura del aire de descarga.

### 4.2.2. Mantenimiento e inspecciones semanales

Las bombas pueden presentar problemas que pueden ser detectados a tiempo rigiéndose de acuerdo a la programación realizada por el departamento encargado, evitando de esa manera aumentar el daño en las bombas. Para eso es importante complementar las inspecciones diarias con métodos cada vez más complejos. A continuación, se señalan las actividades de mantenimiento que deben realizarse para complementar las inspecciones diarias:

- Verificar fugas en conexiones o uniones de tuberías adyacentes.
- Verificar vibraciones del eje.

- Verificar vibraciones de los cojinetes.
- Verificar vibraciones en la carcasa de la bomba.

### 4.2.3. Mantenimiento e inspecciones mensuales

Realizar el mantenimiento adecuado de acuerdo a la programación que se establece, permite disminuir las fallas que pueden producirse en los equipos nuevos que son incorporados a sistema de trabajo. Es recomendable realizar las mantenciones preventivas con el fin de evitar al máximo las fallas "infantiles", de esa manera se implementan acciones mayores necesarias para complementar las tareas diarias y semanales de mantenimiento. A continuación, se señalan las acciones de mantenimiento mensuales:

- Realizar lubricación a los cojinetes.
- Verificar consumo de energía (consecuencia del desalineamiento).
- Verificar el torque de los pernos de sujeción.

### 4.2.4. Mantenimiento e inspecciones anuales

Las mantenciones mayores son necesarias para detectar discrepancias que a simple vista no pueden detectarse, esto se puede llevar a cabo utilizando mecanismos de inspección más detalladas, desarmando por completo el equipo o realizando cambio de elementos que son esenciales para el buen funcionamiento del equipo. A continuación, se nombran las tareas de mantención anuales:

- Desarme, limpieza e inspección interna.
- Cambiar sellos y anillos gastados.
- Verificar las conexiones eléctricas del motor.
- Verificar y cambiar rodamientos (si están gastados) del motor.

### 4.2.5. Diagnóstico de fallas y soluciones (troubleshooting) para bombas

El funcionamiento diario de las bombas debe ser monitoreado para detectar alguna anomalía en su operación normal de trabajo permitiendo de esa forma que realicen el trabajo para el cual fueron instaladas. Estas pueden presentar problemas los cuales deben ser analizados de manera rápida para así determinar la causa que provoca el mal funcionamiento o simplemente permitir que estas trabajen de manera continua. El

operador es el primero en detectar las fallas en los equipos del cual está encargado, de esa forma se plantea a continuación una serie de fallas que pueden producirse en la operación diaria de las bombas junto con las posibles soluciones para así permitir que sigan en funcionamiento.

| DIAGNOSTICO DE FALLAS Y SOLUCIONES PARA EQUIPO DE IMPULSIÓN DE AGUA | | |
|---|---|---|
| PROBLEMA | CAUSA | CORRECCIÓN |
| La bomba no entrega líquido | 1.- Va bomba no está cebada.<br>2.- Velocidad de bomba muy baja.<br>3.- Succión obstruida.<br>4.- Sentido de rotación equivoco. | 1.- Realizar el cebado de la bomba.<br>2.- Verificar el funcionamiento del motor.<br>3.- limpiar ducto de succión.<br>4.- Verificar el sentido de giro del motor. |
| Presión de descarga baja | 1.- Succión tapada.<br>2.- Falta cebado de bombas. | 2.- inspeccionar y limpiar succión.<br>2.- Realizar cebado a bombas. |
| Fuga por empaque de conexiones de tuberías | 1.- Empaque gastado.<br>2.- Ferretería de sujeción suelto. | 1.- Cambiar empaque gastado.<br>2.- Verificar apriete de las uniones. |
| Alta temperatura en rodamientos | 1.- Falta de lubricación.<br>2.- Desalineamiento.<br>3.- Aceite contaminado. | 1.- Añadir lubricante a rodamientos.<br>2.- Verificar alineamiento de motor y bomba.<br>3.- vaciar y limpiar el depósito de aceite, luego añadir aceite nueva. |
| Ruido excesivo en cojinetes | 1.- Desgaste de rodamientos | 1.- Realizar el cambio de rodamientos.<br>2.- Verificar alineamiento. |
| Ruido en interior de bomba | 1.- Cavitación. | 1.- Realizar el cebado a la bomba.<br>2.- Verificar fugas de aire (al persistir el ruido después del cebado). |
| Fugas en cuerpo de bomba | 1.- Sellos mecánicos gastados. | 1.- Reemplazar sellos dañados y gastados. |
| Vibraciones en bomba | 1.- Cojinetes y rodamientos gastados.<br>2.- Rotor de bomba dañado.<br>3.- Bomba y motor desalineados. | 1.- Cambiar cojinetes y rodamientos.<br>2.- Verificar daños en rotor y cambiar según corresponda.<br>3.- Realizar alineamiento. |
| Consumo alto de energía | 1.- Desalineación.<br>2.- Daños en eje o anillos.<br>3.- Cojinetes desgastados. | 1.- Realizar alineación.<br>2.- Cambiar eje o anillos gastados.<br>3.- Verificar temperatura de cojinetes y reemplazar si estos presentan alta temperatura. |

Fuente: Ficha técnica Calpeda y Manual de Calderas Selmec

Tabla 4-2. Diagnóstico de fallas y soluciones para Bomba centrífuga

### 4.2.6. Programación del mantenimiento a bombas de A.C.C. y A.C.S.

Para mantener en operación permanente las bombas de acuerdo a las exigencias solicitadas dentro de la operación de la sala de caldera, es ideal realizar una programación que permita ejecutar las actividades de mantenimiento en el tiempo adecuado aumentado de esa forma la vida útil y disminuyendo las fallas o problemas que se suscitan al no realizar el mantenimiento en el momento oportuno.

| PERIODICIDAD DE MANTENCIÓN | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| EQUIPO | ACCIONES | DIARIA | SEMANAL | ANUAL | PERSONAL |
| BOMBA | Verificar la presión en los manómetros de entrada y salida | x | | | O |
| | Verificar fugas de los empaques | x | | | O |
| | Verificar fugas de los sellos | x | | | O |
| | Verificar la temperatura de los cojinetes | x | | | O |
| | Verificar la alimentación eléctrica de la bomba | x | | | O |
| | Verificar la temperatura del aire de descarga | x | | | O |
| | Verificar fugas en conexiones o uniones de tuberías adyacentes | | x | | O |
| | Verificar vibraciones del eje | | x | | M |
| | Verificar vibraciones de los cojinetes | | x | | M |
| | Verificar vibraciones en la carcasa de la bomba | | x | | M |
| | Realizar lubricación a los cojinetes | | x | | M |
| | Verificar consumo de energía (desalineamiento) | | x | | M |
| | Verificar el torque de los pernos de sujeción | | x | | M |
| | Desarme, limpieza e inspección interna. | | | x | M |
| | Cambio de sellos y anillos gastados. | | | x | M |
| | Verificar las conexiones eléctricas del motor. | | | x | M |
| | Verificar y cambiar rodamientos del motor. | | | x | M |

M: Mecánico Combustión Interna

O: Operador de Caldera

## 4.3. MANTENIMIENTO PREVENTIVO A EQUIPO TRATAMIENTO DE AGUA

Es primordial mantener en un funcionamiento óptimo y sin problemas todo equipo que forme parte de un proceso de trabajo en donde es primordial evitar paradas o fallas imprevistas. Al dejar de funcionar un equipo o elemento produce una pérdida material, monetaria y de tiempo que influyen de manera directa en la producción.

Para evitar la ocurrencia de algún imprevisto se deben establecer medidas que disminuyan las probabilidades de fallas y maximizar la productividad del sistema. Para ello se deben establecer y programar acciones que eliminen las averías que puedan

producir alguna detención, considerando que se deben realizar paros necesarios que provoquen el menor impacto en el trabajo de tratamiento de agua.

El mantenimiento preventivo busca aumentar la capacidad de trabajo del equipo y disminuir los costos asociados a una avería innecesaria. Considerando los costos de mantenimiento como: gastos administrativos, mantenimiento, mano de obra, material y repuestos. Y este se puede desarrollar de dos formas: impidiendo que dejen de funcionar los equipos o mantenerlos en operación hasta que colapsen.

La planificación del mantenimiento que se propondrá para ser aplicado tiene una calendarización de acciones preventivas que se aplicaran a cada uno de los elementos y equipos que conforman la sala de calderas de la Base Aeronaval. Contarán a su vez con una ficha de mantenciones preventivas detallando las acciones a realizar y el tiempo que se debe emplear. Los equipos involucrados contarán con una bitácora que registrara las mantenciones y reparaciones que se les realizarán.

Todas las mantenciones tanto preventivas como correctivas deben ser solicitadas a través de una orden de trabajo que deben ser entregadas al jefe de departamento CATAN, el cual asignará el personal que realizará los trabajos, verificará el tiempo a emplear y los materiales e insumos a utilizar, posteriormente autorizando la realización de la mantención.

### 4.3.1. Mantenimiento e inspecciones diarias

Es importante detallar y realizar las tareas necesarias para mantener operativo el equipo evitando la ocurrencia de fallos o la no corrección de estos. A continuación, se detallarán todas las acciones o trabajos que deben programarse de manera diaria, donde el encargado del mantenimiento de la sala de calderas planteará las tareas a realizar y el tiempo que debe ser empleado para la realización de estas. Todas las rutinas realizadas y el tiempo requerido deben quedar registradas en la ficha de mantenimiento para ser entregada posteriormente al jefe del departamento para luego ser archivada.

- Comprobar que el controlador se encuentre con energía eléctrica y programada de forma correcta.
- Comprobar que las válvulas de regeneración estén abiertas.
- Comprobar que existe presión superior a 50 PSIg en el sistema tratamiento.
- Comprobar que la válvula de alimentación a caldera se encuentre abierta.
- Verificar que todo el circuito tenga ausencia de filtraciones.

### 4.3.2. Mantenimiento e inspecciones semanales

La organización y programación que realiza el departamento encargado del mantenimiento a los sistemas de la caldera deben responder a las necesidades y requerimientos de la Base Aeronaval, ya que deben mantener en un buen funcionamiento los equipos para así entregar un bienestar a todos los funcionarios que utilizan ACS. Por consiguiente, se establecen las tareas que deben realizarse de manera semanal para complementar los trabajos que se realizan de manera diaria:

- Verificar el nivel de salmuera del estanque, en caso que exista disminución de salmuera se debe rellenar.
- Realizar análisis de dureza del agua a la salida del intercambiador iónico.
- Limpieza de inyector y venturi de depósito de salmuera.
- Limpieza de filtro de estanque de resina y depósito de salmuera.

### 4.3.3. Mantenimiento e inspecciones anuales

Al cumplir una etapa de funcionamiento todo equipo puede presentar alguna deficiencia en su funcionamiento, por lo tanto, hay que implementar los métodos más adecuados para verificar el buen funcionamiento de estos. A continuación, se detallan las tareas a realizar de manera anual para complementar las inspecciones diarias y semanales que se realizan al equipo ablandador:

- Inspeccionar y limpiar estanque de resina.
- Inspeccionar y limpiar estanque de salmuera.
- Cambio de resina catiónica (verificar desgaste de la misma).
- Cambio de salmuera.
- Inspeccionar y cambiar malla de filtro del tubo de succión del estanque de salmuera.

### 4.3.4 Diagnóstico de fallas y soluciones (troubleshooting) para equipo tratamiento de agua

La operación diaria del sistema de tratamiento puede realizarse sin presentar falla alguna, sin embargo, debido al deterioro, anomalía en la alimentación eléctrica o problemas de fábrica (diseño) puede provocar la aparición de problemas en el

funcionamiento del equipo, los cuales pueden condicionar a un funcionamiento inadecuado o deficiente del sistema y también la detención del proceso normal de trabajo. Es por eso que se detalla a continuación una guía de problemas probables que pueden ocurrir en el funcionamiento diario, presentando a su vez las causas probables y la corrección de esas fallas. A través de esta herramienta se pretende mejorar la reacción ante las soluciones de fallas que se pueden producir en el sistema permitiendo así una verificación eficiente de todos los elementos involucrados en la falla del equipo.

| DIAGNOSTICO DE FALLAS Y SOLUCIONES PARA EQUIPO TRATAMIENTO DE AGUA | | |
|---|---|---|
| PROBLEMA | CAUSA | CORRECCIÓN |
| El ablandador no realiza la regeneración. | 1.- El equipo está apagado<br>2.- El tiempo de regeneración está mal establecido.<br>3.- El controlador está dañado. | 1.- Chequear la alimentación desde la fuente de poder y conexión del equipo.<br>2.- Reestablecer y reingresar el tiempo adecuado de regeneración.<br>3.- Inspeccionar o cambiar el controlador (si está dañado). |
| Equipo ablandador entrega agua dura. | 1.- La válvula by-pass se encuentra abierta.<br>2.- No hay sal en estanque de salmuera.<br>3.- El inyector se encuentra tapado.<br>4.- No llega agua suficiente al tanque de salmuera.<br>5.- Hay fugas en la tubería de alimentación. | 1.- Cerrar válvula de by-pass.<br>2.- Rellenar tanque de salmuera con sal sólida.<br>3.- Limpiar o cambiar inyector.<br>4.- Verificar el tiempo de reposición del tanque de salmuera.<br>5.- Verificar que no exista rotura en la tubería y el buen estado del O´ring. |
| No realiza la succión de la salmuera. | 1.- La tubería de alimentación de sal está tapada.<br>2.- La presión de entrada es demasiado baja.<br>3.- Hay fugas en la tubería hacia el estanque de sal.<br>4.- Inyector está dañado.<br>5.- Fugas dentro del cuerpo de la válvula. | 1.- Chequear la tubería.<br>2.- Aumentar la presión de entrada.<br>3.- Chequear la tubería.<br>4.- Cambiar inyector defectuoso.<br>5.- Verificar o reparar cuerpo de válvula. |
| Desborde del tanque de salmuera | 1.- Caudal de relleno no controlado.<br>2.- Fuga de aire de la línea de succión de salmuera al respiradero.<br>3.- Control de desagüe obstruido con resina u otra suciedad. | 1.- Retirar el control de salmuera para limpieza.<br>2.- Verificar todas las conexiones de la línea de succión.<br>3.- Limpiar el control de desagüe. |
| Fuga de agua dura después de la regeneración | 1.- Regeneración defectuosa.<br>2.- Fuga en la válvula de by-pass externa.<br>3.- O´ring del caño ascendente dañada. | 1.- Repetir la regeneración después de comprobar de que la dosis de sal es la correcta.<br>2.- Reemplazar la válvula by-pass.<br>3.- Reemplace O´ring dañado. |
| Disminución en la presión de agua | 1.- Tubería del intercambiador está bloqueada. | 1.- Limpiar tubería de ablandador. |

| | | |
|---|---|---|
| | 2.- El intercambiador iónico está dañado. | 2.- Limpiar la válvula de control. |
| La resina fluye hacia afuera de la tubería de descarga | 1.- Aire en el sistema.<br>2.- Filtro tapado. | 1.- Verificar si seca o no.<br>2.- Cambiar el filtro |
| El equipo se queda sin agua blanda entre una regeneración y otra | 1.- Regeneración defectuosa.<br>2.- Configuración incorrecta de la sal.<br>3.- Configuración incorrecta de dureza o capacidad.<br>4.- La dureza del agua ha aumentado. | 1.- Repita la regeneración y asegúrese de que se aplique la dosis de sal correcta.<br>2.- Establezca el control de sal en el nivel correcto.<br>3.- Configure los valores de dureza correctos.<br>4.- Cambie la configuración de dureza. |
| No aparece nada en la pantalla | 1.- La línea que conecta el panel de pantalla y el panel del controlador está dañada.<br>2.- El panel de la pantalla está dañado.<br>3.- El panel de control está dañado.<br>4.- Fallo en el suministro de energía. | 1.- Cambiar la línea de conexión.<br>2.- Cambiar el panel de la pantalla.<br>3.- Cambiar el panel principal de control.<br>4.- Verificar los cables y la alimentación principal. |

Fuente: Ficha Técnica Ablandador de agua COTACO

Tabla 4-3. Diagnóstico de fallas y soluciones para ablandador de agua

### 4.3.5. Programación del mantenimiento del equipo ablandador

Es necesario realizar una programación adecuada del mantenimiento y de los trabajos que se deben realizar, y a su vez proporcionar la información necesaria tanto a los mantenedores que realizaran el trabajo de inspeccionar los equipos como al logístico quien debe proporcionar los elementos y repuestos necesarios para llevar a cabo el trabajo.

Las tareas de mantenimiento se distribuyen de acuerdo a las capacidades que tiene el personal de mantenimiento para poder realizarlas de la forma correcta, es por eso que se dividen las tareas entre el operador y especialistas del departamento CATAN (Mecánico Combustión Interna y Electricista) para permitir un desarrollo del trabajo de forma eficiente y eficaz.

| PERIODICIDAD DE MANTENCIÓN | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| EQUIPO | ACCIONES | DIARIA | SEMANAL | ANUAL | PERSONAL |
| INTERCAMBIADOR IÓNICO | Verificar controlador con energía eléctrica y programada. | x | | | O |
| | Verificar válvula de regeneración abierta. | x | | | O |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | Verificar que presión sea superior a 50 PSIg | x | | | O |
| | Verificar válvula de alimentación a caldera abierta. | x | | | O |
| | Verificar ausencia de filtraciones en circuito de alimentación. | x | | | O |
| | Verificar nivel de salmuera. | | x | | O |
| | Realizar análisis de dureza. | | x | | M |
| | Limpieza de inyector y venturi de depósito de salmuera. | | x | | M |
| | Limpieza de filtro estanque de resina y depósito de salmuera. | | x | | M |
| | Limpieza e inspección a estanque de resina. | | | x | M |
| | Limpieza e inspección a estanque de salmuera. | | | x | M |
| | Cambio de resina catiónica. | | | x | M |
| | Cambio de salmuera. | | | x | M |
| | Inspección y cambio de filtro tipo malla de estanque salmuera. | | | x | M |

O: Operador de Caldera.

M: Mecánico Combustión Interna.

## 4.4. DOCUMENTACIÓN DE MANTENIMIENTO

- ✓ Informe de inspección: es necesario que cada rutina de inspección que se realiza detalle las acciones efectuadas y las discrepancias encontradas para que luego el supervisor pueda determinar si es necesario realizar acciones de mantenimiento correctivo o siga realizando su trabajo de forma normal.
- ✓ Informe de fallas: es un documento generado por el encargado del equipo y el supervisor, en el cual se debe describir la falla generada por el mecánico, detallando todos los síntomas para posteriormente sea el supervisor quien analice la falla, detalle las causas que originaron la falla y determine las acciones que se realizaran al equipo (acciones correctivas, externalización de trabajos o continuación de los trabajos del equipo).
- ✓ Orden de trabajo: este documento permite obtener un control del trabajo realizado al equipo, entrega la información necesaria al mecánico de las acciones que debe realizar, registrar la realización de las acciones de forma detallada de manera anexa al documento. Este será usado para retroalimentar al supervisor y jefe del departamento.
- ✓ Bitácora de mantenimiento: cada vez que se realice un trabajo de mantenimiento es necesario que sea registrado con el fin de tener el control de las acciones o trabajos que han sido realizados en el equipo por el mantenedor.

# CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Lo esencial para realizar un estudio de las condiciones de los equipos de un sistema, es conocer las características de trabajo optimo en las cuales se desarrollan sus actividades, de esa forma buscar los defectos que están produciendo falencias en el funcionamiento. Es importante detectar los problemas que se generan en los equipos y componentes, de esa forma desarrollar planes de mantenimiento adecuados para asegurar un óptimo desempeño evitando la ocurrencia de fallas imprevistas.

La condición de la sala de calderas y sus equipos se encuentran en un proceso de deterioro, siendo el factor preponderante la no realización del mantenimiento debido a una mala programación y planificación por parte del departamento, siendo en algunos casos postergados por la mala coordinación entre el departamento y la jefatura de la Base Aeronaval para no dejar de entregar el servicio al personal.

El tratamiento que debe realizarse al agua de alimentación de la caldera es importante y primordial para evitar que se produzcan incrustaciones en el interior de ella, la cual es una de las causas de la disminución de la eficiencia y vida útil de la caldera, en donde las capas producidas aminoran la transmisión de calor entre los tubos de gases y el agua contenido en su interior, afecta de igual manera a la seguridad de operador debido a que las incrustaciones producen un aumento de la temperatura en los tubos aumentando la posibilidad de explosiones.

El implementar las nuevas bombas de ACS permitirá disminuir el tiempo de distribución de agua caliente y la perdida de calor producto del estancamiento del agua al no recircular por el sistema de tuberías hacia la caldera, y de esa manera entregar un mayor bienestar y comodidad al personal. Las nuevas bombas de ACC permitirán aumentar en un 30% la distribución de vapor, lo cual generará una disminución del tiempo de intercambio de calor en el estanque de ACS, y también al implementar una bomba en paralelo a ésta eliminará la incertidumbre de tener una bomba en la línea defectuosa deteniendo la producción de ACS.

La planificación y programación del mantenimiento es la pieza fundamental en toda empresa que quiera evitar costos imprevistos por causa de fallas en sus equipos. Para eso se propone a la Base Aeronaval un plan de mantenimiento que se acomode al departamento CATAN teniendo en cuenta la cantidad de personal disponible y calificado para realizar las acciones que se describen en el *Capítulo 4* y los tiempos de mayor utilización de la caldera.

Se recomienda al departamento que cada vez realizado el mantenimiento a la caldera y sus equipos realicen una puesta en marcha de prueba de los sistemas, para

verificar los parámetros de funcionamiento y que cada componente opere de forma normal. De igual manera que se realicen los controles de mantenimiento a través de la bitácora de mantenimiento, de esa forma tendrán un control de la realización, el responsable de las tareas y el tiempo empleado, para utilizarlo como referencia en sus próximas mantenciones.

Cada vez que ocurra una falla en los equipos se recomienda que verifiquen las tablas de troubleshooting para asesorarse y que sirva de ayuda para detectar la falla de manera más rápida o para descartar algunas posibles causas que puedan producir algún defecto.

# BIBLIOGRAFÍA


Pizarro, F. (2016). Apuntes selección de bombas centrífugas, UTFSM.

Pizarro, F. (2016). Apuntes flujo de fluidos en tuberías, UTFSM.

Vitae, Revista (2012). Artículo técnico "Determinación de las pérdidas de energía en tuberías por fricción y accesorios", Colombia, U. de Antioquia.

Montt, R. (2006). Mecánica de fluidos 6ª edición.

Kohan, A. (2000). Manual de calderas, Volumen 1.

Ministerio de salud (2012), Reglamento de calderas, autoclaves y equipos que utilizan vapor de agua, Chile.

# ANEXOS

## ANEXO A: FORMATO INFORME DE INSPECCIÓN

**INFORME DE INSPECCIÓN**

| RUTINA DE INSPECCIÓN | DIARIA | SEMANAL | ANUAL |
|---|---|---|---|
| | ☐ | ☐ | ☐ |

A.- Descripción del trabajo realizado.

| |
|---|
| |
| |
| |
| |
| |
| |
| |
| |
| |

B.- Discrepancias encontradas.

| |
|---|
| |
| |
| |
| |
| |
| |
| |
| |
| |
| |

Turno_____ H/H_____ S/N componente_____ Fecha_____

_____ NOMBRE Y FIRMA ENCARGADO

_____ FIRMA SUPERVISOR

**ANEXO B: REVERSO INFORME DE INSPECCIÓN (TAREAS DE INSPECCIÓN A REALIZAR)**

Rutina de inspección DIARIA:

| COMPONENTE | ACCIONES |
|---|---|
| CALDERA | 1.- Inspeccione sellos y empaquetaduras por fugas. |
| | 2.- Inspeccione estructura y chimenea por fuga de gases. |
| | 3.- Inspeccione estructura y tuberías por fugas de vapor. |
| | 4.- Inspeccione circuito de agua de alimentación sin fugas. |
| | 5.- Inspeccione circuito de alimentación de combustible por fugas. |
| | 6.- Verificar forma y color de llama a través de mirilla. |
| | 7.- Verificar funcionamiento correcto de válvula de alivio de presión. |
| | 8.- Verificar correcta operación de válvula de purga. |
| | 9.- Verificar correcto funcionamiento de instrumento de presión y temperatura. |
| | 10.- Verificar funcionamiento de bombas ACC y ACS. |
| | 11.- Verificar estanque de ACS por fugas. |

Nota:

1. Utilizar los elementos de seguridad adecuados para evitar accidentes.
2. Tener precaución con la descarga de fluidos a alta temperatura.
3. Tener precaución con los equipos que trabajan con fluidos a altas temperaturas.

## ANEXO C: FORMATO INFORME DE FALLA

INFORME DE FALLA

| IDENTIFICACIÓN | | N° Informe: |
|---|---|---|
| Sistema fallado: | Fecha: | H/H Revisión: |
| Equipo afectado: | Horas equipo: | N° O.T.: |
| Componente afectado: | S/N equipo: | Fecha ultima falla: |
| DETALLE DE FALLA ENCONTRADA | | |
| | | |
| DETALLES DE CAUSAS PROBABLES | | |
| | | |
| ANÁLISIS DE CONSECUENCIAS | | |
| | | |
| POSIBLES SOLUCIONES | | |
| | | |
| OBSERVACIONES | | |
| | | |

NOTA 1: Verificar troubleshooting que corresponda.

NOTA 2: Incluir en observaciones el tiempo fuera de servicio del equipo.

| | |
|---|---|
| Firma | Firma |
| mecánico | Jefe departamento |

**ANEXO D: FORMATO ORDEN DE TRABAJO**

# ORDEN DE TRABAJO

N°

FECHA: TIEMPO UTILIZADO:

TIPO DE MANTENCIÓN:

PREVENTIVA CORRECTIVA

DIARIO SEMANAL ANUAL

**DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO:**

A.- Limpieza del depósito de sal.

1. Desconectar la línea de salmuera.
2. Desconectar el tubo del espadín en el depósito.
3. Limpiar el depósito con agua, enjuagándolo.
4. Volver a conectar la línea de salmuera.
5. Iniciar regeneración de forma manual para llenar estanque de salmuera con agua a nivel requerido.
6. Llenar el depósito de salmuera con sal baja en impurezas.

**OBSERVACIONES:**

## ANEXO E: REVERSO ORDEN DE TRABAJO (INSTRUCCIONES DE SEGURIDAD)

| PREVENCIÓN DE RIESGOS EN MANTENIMIENTO | |
|---|---|
| TIPOS DE RIEGOS | INSTRUCCIONES DE SEGURIDAD |
| RIESGOS MECÁNICOS | Utilizar guantes de protección |
| | Utilizar gafas protectoras |
| | Utilizar ropa de trabajo |
| | Utilizar zapatos de seguridad |
| | Utilizar protectores auditivos |
| RIESGOS QUÍMICOS | Utilizar mascaras para gases |
| | Utilizar guantes de nitrilo vinilo |
| | Realizar medición de gases |
| | Verificar ventilación en lugar cerrado |
| | Disponer de elementos extintores en caso de incendio |
| RIESGOS ELÉCTRICOS | Verificar puesta tierra de equipos |
| | Verificar condición de cables |
| | Evitar contacto con alto poder eléctrico |
| RIESGOS ERGONÓMICOS | Utilizar herramientas de forma adecuada |
| | Realizar trabajos en posiciones adecuadas |
| | Evitar esfuerzos altos de elevación |
| RIESGOS AMBIENTALES | Deposición de deshechos en lugares adecuados |
| | Clasificar y ordenar elementos contaminantes |
| | No conservar elementos inflamables en altas temperaturas |

## ANEXO F: FORMATO BITÁCORA DE MANTENIMIENTO

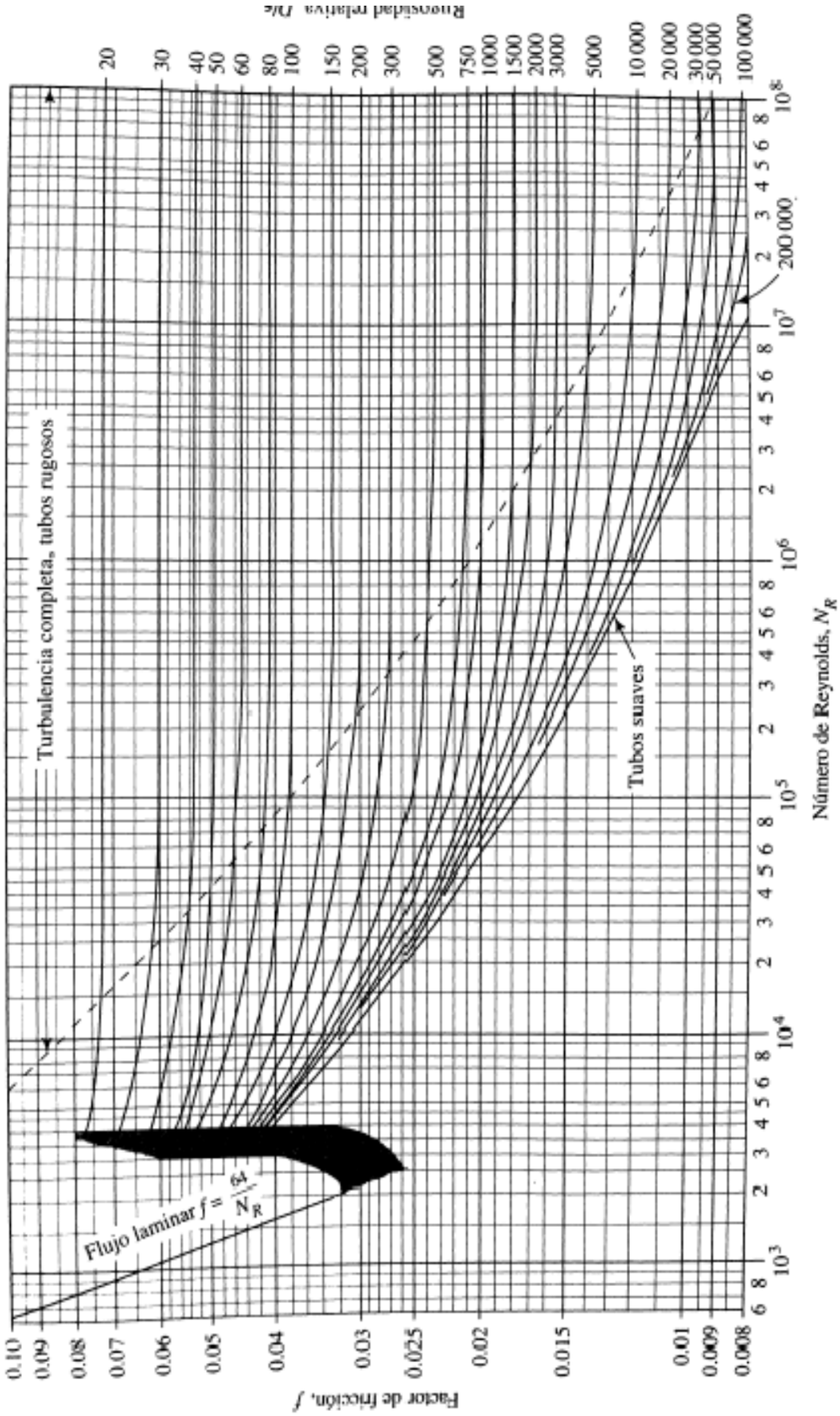
| BITACORA DE MANTENIMIENTO | | |
|---|---|---|
| *Equipo o componente:* | *Área:* | Departamento CATAN |
| *Marca:* | *Modelo:* | |
| *S/N:* | *Fecha:* | |

| N° O.T. | FECHA | TIPO DE MANTENIMIENTO REALIZADO | RESPONSABLE | H/H UTILIZADAS |
|---|---|---|---|---|
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |

FIRMA
MECÁNICO

FIRMA
JEFE DEPARTAMENTO

## ANEXO G: DIAGRAMA DE MOODY



## ANEXO H: TABLA DE LONGITUDES EQUIVALENTES DE AMPLIACIONES Y REDUCCIONES

| DIAMETRO NOM. (in) | (mm) | AMPLIACION A (in) | (mm) | LONG.EQUIV. (m) | REDUCCION A (in) | (mm) | LONG.EQUIV. (m) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1/2" | 15 | 3/4" | 20 | 0,18 | - | - | - |
| | | 1" | 25 | 0,37 | - | - | - |
| 3/4" | 20 | 1" | 25 | 0,18 | 1/2" | 15 | 0,15 |
| | | 1"1/2 | 40 | 0,50 | - | - | - |
| 1" | 25 | 1"1/2 | 40 | 0,37 | 1/2" | 15 | 0,21 |
| | | 2" | 50 | 0,67 | 3/4" | 20 | 0,18 |
| 1"1/2 | 40 | 2" | 50 | 0,40 | 3/4" | 20 | 0,20 |
| | | 3" | 80 | 1,16 | 1" | 25 | 0,27 |
| 2" | 50 | 3" | 80 | 0,82 | 1" | 25 | 0,40 |
| | | 4" | 100 | 1,52 | 1"1/2 | 40 | 0,40 |
| 3" | 80 | 4" | 100 | 0,91 | 1"1/2 | 40 | 0,73 |
| | | 5" | 125 | 1,40 | 2" | 50 | 0,70 |
| | | 6" | 150 | 2,43 | - | - | - |
| 4" | 100 | 5" | 125 | 1,00 | 2" | 50 | 0,98 |
| | | 6" | 150 | 1,22 | 3" | 80 | 0,91 |
| | | 8" | 200 | 3,65 | - | - | - |
| | | 10" | 250 | 4,57 | - | - | - |
| 5" | 125 | 6" | 150 | 0,67 | 3" | 80 | 1,50 |
| | | 8" | 200 | 2,80 | 4" | 100 | 1,20 |
| | | 10" | 250 | 4,27 | - | - | - |
| 6" | 150 | 8" | 200 | 2,13 | 3" | 80 | 1,50 |
| | | 10" | 250 | 4,27 | 4" | 100 | 1,20 |
| | | 12" | 300 | 5,79 | - | - | - |
| | | 14" | 350 | 6,71 | - | - | - |
| 8" | 200 | 10" | 250 | 1,83 | 4" | 100 | 2,13 |
| | | 12" | 300 | 4,27 | 6" | 150 | 2,13 |
| | | 14" | 350 | 6,71 | - | - | - |
| | | 16" | 400 | 8,23 | - | - | - |
| 10" | 250 | 12" | 300 | 1,98 | 4" | 100 | 2,44 |
| | | 14" | 350 | 4,57 | 6" | 150 | 2,90 |
| | | 16" | 400 | 7,00 | 8" | 200 | 1,83 |
| | | 18" | 450 | 9,14 | - | - | - |
| 12" | 300 | 14" | 350 | 1,83 | 6" | 150 | 3,66 |
| | | 16" | 400 | 4,37 | 8" | 200 | 3,66 |
| | | 18" | 450 | 7,00 | 10" | 250 | 1,98 |
| | | 20" | 500 | 9,14 | - | - | - |
| 14" | 350 | 16" | 400 | 2,13 | 6" | 150 | 4,27 |
| | | 18" | 450 | 4,37 | 8" | 200 | 4,27 |
| | | 20" | 500 | 6,40 | 10" | 250 | 3,96 |
| | | - | - | - | 12" | 300 | 1,83 |
| 16" | 400 | 18" | 450 | 1,22 | 8" | 200 | 5,18 |
| | | 20" | 500 | 3,96 | 10" | 250 | 5,18 |
| | | - | - | - | 12" | 300 | 4,57 |
| | | - | - | - | 14" | 350 | 2,13 |
| 18" | 450 | 20" | 500 | 1,52 | 10" | 250 | 5,79 |
| | | 24" | 600 | 7,62 | 12" | 300 | 5,79 |
| | | - | - | - | 14" | 350 | 4,57 |
| | | - | - | - | 16" | 400 | 1,22 |
| 20" | 500 | 24" | 600 | 3,66 | 12" | 300 | 7,00 |
| | | 30" | 750 | 5,13 | 14" | 350 | 7,00 |
| | | - | - | - | 16" | 400 | 3,96 |
| | | - | - | - | 18" | 450 | 1,52 |
| 24" | 600 | 30" | 750 | 2,59 | 18" | 450 | 7,62 |
| | | 36" | 900 | 8,22 | 20" | 500 | 3,66 |
| 30" | 750 | 36" | 900 | 2,13 | 20" | 500 | 6,00 |
| | | - | - | - | 24" | 600 | 4,75 |
| 36" | 900 | - | - | - | 24" | 600 | 7,43 |
| | | - | - | - | 30" | 750 | 5,00 |