

UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA
SEDE CONCEPCIÓN - REY BALDUINO DE BELGICA

DISEÑO DE PLAN DE MANTENIMIENTO PARA LA INSPECCIÓN DE
CALDERA PIROTUBULAR CLEAVER BROOKS CB 400-300

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

Alumno:

Sr. Gabriel Antonio Collante Soto

Profesor Guía:

Ing. Aldo Gabriel Fuentes Troncoso

2022

RESUMEN

Este trabajo de título propone como objetivo principal la confección de un plan de mantenimiento para una caldera pirotubular, de espalda mojada marca Cleaver Brooks, con un enfoque de mantenimiento de confiabilidad de operación y la realización de su procedimiento de mantenimiento.

Dentro del primer capítulo se desarrollan conceptos teóricos e históricos generales de lo que se entiende por mantenimiento, su cambio junto con el desarrollo de la industria, y la culminación actual de su evolución en diversas filosofías y métodos de mantención de equipos y sistemas. Este desarrollo es acompañado también por el análisis histórico y una descripción del mantenimiento utilizado por la industria aeronáutica, abarcando su progreso e impacto en su seguridad como industria de transporte. Adicionalmente se mencionan normativas y estándares nacionales e internacionales que aportan con la determinación del enfoque y empresa a dirigir la creación de un plan de mantenimiento centrado a la confiabilidad.

Una vez establecidos los cimientos teóricos, se avanza con la determinación del sector industrial y la empresa en específico para analizar dentro de sus diferentes procesos, las aplicaciones dadas a las calderas piro tubulares en tales procesos, que requieran una consideración especial en cuanto a su criticidad de funcionamiento y cumplimiento. De este análisis, se obtiene como resultado la elección de una caldera pirotubular Cleaver Brooks usada en la producción de vapor para tareas de esterilización, cocina y lavandería del hospital de Carabineros de la República de Chile.

Determinada la disyuntiva a mejorar, se procede con el estudio de los elementos y características a tener en cuenta para la confección del plan de mantenimiento, como lo son: su estructura, lenguaje y alcance. Una vez creado el documento, se continuó con la confección de las indicaciones de uso de este plan de mantenimiento, además de la explicación de los procesos y competencias profesionales requeridas para la confección de documentación de mantenimiento utilizando plataformas digitales.

Por último, se finaliza con las resoluciones obtenidas tras el análisis de las recomendaciones de la solución propuesta, el uso de la información registrada por medio de la solución creada, análisis del costo de diversos aspectos de implementación del plan de mantenimiento sugerido, y la reflexión sobre la modalidad de implementación dentro de la empresa escogida, dando énfasis al contexto de partida del trabajo de título y las posibilidades a futuro que se crean por medio de los métodos y recomendaciones desarrollados a los largo del trabajo de título.

INDICE

RESUMEN.....7

INDICE 8

INDICE DE FIGURAS.....11

INDICE DE TABLAS 14

SIGLA Y SIMBOLOGÍA.....15

INTRODUCCION 1

OBJETIVOS 2

 OBJETIVO GENERAL 2

 OBJETIVOS ESPECIFICOS.....2

CAPITULO 1: MARCO TEORICO.....3

 1.1. Evolución historica 4

 1.2. Industria actual 5

 1.3. Plan y programa de mantenimiento.....6

 1.4. Normativas asociadas 7

 1.4.1. Decreto supremo N° 48 (DS 48) 8

 1.4.2. Decreto supremo N° 10 (DS 10) 9

 1.5. Especificaciones asociadas.....9

 1.5.1. Convención de Chicago 9

 1.5.2. ATA iSpec 100/2100 11

 1.5.3. S1000D.....23

CAPITULO 2: SITUACION ACTUAL 25

 2.1. Empresa escogida 26

 2.1.1. Empresa pública prestadora de servicios de salud 26

 2.2. Linea/proceso de produccion.....29

 2.2.1. Esterilización.....29

 2.2.2. Lavandería, cocina y calefacción 30

 2.3. Equipo escogido a desarrollar 31

2.3.1.	Descripción del equipo.....	31
2.3.2.	Construcción, sistemas y componentes.....	33
2.3.3.	Sistemas de control	35
2.4.	Disyuntiva actual	41
2.4.1.	Departamento de mantenimiento	42
2.4.2.	Libro de vida	43
2.4.3.	Historial de incidentes/accidentes	44
CAPITULO 3: PROPUESTA DE MEJORA.....		46
3.1.	Tipos de mantenimiento	47
3.1.1.	Correctivo.....	47
3.1.2.	Preventivo	48
3.2.	Diseño del plan de mantenimiento predictivo	52
3.2.1.	Estructura básica del procedimiento del plan de mantenimiento.....	53
3.3.	Plan de mantenimiento predictivo propuesto	62
3.4.	Uso y control del plan de mantenimiento predictivo propuesto.....	76
3.4.1.	Uso del plan de mantenimiento propuesto por el mantenedor	76
3.4.2.	Uso del plan de mantenimiento completado por el supervisor	81
3.4.3.	Control del plan de mantenimiento propuesto	82
CAPITULO 4: EVALUACION ECONOMICA		83
4.1.	Valorización del plan de mantenimiento propuesto	84
4.1.1.	Creación y corrección técnica del procedimiento del plan de mantenimiento 84	
4.1.2.	Edición y corrección gramática del procedimiento del plan de mantenimiento.....	85
4.1.3.	Creación y corrección de ilustraciones técnicas del plan de mantenimiento 85	
4.1.4.	Softwares y herramientas asociadas para la creación y desarrollo del documento del plan de mantenimiento	88
4.1.5.	Máquinas para la creación y modificación del documento del plan de mantenimiento.....	91
4.2.	Análisis del valor asociado.....	92

4.2.1. Costo general asociado al plan de mantenimiento 92

Conclusiones 95

Recomendaciones.....97

BIBLIOGRAFÍA Y FUENTES DE LA INFORMACIÓN 98

INDICE DE FIGURAS

Figura 1-1: Firma de la convención de Chicago, 7 de diciembre 1944	11
Figura 1-2: Fragmento de un catálogo de parte de una aeronave	17
Figura 1-3: Ejemplo de materiales consumibles	18
Figura 1-4: Ejemplo de un manual de mantenimiento de motor (Engine Shop Manual) 19	
Figura 1-5: Ejemplo de un manual de mantenimiento de reparación estructural (Structural Repair Manual o SRM)	21
Figura 1-6: Ejemplo de un manual de herramientas y equipos o Tool and Equipment Manual 22	
Figura 1-7: Ejemplo de un manual de cableado o Wiring Manual	23
Figura 1-8: Estructura de la especificación S1000D	24
Figura 1-9: Representación del manejo de la especificación S1000D	24
Figura 2-1: Hospital de Carabineros, Av. Antonio Varas N° 2500, comuna de providencia, Santiago, Chile	27
Figura 2-2: Esterilización en una autoclave	30
Figura 2-3: Caldera pirotubular Cleaver Brooks 250-350 HP	31
Figura 2-4: Sección de caldera pirotubular Cleaver Brooks	32
Figura 2-5: Diagrama de funcionamiento de una caldera pirotubular	33
Figura 2-6: Componentes, medidores y sistemas generales de la caldera	34
Figura 2-7: Tren de gas de la caldera	35
Figura 2-8: Quemador y cajón de instalación con posición del amortiguador de aire..	35
Figura 2-9: Presostatos de control de presión	36
Figura 2-10: Válvulas de alivio de presión de la caldera	37
Figura 2-11: Controles de agua caliente de la caldera	38
Figura 2-12: Control de alimentación del tren de gas	39
Figura 2-13: Motor y leva moduladora de alimentación de gas	40
Figura 2-14: Funcionamiento y control de gas hacia quemador	40
Figura 2-15: Rejillas de protección y tránsito de las líneas de alimentación y purga de agua de la central térmica	41

Figura 2-16:	Varillas y levas del sistema de modulación de gas de la caldera	45
Figura 3-1:	Ejemplo de mantenimiento correctivo requerido	47
Figura 3-2:	Ejemplo de mantenimiento preventivo	49
Figura 3-3:	Ejemplo de una inspección estructural por mantenimiento de oportunidad 50	
Figura 3-4:	Ejemplo de mantenimiento de equipos eléctricos basado en monitoreo de condición 51	
Figura 3-5:	Ejemplo de una inspección usando partículas magnéticas.....	52
Figura 3-6:	Ejemplo de una ilustración en vista isométrica.....	59
Figura 3-7:	Ejemplo de una ilustración con corte y sección.	60
Figura 3-8:	Ejemplo de una ilustración en vista en explosión de un sistema.	61
Figura 3-9:	Ruta de Inspección General de Comienzo de Turno.....	64
Figura 3-10:	Árbol Principal de Distribución de Vapor.....	65
Figura 3-11:	Sistema de Control, Encendido, y Funcionamiento Automático de la Caldera 66	
Figura 3-12:	Varillas de Sistema de Control Automático de la Caldera	66
Figura 3-13:	Zona posterior de la Caldera de Vapor Cleaver Brooks.....	68
Figura 3-14:	Línea de Alimentación de Gas y Línea de Purga de la Caldera – Zona Posterior 69	
Figura 3-15:	Línea de Alimentación de Gas y Línea de Purga de la Caldera – Vista Frontal 70	
Figura 3-16:	Estanque de Alimentación Principal de la Central Térmica.....	71
Figura 3-17:	Estanque de Alimentación Principal de la Central Térmica.....	72
Figura 3-18:	Caldera de Uso Civil de la Central Térmica.....	73
Figura 3-19:	Línea de Purga y Línea de Salida de Vapor de la Caldera de Uso Civil	73
Figura 3-20:	Kit de Análisis de Purga	74
Figura 3-21:	Indicador Universal de pH del Kit de Análisis de Purga.....	75
Figura 3-22:	Ejemplo formato de orden de trabajo a utilizar en conjunto del plan de mantenimiento propuesto	77
Figura 3-23:	Ejemplo de registro físico realizado por el mantenedor del documento del plan de mantenimiento	80
Figura 4-1:	Proceso de creación de ilustraciones técnicas en formato 3-D	86

Figura 4-2: Proceso de creación de ilustraciones técnicas en formato 2-D 86

Figura 4-3: Software para el proceso de creación del documento del plan de mantenimiento.....88

INDICE DE TABLAS

Tabla 1-1: División de sistemas respecto al ATA 100 12

Tabla 1-2: 13

Tabla 1-3: División de estructuras al ATA 100..... 13

Tabla 1-4: 14

Tabla 1-5: División de estructuras al ATA 100..... 14

Tabla 1-6: Contenidos ordenados de acuerdo a actividad técnica 15

Tabla 2-1: Tabla de modelos de caldera Cleaver Brooks 33

Tabla 4-1: Valor asociado por cargo 87

Tabla 4-2: Valor asociado por software a utilizar 90

Tabla 4-3: Valor asociado por estación de trabajo 91

Tabla 4-4: Asociación de costos totales..... 93

SIGLA Y SIMBOLOGÍA

SIGLA

ACHS	:	Asociación Chilena de Seguridad
AMM	:	Aircraft Maintenance Manual (Manual de Mantenimiento de la Aeronave)
ATA	:	Air Transport Association (Asociación de Transporte Aéreo)
CMM	:	Component Maintenance Manual (Manual de Mantenimiento de Componentes)
CSDB	:	Common Source Data Base (Base de Datos de Origen Común)
END	:	Ensayo No Destructivo
ESPS	:	Emergency Solar Panel System (Sistema de Panel Solar de Emergencia)
HH	:	Horas Hombre
HP	:	Horse Power
ICAO	:	International Civil Aviation Organization (Organización Internacional de Aviación Civil)
IPC	:	Illustrated Parts Catalog (Catalogo de Partes Ilustrado)
MTBF	:	Meantime Before Failure (Tiempo Medio Entre Falla)
MTTR	:	Meantime to Repair (Tiempo Medio de Reparación)
MEL	:	Minimum Equipment List (Listado de Equipamiento Mínimo)
OMS	:	Onboard Maintenance Systems (Sistemas de Mantenimiento Abordo)
PDF	:	Portable Document Format (Formato Portátil de Documento)
PICAO	:	Provisional International Civil Aviation Organization (Organización Internacional Provisional de Aviación Civil)
RCM	:	Reliability Centered Maintenance (Mantenimiento Centrado a la Confiabilidad)
SAP	:	Systeme, Anwendungen und Produkte (Sistemas, Aplicaciones, y Productos)
SOAP	:	Spectrometric Oil Analysis Program (Programa de Análisis Espectrométrico de Aceite)
TPM	:	Total Productive Maintenance (Mantenimiento Total Productivo)
XML	:	Extensive Markup Language (Lenguaje de Marcado Extensivo)

SIMBOLOGÍA

XVIII	:	Numero Romano 18
°F	:	Grados Fahrenheit
°C	:	Grados Celsius
Kg	:	Kilogramo
cm	:	Centímetro
Kg/cm2	:	Presión Kilogramo por Centímetro Cuadrado
Ø	:	Diámetro
°	:	Grados

INTRODUCCION

El origen del tema a desarrollar en este trabajo de título se basa en las experiencias vividas relacionadas con la carrera técnica estudiada previamente, Técnico Universitario en Mantenimiento Aeronáutico, durante la práctica profesional en la industria del transporte aéreo y periodo laboral, en las cuales ocurre la realización y apreciación de las metodologías de tareas y labores técnicas para el mantenimiento aeronáutico, industria bastante compleja y avanzada tecnológicamente, que en contraste, presenta métodos y estándares en una manera sencilla, practica y fácil de comprender. Es esta dualidad en particular, el manejo de tareas y sistemas complejos por medio de métodos simples y lógicos es que invita a reflexionar sobre su implementación en otras áreas de la industria, que precisen un enfoque de seguridad operacional por sobre el de centrar los esfuerzos y procesos solo al aumento de producción, reducción de costos, e incrementar las utilidades de la empresa. Se propone la posibilidad de implementar, total o parcialmente, los estándares y metodologías técnicas de mantenimiento aeronáutico en otras industrias, sin afectar significativamente la capacidad de rentabilidad y sustentabilidad de la industria convencional.

Dicho lo anterior, este trabajo comienza con la revisión histórica del desarrollo de la modalidad de mantenimiento empleada en la industria aeronáutica, junto con el análisis del mantenimiento empleado dentro de otras empresas en la industria actual, con el objetivo de determinar una posible empresa y/o situación a mejorar candidata, para el planteamiento y proposición de un plan de mantenimiento con aspectos de enfoque a la confiabilidad similar a los utilizados en la aeronáutica.

Por último, realizar una descripción de los procesos requeridos para la confección de este procedimiento a proponer, asociando costos de implementación y de funcionamiento a largo plazo, con la posibilidad de analizar y determinar su implementación completa o parcial, como departamento establecido o trabajo puntual, para cualquier otro contexto y equipo que requiera una nueva mirada con respecto al mantenimiento a realizar.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- Diseñar un plan de mantenimiento basado en criterios de confiabilidad aeronáutica para equipo industrial crítico.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Analizar la composición de documentación técnica de mantenimiento y su estructura
- Analizar un caso real de mantenimiento de un equipo industrial crítico, que requiera un aumento en su confiabilidad
- Desarrollar plan de mantenimiento aplicado al caso identificado
- Elaborar estudio económico para plan de Mantenimiento desarrollado.

CAPITULO 1: MARCO TEORICO

1.1. EVOLUCIÓN HISTÓRICA

Para iniciar con el desarrollo y el cambio que ha tenido la disciplina del mantenimiento a lo largo de los años, primero se definirá el concepto como: Proceso, prácticas, y actividades que tienen como fin devolver a un equipo, sistema, o componente a una condición de funcionamiento determinable, tras la ocurrencia de una falla o incidente que cambiará el funcionamiento del equipo, sistema, o componente con respecto a su condición o funcionamiento de fábrica. Para fines de este trabajo, acotaremos al concepto de mantenimiento a: todas las actividades que incluyan limpieza, inspección, desarme, remoción, instalación, armado, reparación, modificación, almacenaje, puesta en marcha, y pruebas a equipos, sistemas, o componentes, que tengan como objetivo devolver la serviciabilidad a los equipos, sistemas, o componentes.

La historia del mantenimiento va de la mano con la historia de las distintas revoluciones industriales que han ocurrido a lo largo de los años, las cuales han generado las tecnologías que han requerido acciones para su puesta en marcha tras una falla o incidente. Como contexto, se definirá a la revolución industrial como el proceso de cambio de una economía agraria y artesanal hacia una dominada por la industrial y la fabricación mecánica, como también a los cambios tecnológicos que introdujeron nuevas formas de vivir y transformaciones profundas en la sociedad.

La primera revolución industrial inició en Gran Bretaña en el siglo XVIII, y se propagó a lo largo de Europa y el resto del mundo en las décadas siguientes. Este proceso incluyó el desarrollo de nuevos métodos químicos de producción, procesos de producción de hierro, el aumento del uso de energía de vapor y agua, desarrollo de herramientas mecánicas y el aumento del sistema de producción mecanizado. Todo esto dio como resultado un aumento en la producción de alimentación, habitacionales, salud y transporte, lo que, a su vez produjo un aumento sin precedentes en la población y condición de vida. Es debido a esto último lo que se le atribuye el aspecto socioeconómico y cultural a la revolución industrial.

En estos inicios de la revolución industrial, el mantenimiento era realizado por los mismos operarios que utilizaban estas maquinarias de producción, y solo en un rango limitado de actividades, ya que no existía personal dedicado única y exclusivamente para actividades de mantenimiento. Las tareas que normalmente se realizaban con respecto a mantenimiento se centraban en la reparación, instalación, arme y desarme de las maquinarias en la industria. Con la introducción de maquinaria cada vez más compleja y una demanda de producción en aumento, se vio la necesidad de crear un departamento dentro de la industria que velara por estas actividades necesarias para la producción dentro

de las fábricas. Se puede inferir que el mantenimiento en sus inicios, se limitó a solo corregir las fallas que detenían el funcionamiento y producción dentro de la industria.

Avanzando con el tiempo, llegando a la primera y segunda guerra mundial, comenzó a aparecer el concepto de fiabilidad en la industrial, el cual se define como la probabilidad de que el equipo siga funcionando dentro de los parámetros establecidos y la posibilidad de una falla y de que naturaleza sea esta, tras haber realizado tareas y actividades de mantenimiento al equipo. De esto nace la necesidad de que los departamentos establecidos de mantenimiento avancen con el aumento de tecnología y requerimiento de los equipos, creando un mantenimiento más centrado en prever las fallas y predecir el funcionamiento y degradación del estado físico del equipo. El RCM o mantenimiento centrado a la confiabilidad se comienza a consolidar, implementando distintos tipos de modelo e ideologías de mantenimiento.

Posteriormente, alrededor en los años 80, se trata de volver al inicio de la evolución del mantenimiento, introduciendo el concepto de mantenimiento productivo total o TPM, el cual consiste en devolverle atribuciones de mantenimiento al operador del equipo. Esto en un enfoque de optimizar tantos los recursos, como los tiempos de funcionamiento de los equipos en la industria, esto sin desvalorar el aspecto de confiabilidad de tanto las tareas a realizar para corregir o prever fallas del equipo, como la eficiencia del funcionamiento del mismo.

Actualmente se desarrolla la cuarta iteración de la revolución industrial que busca implementar sistemas digitales, softwares e incluso inteligencia artificial en el desarrollo de nuevas tecnologías de producción y control dentro de la industria. Es en este mismo aspecto el cual los departamentos de mantenimiento centran sus esfuerzos para utilizar estas innovaciones metodológicas para la comunicación con los otros departamentos de la industria y trabajar en conjunto, como lo son las soluciones SAP.

1.2. INDUSTRIA ACTUAL

Tras haber analizado la evolución histórica de la industria, avance tecnológico, y el desarrollo del mantenimiento y sus filosofías que nacieron para acompañar esta evolución tecnológica e industrial, se genera la necesidad de analizar el resultado del desarrollo a través de los años y considerar la actualidad de las diversas industrias presentes. Esta necesidad se crea a partir del contexto que se debe establecer, gracias al cual se desarrollará el resto del trabajo de título y lograr completar los objetivos propuestos en primera instancia.

Dentro de los diversos sistemas de producción y económicos que son utilizado hoy en día, se encuentran industrias específicas que contribuyen, en gran medida algunos, al desarrollo y funcionamiento constante de estos sistemas, los cuales a su vez emplean diversas maquinarias, equipos, y componentes que trabajan constantemente, y que requieren de las acciones de mantenimiento pertinente para el control de su desgaste, y su funcionamiento óptimo. Entre estas industrias están presentes las de agricultura, construcción, transporte, químicas, comunicación, energética, extracción y procesamiento de materias primas, las cuales se subdividen en sectores más especializados, pero no menos complejos en cuanto a su alcance, efectos con las demás industrias, y posibilidades de análisis para el desarrollo de nuevas ideas y soluciones en el ámbito del mantenimiento realizado o por realizar.

Sin embargo, y como se indica al comienzo de este punto, es necesario la disminución de este abanico de tecnología, funcionamiento, y diversidad, a un sector industrial que mejor exprese los requerimientos del desarrollo de una mirada nueva de filosofías de mantenimiento, y poder así establecer un punto de partida para la elaboración de un plan de mantenimiento que use los distintos conceptos, metodologías, y facultades a analizar a lo largo de este trabajo, ser aplicado en un caso real, con requerimientos y consecuencias prácticas, y considerar el proceso de creación de este plan de mantenimiento para su posterior aplicación en contexto o requerimientos similares.

Dicho esto, se determinará que la industria o sector que aportará de mejor manera con el contexto y requerimientos de desarrollo necesario, ha de ser el sector de la salud, especialmente el enfoque del uso de maquinarias y equipos para satisfacer las necesidades de energía, abastecimiento, control y seguridad. Mencionado lo anterior, se acortará aún más el abanico de equipos y sistemas, disponiendo como enfoque principal y final para el desarrollo del plan de mantenimiento que contempla este trabajo, los equipos de calderas y/o generadores de vapor de agua.

1.3. PLAN Y PROGRAMA DE MANTENIMIENTO

Un plan de mantenimiento se definirá como el documento que contiene las tareas técnicas e información técnica necesaria para corregir, devolver, y/o mantener la condición optima de funcionamiento de un equipo dentro de una empresa. La distinción que se hace entre el plan y programa de mantenimiento, es que un programa de mantenimiento ha de incluir varios documentos de planes de mantenimiento, que abarcan en la totalidad un equipo o selección de equipos similares, con la misma finalidad original que el plan de mantenimiento.

Dicho documento, además de incluir el procedimiento, prácticas y orden lógico de tareas técnicas de mantenimiento, incorpora información correspondiente a registro de actividades realizadas al equipo, información de intervalos de mantenimiento o la planificación de este, ni tampoco al alcance de la profundidad a abarcar con respecto a la totalidad o parcialidad de los sistemas o componentes del equipo.

Para efectos y alcances de este trabajo, se contextualiza a un plan de mantenimiento sobre el documento el cual exprese un procedimiento con el objetivo específico de la corrección, prueba, y/o retorno a servicio o bien la rutina de inspección y mantenimiento de un equipo de caldera o generador de vapor de agua. El alcance que ha de desarrollar el documento del plan de mantenimiento para los equipos de calderas o generadores de vapor a escoger, será analizado durante el capítulo de propuesta de solución, en el cual además se darán los contextos específicos de las filosofías de mantenimiento a tener presentes, como también el requerimiento específico que el documento del plan de mantenimiento a suplir será analizado y desarrollado en el capítulo de situación actual, más adelante en el presente documento. La delegación de los distintos desarrollos de objetivos y componentes del documento del plan de mantenimiento, se acredita con la posibilidad de obtener el resultado lógico más idóneo, al tener el análisis de estas mismas secciones anexas al contexto y material a desarrollar dentro de este trabajo de título.

1.4. NORMATIVAS ASOCIADAS

El organismo principal que establece las normativas bajo la jurisdicción de la República de Chile es el ministerio de salud, en particular la subsecretaría de salud pública, la cual se apoya de otras instituciones de seguridad como lo es la ACHS, para la distribución y notificación de actualizaciones, puntos importantes, y el acceso a dicha información de relevancia a través de portales web públicos.

La primera normativa dispuesta para la regulación de calderas y generadores de vapor es el decreto supremo N° 48, publicado el 12 de mayo de 1984. En este documento se establecen los primeros estándares sobre el alcance de tipos y características de funcionamiento de calderas a ser regularizadas, instituciones encargadas del control del cumplimiento de esta norma, definiciones generales, entre otros.

El 2 de marzo de 2012, se publica un nuevo decreto con el fin de actualizar el reglamento propuesto por el decreto supremo N° 48, derogándolo e integrando aspectos más específicos en materias de registro, operación, y ubicación física de calderas.

Por último, se encuentra el decreto supremo N° 49 promulgado el 12 de diciembre de 2017, el cual tiene la modificación pequeña, pero no menor, sobre el límite de tiempo

para la renovación de certificaciones de operadores con competencia indefinida. Este último decreto no será analizado en este trabajo en detalle, ya que la modificación que efectúa al decreto supremo 10, no tiene implicancia en el desarrollo de los objetivos de este trabajo de título.

1.4.1. Decreto supremo N° 48 (DS 48)

En este documento se establecen las primeras bases de regulación de calderas, estandarización de definiciones técnicas, parámetros de identificación de la caldera, condiciones de instalación de la caldera, condiciones de alimentación de agua y su instalación, accesorios, revisiones y pruebas, entre otros. A continuación, se analizará de manera resumida el contenido en específico de las materias tratadas en este reglamento, a lo largo de cada uno de sus artículos.

El reglamento comienza haciendo una distinción en el tipo de calderas afectas a ser controladas por el reglamento, tanto en su propósito o ubicación (locomotoras y embarcaciones), como en su desempeño medible (presión no mayor a 0.5 kg/cm^2).

Se continua luego con los parámetros a registrar para la individualización de las calderas y libro de vida de la caldera, el cual deberá contener información detallada sobre el funcionamiento, mantención, reparación y accidentes sufridos por el equipo.

Tras la mención de los parámetros de registro, se continua con las especificaciones generales para la instalación de calderas y generadores de vapor, con respecto a su relación con el espacio físico del establecimiento a ser instaladas, como también especificaciones sobre la calidad de agua de alimentación y las purgas de estas.

Posteriormente se encuentran las indicaciones para accesorios de las calderas, y componentes que emplean para la medición y seguridad del funcionamiento de estas, como lo son los manómetros, válvulas de seguridad, sistemas de alarma, y puertas de explosión.

Próximamente a lo anterior, se indican las especificaciones para revisiones y pruebas de seguridad a realizar, las cuales consisten en revisiones internas y externas, pruebas hidráulicas, pruebas con vapor, acumulación, y pruebas especiales.

Por último, el reglamento entrega normativas a cumplir por los operadores quienes ejecutan las revisiones y pruebas mencionadas anteriormente. Algunas de estas normativas contemplan el nivel de desarrollo profesional, experiencia en relación a actividades de fabricación, instalación, reparación u operación de generadores de vapor, y ser sometidos a exámenes de suficiencia de dicha experiencia y materias.

1.4.2. Decreto supremo N° 10 (DS 10)

Las modificaciones y actualizaciones que realiza el decreto supremo N° 10 son variadas y apuntan a lograr un reglamento con indicaciones más específicas en diversos puntos, como lo son el registro del libro de vida, instalaciones físicas donde se encuentra la caldera, componentes de funcionamiento y seguridad, y por último el grado de certificación de los operadores facultados.

Comenzando por el registro del libro de vida, se agregan las indicaciones del estado físico a ser mantenido y presentado, como también el idioma y modalidad de la información a ser expresada en este libro. Además de lo anterior, se indica el requerimiento del registro de información trazable sobre los mantenedores y parámetros de control de funcionamiento de calderas y generadores de vapor.

Posterior a esto, se encuentran las indicaciones sobre las instalaciones física donde se encuentre la caldera o generador de vapor, como lo son espacios libres requeridos entre la caldera y muralla o techo adyacente en todas sus direcciones, señalización de zonas de maniobras, puesta en marcha, y lugar de descanso y colación para los operadores.

Seguidamente de lo anterior, se extienden las indicaciones para nuevos dispositivos y componentes de seguridad, como lo son los detectores de llamas, termostatos, y presostatos, para finalmente concluir con la aclaración de la entidad estatal encargada de la certificación del personal facultado, y los plazos para cumplir con las nuevas exigencias de experiencia y estudios.

1.5. ESPECIFICACIONES ASOCIADAS

Para contextualizar la filosofía de la modalidad de mantenimiento y el manejo de material técnico para la realización y control de este, se analizará alguna de las especificaciones y estándares más relevantes en la industria aeronáutica que han surgido a lo largo de los años y su evolución histórica, en específico las especificaciones ATA iSpec 100/2100 y S1000D.

1.5.1. Convención de Chicago

Después de haber concluido la segunda guerra mundial, la aviación civil comenzó a resurgir gracias a los avances militares que se dieron lugar durante la guerra, con el objetivo de poder realizar viajes más largos, con mayor carga, y con un menor costo tanto operacional como de fabricación de las aeronaves. En ese entonces no existía una autoridad, reglamento, o rama del estado que velara por la seguridad operacional de los vuelos, estándares de mantenimiento y de operación, como así prácticas económicas

dentro del libre mercado que estaba surgiendo en esos años. El hecho que gatilla la creación de esta convención según algunos historiadores, fue el hecho del hallazgo de partes o componentes de aviones siniestrados instalados y siendo usados por el avión civil personal del presidente en ese entonces.

Conocida formalmente como la convención sobre aviación civil internacional (convention on international civil aviation), la convención de Chicago fue firmada el 7 de diciembre del año 1944 por 52 estados de Estados Unidos, completando su ratificación al tiempo después. De esta convención se formó la organización provisional de aviación civil internacional o PICAQ, la cual funcionó desde el 6 de junio del año 1945 hasta el 4 de abril de año 1947, el cual fue el año que recibió su última ratificación. El 4 de abril del mismo año se consolidó de forma definitiva la asociación internacional de aviación civil o ICAO, con el propósito de:

“Considerando que el desarrollo futuro de la aviación civil internacional puede ayudar en gran medida a crear y preservar la amistad y el entendimiento entre las naciones y los pueblos del mundo, sin embargo, su abuso puede convertirse en una amenaza para la seguridad general; y

Considerando que es deseable evitar fricciones y promover esa cooperación entre naciones y pueblos de la que depende la paz del mundo;

Por lo tanto, habiendo acordado los gobiernos abajo firmantes ciertos principios y arreglos para que la aviación civil internacional pueda desarrollarse de manera segura y ordenada y para que los servicios de transporte aéreo internacional puedan establecerse sobre la base de la igualdad de oportunidades y operarse de manera sólida y económica”.



Figura 1-1: Firma de la convención de Chicago, 7 de diciembre 1944

Fuente: <https://unitingaviation.com/history/>.

El resultado de esta convención fue la creación de una autoridad internacional que velara tanto de los estándares de mantenimiento, operación, y seguridad dentro de la industria, como también prácticas económicas, estándares para la sustentabilidad y el crecimiento del mercado de la aviación civil, teniendo como enfoque la aeronavegabilidad.

1.5.2. ATA iSpec 100/2100

A mediados de los años 1936 se fundó una asociación de transporte aéreo de Estados Unidos, conocidos en ese tiempo como ATA o Air Transport Association, la cual se conformaba por las empresas de transporte civil aéreo más grandes y exitosas en esos años. Esto para formar un ambiente económico regulatorio que asegure un sano y seguro servicio de transporte aéreo, y que permita un crecimiento de líneas aéreas americanas local, nacional, e internacionalmente.

Dentro de los primeros estándares publicados por esta asociación, se encuentra el ATA 100, el cual crea, estandariza, y ordena todos los sistemas, subsistemas, y componentes que se encuentran dentro de un avión, como así una manera de asociar dichos conceptos con un sistema de secciones, capítulos, y subcapítulos, los cuales deberán ser mantenidos

por todas las aerolíneas y empresas de fabricación de material técnico. Algunas de las secciones establecidas son las siguientes.

Tabla 1-1: División de sistemas respecto al ATA 100

ATA Number	ATA Chapter Name
ATA 20	STANDARD PRACTICES- AIRFRAME
ATA 21	AIR CONDITIONING
ATA 22	AUTO FLIGHT
ATA 23	COMMUNICATIONS
ATA 24	ELECTRICAL POWER
ATA 25	EQUIPMENT /FURNISHINGS
ATA 26	FIRE PROTECTION
ATA 27	FLIGHT CONTROLS
ATA 28	FUEL
ATA 29	HYDRAULIC POWER
ATA 30	ICE AND RAIN PROTECTION
ATA 31	INDICATING / RECORDING SYSTEM
ATA 32	LANDING GEAR
ATA 33	LIGHTS
ATA 34	NAVIGATION
ATA 35	OXYGEN
ATA 36	PNEUMATIC

ATA 37	VACUUM
ATA 38	WATER / WASTE
ATA 39	ELECTRICAL - ELECTRONIC PANELS AND MULTIPURPOSE COMPONENTS
ATA 40	MULTISYSTEM
ATA 41	WATER BALLAST
ATA 42	INTEGRATED MODULAR AVIONICS
ATA 43	EMERGENCY SOLAR PANEL SYSTEM (ESPS)
ATA 44	CABIN SYSTEMS
ATA 45	ONBOARD MAINTENANCE SYSTEMS (OMS)
ATA 46	INFORMATION SYSTEMS
ATA 47	INERT GAS SYSTEM
ATA 48	IN FLIGHT FUEL DISPENSING
ATA 49	(AIRBORNE) AUXILIARY POWER UNIT
ATA 50	CARGO AND ACCESSORY COMPARTMENTS

Fuente: <http://www.s-techent.com/ATA100.htm>.

Tabla 1-2:

Tabla 1-3: División de estructuras al ATA 100

ATA Number	ATA Chapter Name
ATA 51	STANDARD PRACTICES AND STRUCTURES - GENERAL
ATA 52	DOORS
ATA 53	FUSELAGE

ATA 54	NACELLES/PYLONS
ATA 55	STABILIZERS
ATA 56	WINDOWS
ATA 57	WINGS

Fuente: <http://www.s-techent.com/ATA100.htm>.

Tabla 1-4:

Tabla 1-5: División de estructuras al ATA 100

ATA Number	ATA Chapter Name
ATA 71	POWER PLANT
ATA 72	ENGINE
ATA 72	ENGINE - TURBINE/TURBOPROP, DUCTED FAN/UNDUCTED FAN
ATA 72	ENGINE - RECIPROCATING
ATA 73	ENGINE - FUEL AND CONTROL
ATA 74	IGNITION
ATA 75	BLEED AIR
ATA 76	ENGINE CONTROLS
ATA 77	ENGINE INDICATING
ATA 78	EXHAUST
ATA 79	OIL
ATA 80	STARTING
ATA 81	TURBINES (RECIPROCATING ENGINES)

ATA 82	WATER INJECTION
ATA 83	ACCESSORY GEAR BOX (ENGINE DRIVEN)
ATA 84	PROPULSION AUGMENTATION
ATA 85	FUEL CELL SYSTEMS

Fuente: <http://www.s-techent.com/ATA100.htm>.

De la misma manera en que el ATA 100 crea una estructura en la cual los distintos sistemas y componentes que utiliza un avión para ser organizada y referenciada como un estándar para la industria de fabricación de material técnico, el ATA 2200 entrega las definiciones de los distintos manuales que usaran esta información, una guía de estilo general para ser representada, y de esta manera crear un estándar para la información de ingeniería y mantenimiento técnica de los aviones. Alguno de los manuales definidos son los siguientes.

1.5.1.1.Aircraft maintenance manual (AMM)

Traducido al manual de mantenimiento general de la aeronave, es el manual con mayor información recopilada, y otorga procedimientos de mantenimiento para todas las tareas técnicas de todos los sistemas representados a través de la especificación ATA 100. Mediante el uso de esta especificación, el manual entrega la información organizada por complejidad, y de general a específica, toda la información necesaria para la realización del mantenimiento requerido por planificación de mantenimiento. Cabe indicar que cada una de estas secciones, se divide de acuerdo a la estructura de información de acuerdo a la actividad, asociado a esta también un numero de página dentro de la misma sección.

Tabla 1-6: *Contenidos ordenados de acuerdo a actividad técnica*

Subject	Page Block Number
Description and Operation	1-99
Fault Isolation	101-199
Maintenance Practices	201-299
Servicing	301-399

Removal and Installation	401-499
Adjustment and Test	501-599
Inspection and Check	601-699
Cleaning and Painting	701-799
Repairs	801-899

Fuente: Federal Aviation Administration joint aircraft system/component code table definitions.

1.5.1.2.Aircraft illustrated parts catalog (IPC)

Este documento corresponde al catálogo de partes ilustrado, el cual como dice su nombre, contiene una lista o catálogo de todos los componentes de todos los sistemas y subsistemas que usa la aeronave, esto ordenado también por la especificación ATA 100, con un número de serie o de parte asociado, junto también con un número específico dentro del manual, que, a su vez, asocia una ilustración de la parte a representar con la representación exacta dentro de la figura del sistema completo.

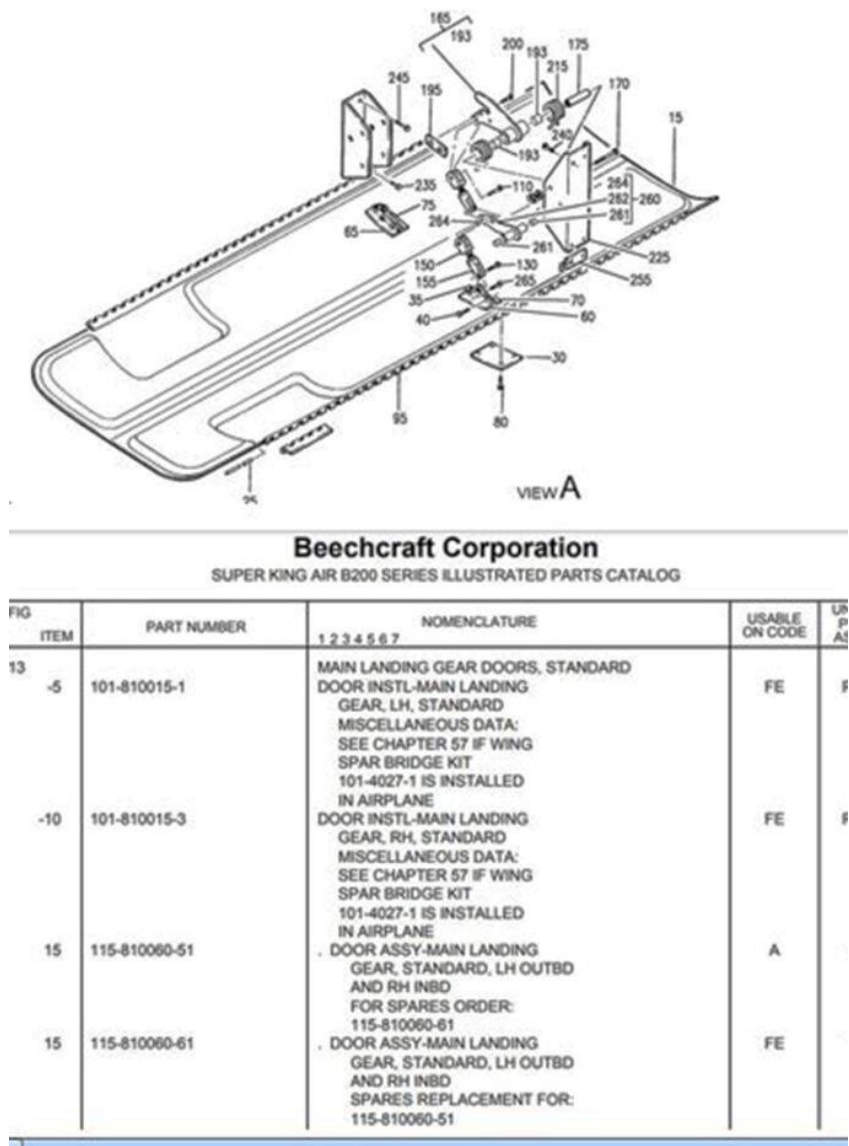


Figura 1-2: Fragmento de un catálogo de parte de una aeronave

Fuente: <https://www.flyingmag.com/how-well-do-you-know-aircraft-landing-gear/>.

1.5.1.3.Component maintenance manual (CMM)

Este documento entrega información técnica para la realización de tareas de mantenimiento con el enfoque específico a subsistemas simples y componentes que lo componen, usando de la misma manera una referencia a la especificación ATA 100.

1.5.1.4.Consumable products manual

Como lo dice su nombre, este documento contiene una lista más simplificada de todos los materiales a consumir para realizar las tareas de mantenimiento que indican los otros manuales, un ejemplo de estos materiales consumibles son aceites, lubricantes, líquidos de limpieza, químicos, etc.



Figura 1-3: Ejemplo de materiales consumibles

Fuente: <https://eriks.co.uk/en/products/industrial-mro-safety/maintenance-consumables/>.

1.5.1.5.Engine illustrated parts catalog

Dentro de las especificaciones que usa el ATA 2200 directamente desde el ATA 100, es la división del avión como sistema general, al motor como un sistema general separado a representar, en este caso, la lista de partes que componen los sistemas y subsistemas que usa el motor de una aeronave, junto con su número de serie y de parte asociado, y una ilustración que representa una ubicación física fácil de apreciar del sistema o subsistema, y el componente que lo constituye.

1.5.1.6.Engine (shop) manual

Similar a la división explicada anteriormente, este documento junta la información técnica de todas las tareas a realizar para el mantenimiento enfocado al motor como sistema general separado de la aeronave que lo utiliza. Este manual también usa la estructura indicada en la especificación ATA 2200, con los números específicos asociados a cada contenido indicado por la especificación ATA 100.

12

Cylinder head assemblies

Note: In the event of failure, valve recession reaching an unacceptable limit (see section 4, page 22 User's Handbook) or if the engine is undergoing a major overhaul. Service exchange cylinder heads will be supplied by your Perkins agent. The specialised equipment to recondition cylinder heads is only available at Perkins Engines.

To remove air cleaner, pipework, tec-jet, ISM unit, ignition wiring rail and sensor wiring rail

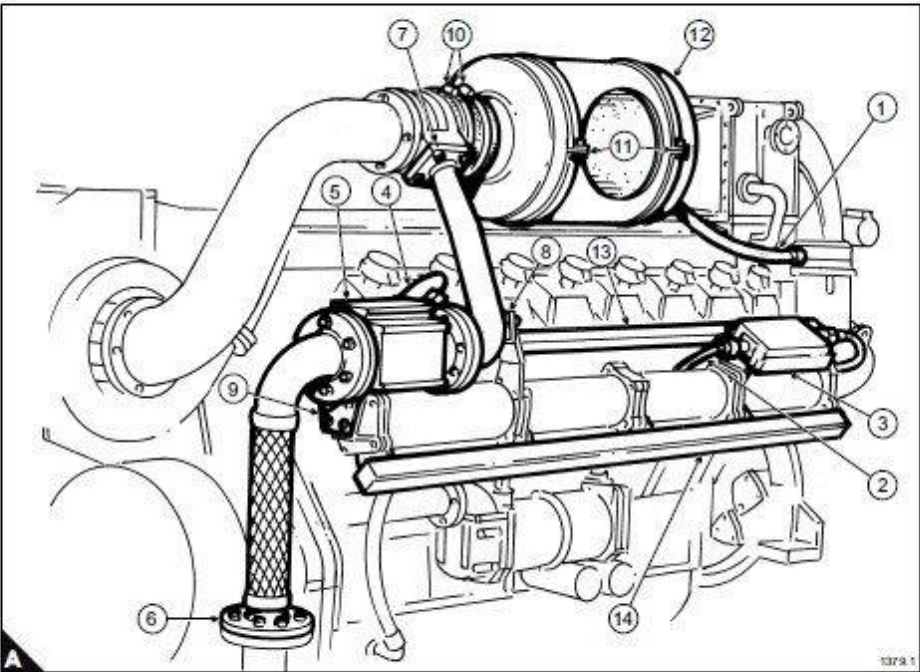
12-1

Warning! Turn off the gas and isolate the engine.

- 1 Disconnect the breather outlet pipe (A1) 'A' and 'B' bank.
- 2 Disconnect the two multi-pin plugs (A2) from the ISTM unit 'B' bank only.
- 3 Take out the mounting bracket bolts and remove the ITSM unit (A3).

- 4 Disconnect the multi-pin plug (bayonet type) (A4) from the tec-jet unit (A5).
- 5 Take out the retaining bolts (A6) from the bottom flange of the flexible gas feed pipe to the tec-jet.
- 6 Remove the retaining nuts (A7) from the tec-jet gas feed pipe.
- 7 Remove the retaining bolts (A8) from the gas feed pipe support bracket.
- 8 Remove the retaining bolts (A9) from the tec-jet support bracket, then lift the tec-jet off the engine.
- 9 Slacken the hose clips (A10) remove the retaining bolts (A11) then remove the air cleaner (A12) from its support bracket.

Continued



Perkins 4016-E61TRS, March 2000

Figura 1-4: Ejemplo de un manual de mantenimiento de motor (Engine Shop Manual)

Fuente: <https://www.epcatalogs.com/perkins-4016-e61trs-engine-workshop-manual-pdf/>.

1.5.1.7. Master minimum equipment list (MMEL o Master MEL)

Este documento se diferencia de los demás, en el sentido de que solo se compone de una lista de componentes, equipos, y sistemas mínimos requeridos en un estado servicial, para que la aeronave garantice una confiabilidad de funcionamiento o

aeronavegabilidad. Esto se relaciona con la naturaleza de sistemas, equipos, y sistemas redundantes que se encuentran presente en una aeronave. Este documento es entregado por el fabricante, relacionándose con la misma estructura y contenido indicado por las especificaciones ATA 2200 y 100, con un énfasis de ser la cantidad y rendimiento mínimo requerido para la garantizar a aeronavegabilidad de la aeronave, el cual puede alterarse de una manera más restrictiva, dependiendo del criterio de mantenimiento de la aerolínea.

1.5.1.8.Maintenance planning document

Este documento tiene la particularidad de entregar información de planificación y relación de uso de ciclos de vida, con una tarea de mantenimiento asociada al cumplimiento de dichos ciclos de vida o uso. Este documento también indica inspecciones generales a efectuar a los sistemas en general, tanto aeronave como motor, con respecto al cumplimiento de fechas y ciclos de vida asociados a estos sistemas generales. Cabe indicar que este documento no entrega la información técnica para realizar las tareas de mantenimiento, sino que la información de planificación que hacen referencia a los demás manuales que contienen la información técnica necesaria para el cumplimiento de estos mantenimientos.

1.5.1.9. ATA service bulletin & index

A medida que el fabricante diseña un producto para cumplir con ciertos requerimientos y parámetros de funcionamiento, estos componentes son probados en bancos de prueba para garantizar el rendimiento y ciclos de vida útiles de estos componentes. Esta es la información asociada que entregan los boletines de servicio de una manera más simplificada y expedita, centrada a componentes importantes o subsistemas. Dado que los manuales de mantenimiento y de información técnica en el mundo de la aviación están sometidos a una revisión cada cierta cantidad de meses, muchos fabricantes optan por entregar estos cambios de diseños, nuevos componentes, e indicaciones técnicas de cómo aplicar estos cambios al producto físico, en esta modalidad de documento acotado, respetando como los demás documentos, los estándares, estructura e indicaciones que proponen las especificaciones ATA 2200 y ATA 100.

1.5.1.10.Structural repair manual

Similarmente de cómo se genera la división como sistema general de aeronave con respecto a motor, también se hace una división de la información técnica de mantenimiento con respecto a la estructura de la aeronave y sujeciones del motor. Su contenido, lenguaje, y estructura en la cual representa la información técnica de las tareas

de mantenimiento, se acerca a lo indicado con respecto a las especificaciones ATA 2200 y 100, con un enfoque más centrado a como visualizar las secciones estructurales con desperfectos a reparar, esto como lo representa la siguiente figura:

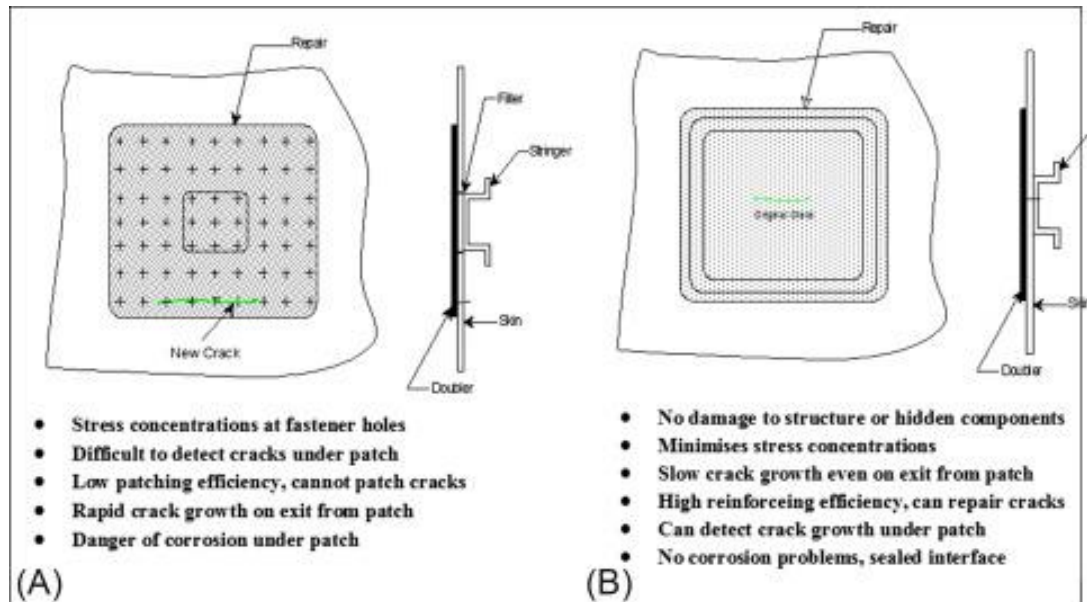


Figura 1-5: Ejemplo de un manual de mantenimiento de reparación estructural (Structural Repair Manual o SRM)

Fuente: Aircraft Sustainment and repair, Adhesively bonded repair/reinforcement of Metallic Airframe components.

1.5.1.11. System description section

Este es uno de los documento y secciones más interesantes dentro de todos los manuales técnicos de información de ingeniería de aeronaves, ya que entrega en un lenguaje simple y lógico, una descripción tanto de componentes y sistemas, su ubicación, normalmente asociado a una ilustración general, como también una descripción del funcionamiento de estos componentes y sistemas. Gracias a su contenido, este documento es un punto de partida muy importante para el entendimiento del sistema a mantener, como también el análisis de la estructura y especificación la cual la información técnica será entregada por los demás manuales.

1.5.1.12. Tool and equipment manual

Este documento se asemeja al manual de productos consumibles, con la diferencia de que esta entrega información con respecto a las herramientas y equipos a utilizar para la realización de las tareas de mantenimiento indicadas por los manuales de mantenimiento general. Este manual asocia varias herramientas con un número de serie y numero de parte, como en algunos casos también, una ilustración que representa la composición de estas herramientas y equipos.

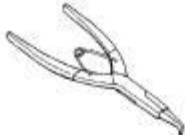
00900-06104 Snap ring remover (Open type) ❏(Page 5B-10)		00900-06107 Snap ring remover (Open type) ❏(Page 5B-17) / ❏(Page 5B-18) / ❏(Page 5B-20)	
00900-20102 Vernier calipers (200 mm) ❏(Page 5B-12) / ❏(Page 5B-12)		00900-20803 Thickness gauge ❏(Page 5B-12)	
00913-70210 Bearing installing set (10 – 75 Φ) ❏(Page 5B-5) / ❏(Page 5B-5) / ❏(Page 5B-5) / ❏(Page 5B-8) / ❏(Page 5B-8) / ❏(Page 5B-11) / ❏(Page 5B-21) / ❏(Page 5B-21)		00921-20210 Bearing remover (12 mm) ❏(Page 5B-20)	
00921-20240 Bearing remover set ❏(Page 5B-5)		00923-74511 Bearing remover ❏(Page 5B-4)	
00930-30104 Rotor remover sliding shaft ❏(Page 5B-4) / ❏(Page 5B-20)			

Figura 1-6: Ejemplo de un manual de herramientas y equipos o Tool and Equipment Manual

Fuente: https://www.suzukigsxr.org/special_tools_and_equipment-577.html.

1.5.1.13.Wiring manual

En este manual se constituye la información técnica de la conectividad y funcionamiento de sistemas y subsistemas entre ellos, con un enfoque de representación de diagramas eléctricos, separado de la misma estructura indicada por la especificación ATA 2200 y 100.

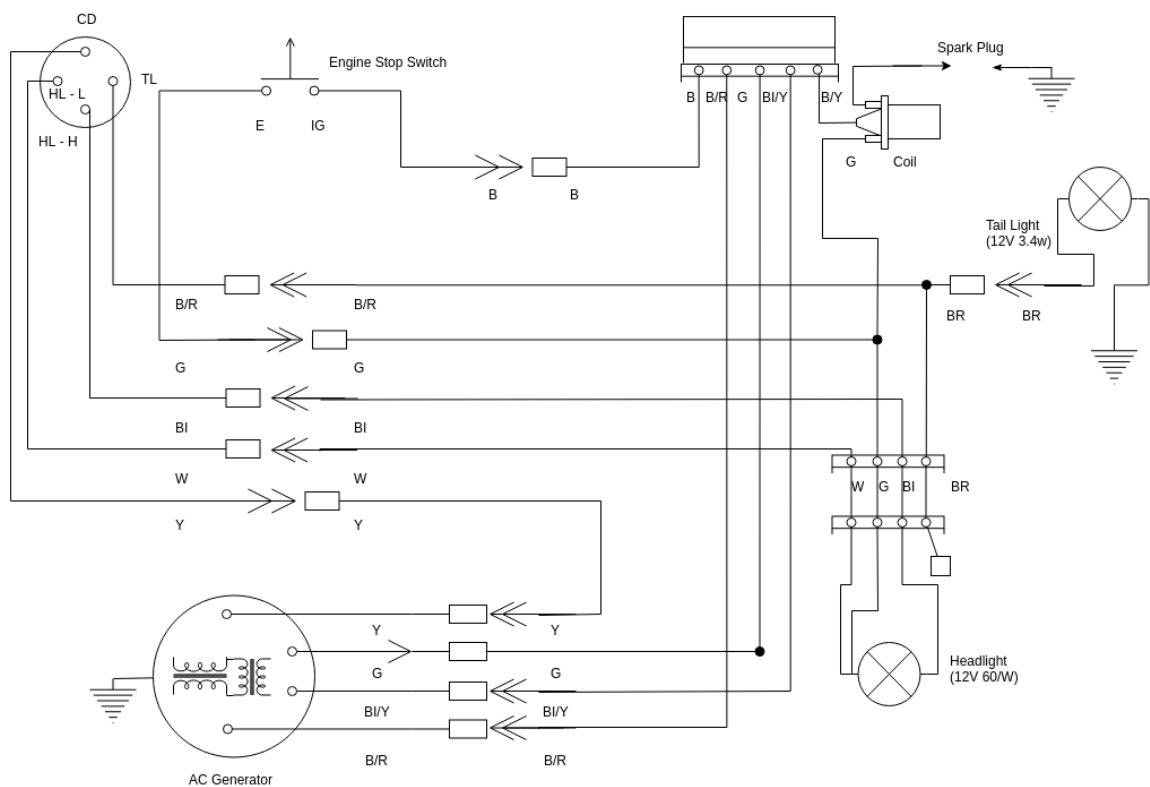


Figura 1-7: Ejemplo de un manual de cableado o Wiring Manual

Fuente: <https://online.visual-paradigm.com/es/diagrams/templates/wiring-diagram/>.

1.5.3. S1000D

La especificación S1000D se puede analizar simplemente como la modernización a través de sistemas de bases de datos, utilizando una filosofía similar creada por las especificaciones ATA, con respecto a su estructura, números de asociación, y lenguaje utilizado, para la representación de información técnica de ingeniería y de mantenimiento, con la diferencia de la implementación de módulos de información generales para las tareas de mantenimiento mediante el uso de una fuente en común de base de datos. Esta especificación se apoya también en la representación de un sistema en general para la creación, modificación y manejo de estos módulos de información técnica. Esto se puede apreciar dentro de las siguientes 2 figuras.

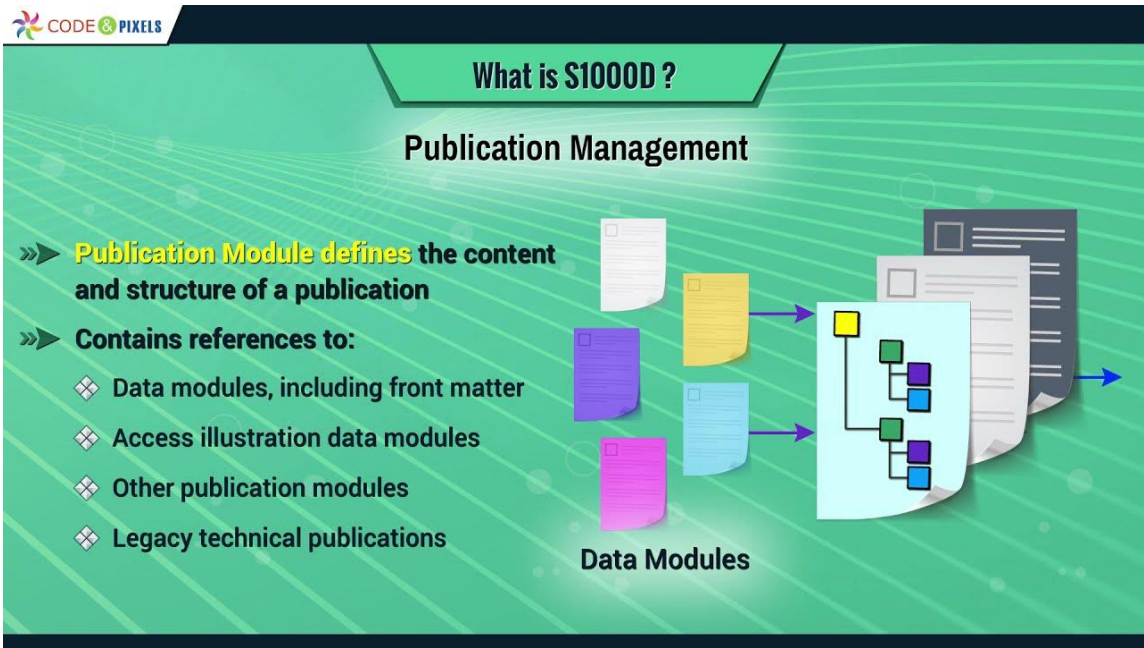


Figura 1-8: Estructura de la especificación S1000D

Fuente: <http://www.codeandpixels.net/blog/s1000d-infographics/>.

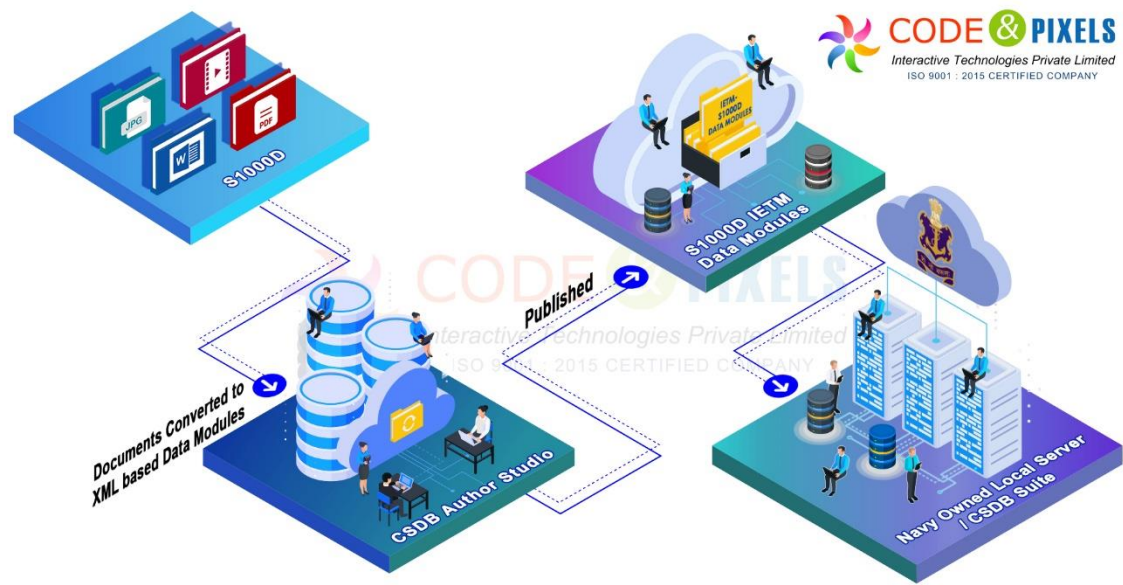


Figura 1-9: Representación del manejo de la especificación S1000D

Fuente: <http://www.codeandpixels.net/blog/s1000d-infographics/>.

CAPITULO 2: SITUACION ACTUAL

2.1. **EMPRESA ESCOGIDA**

Retomando lo indicado en el primer capítulo de este trabajo, se comienza la determinación de la empresa para el planteamiento y diseño del documento del plan de mantenimiento de este trabajo de título. Como se mencionó anteriormente, el enfoque que más se adecua al establecimiento de un contexto de un sector industrial que más se beneficie con el uso del enfoque de confiabilidad, para los procedimientos de mantenimiento a sus equipos, es el sector de salud, particularmente el uso de equipos de calderas y generadores de vapor de agua para los procedimientos de control de higiene, abastecimiento, energía, entre otros. Dicho lo anterior, se comenzará determinando la modalidad económica y social a la cual pertenecerá la empresa de prestación de servicios de salud, lo que se puede expresar en 2 divisiones generales y sencillas de comprender, empresas estatales o públicas, y empresas privadas.

Durante el primer capítulo, se analizó la implementación de la filosofía de mantenimiento de producción total, la cual indicaba el enfoque de orientar los esfuerzos de operación y mantenimiento, a lograr una continuidad de funcionamiento, y a su vez, de producción lo más constante y óptimo posible. Esto se relaciona directamente con la modalidad socio-económica en que la empresa se encuentra, ya que el enfoque de centrar los esfuerzos, procesos, prácticas, y entrenamiento al objetivo principal de continuidad y eficiencia producción, se presente con mayor frecuencia en empresas privadas.

Analizado lo anterior, se comprende que la empresa perteneciente al ámbito socio-económico estatal o público se acerca de mejor manera, a entregar el contexto necesario para el desarrollo de un plan de mantenimiento orientado a la confiabilidad de los procesos, prácticas y tareas técnicas, que garanticen al equipo la vuelta de servicio o la continuidad de este, por sobre la optimización de tiempos de producción y detenciones de funcionamiento por labores de mantenimiento.

2.1.1. **Empresa pública prestadora de servicios de salud**

Tras haber analizado en el punto anterior, el alcance y contexto de mantenimiento que suele estar presente más habitualmente en las empresas de rubro privado, se termina comprendiendo que tal enfoque con respecto al mantenimiento por realizar, y su relación con el objetivo de mantener la producción que realiza el equipo al máximo, y minimizar sus detenciones por mantenimiento tiene un conflicto directo con la idea principal del desarrollo del plan de mantenimiento de este trabajo, mantenimiento centrado en la confiabilidad por sobre la maximización de la producción y/o reducción de costo de esta. Es debido a esta determinación que se observa al otro espectro del rubro socio-económico hacia las empresas prestadores de servicios de salud pública, las cuales centran sus

esfuerzos de producción y mantenimiento a cumplir el objetivo determinado por un presupuesto facilitado por la administración estatal. Es este cambio de enfoque permitirá en mayor medida que en comparación a empresas privadas, en realizar una inversión y desarrollo necesario, en efectuar un estudio de las falencias actuales en torno a la relación producción-mantenimiento, y diseñar una solución con un plan de mantenimiento centrado a la confiabilidad del funcionamiento del equipo, sin degradar sus tiempos de producción. También indicar, que si bien, puede existir una situación de negación del uso de recursos dispuestos por el presupuesto, en el desarrollo de soluciones de confiabilidad, en amparo de la distribución de dicho presupuesto en otros sectores más directos o simples, sin embargo, para ciertas empresas públicas la confiabilidad de los procesos de producción y mantenimiento tiene ligaduras con leyes y normas penales que deben ser acatadas. Es este punto en particular en el cual se señala más específicamente la empresa candidata para el enfoque y contexto del desarrollo del plan de mantenimiento de este trabajo.

La empresa escogida para el estudio del contexto de mejora, diseño y creación del plan de mantenimiento para una caldera pirotubular, y su posterior implementación en el departamento de mantenimiento, ha de ser el hospital de carabineros de la República de Chile. Durante los siguientes puntos, analizaremos en resumen su historia y misión.



Figura 2-1: Hospital de Carabineros, Av. Antonio Varas N° 2500, comuna de Providencia, Santiago, Chile

Fuente: <https://www.adnradio.cl/nacional/2021/06/18/hospital-de-carabineros-realizo-descuentos-irregulares-a-efectivos-general-ricardo-yanez.html>.

2.1.1.1.Historia

Durante los primeros años de funcionamiento de Carabineros de Chile, existía la carencia de un hospital institucional para el tratamiento de uniformados por enfermedad o heridas recibidas tras procedimientos policiales, lo que significaba el aumento de tiempo de espera para ser atendidos en otros hospitales de beneficencia pública. También en la época, no era excepcional, la situación de tener que compartir las salas de los otros hospitales con individuos controlados en los mismos procedimientos policiales en los que resultaron lesionados en primer lugar.

Con el fin de remediar la precaria situación para la recuperación de la salud del personal uniformado, el general de brigada Aníbal Parada Pacheco, director general de Carabineros en ese entonces, obtuvo de la dirección del hospital Salvador la cesión de la sala San José en diciembre de 1927, la que contaba con 28 camas y 2 pensionados para el tratamiento y hospitalización exclusiva del personal de carabineros. El General Agustín Moreno Ladrón de Guevara, un director general posterior, trató de concebir un proyecto más ambicioso en agosto del 1929, que consistía en el nombramiento de una comisión de 2 médicos y 2 arquitectos, para la creación de un presupuesto de tasa de edificios y terrenos para la posible habilitación como hospital de carabineros. Esta iniciativa no prosperó.

Tras la expulsión de personal herido desde los establecimientos donde se encontraban hospitalizados debido a la renuncia de la presidencia de la república del general Carlos Ibáñez en 1932, el general director Humberto Arriagada Valdivieso comenzó la creación del hospital disponiendo una erogación permanente a favor de este, para todo el personal de la institución, correspondiendo a un día de sueldo, descontado cada año en 2 parcialidades.

El costo de la creación del hospital, su instrumental y equipamiento, fue sostenido gracias a lo recaudado por la erogación y una colecta pública nacional realizada el 2 de noviembre de 1933, autorizada por el gobierno del presidente Arturo Alessandri Palma, junto con el traspaso de un terreno de 26.700 metros cuadrados desde el ministerio de educación al ministerio del interior.

El hospital fue finalmente inaugurado el 27 de abril de 1945 tras muchas dificultades en su construcción, por el presidente de la república Juan Antonio Ríos y el ex presidente Arturo Alessandri.

2.1.1.2.Misión

“La Misión del Hospital de Carabineros del General Humberto Arriagada”, como principal prestador dentro del sistema institucional, es lograr un nivel de resolución de patologías equivalente a un Hospital de Alta Complejidad; asegurando el acceso, calidad y oportunidad de la atención de todos sus beneficiarios.

2.2. LINEA/PROCESO DE PRODUCCION

Dentro de los muchos procesos complejos que toman lugar dentro de un hospital, se analizarán solo aquellos procesos y líneas de producción en los cuales exista la presencia de una caldera pirotubular. Estos procesos, a pesar de no ser numerosos, juegan un papel importante y crítico para la realización de las distintas prestaciones y servicios de salud del hospital, llegando al nivel de imprescindible si se toma en cuenta la posible pérdida o degradación de la integridad física y vida de los pacientes atendidos. El análisis de estos procesos dentro de los siguientes puntos, aportará el contexto de criticidad requerido para el desarrollo de un plan de mantenimiento centrado a la confiabilidad del mantenimiento y funcionamiento de la caldera pirotubular.

2.2.1. Esterilización

El primer proceso que se analizará, y el más indispensable para la realización de los diversos servicios de salud entregados en el hospital, es el de la esterilización de contenedores, herramientas, e indumentaria usada dentro de dichos servicios. Los equipos utilizados para la esterilización se denominan autoclaves, los cuales emplean vapor suministrado por la central térmica. Dada la cantidad y volumen de elementos usados, y requeridos a ser esterilizados, se favorece el uso de autoclaves a vapor, que permiten un ciclo de proceso mayor al producido por autoclaves de menor tamaño que usan electricidad para la generación de calor.

El proceso de esterilización mediante el uso de autoclaves se conforma con 5 factores generales, los cuales consisten en tiempo y/o ciclos, temperatura, presión, humedad, y eliminación de aire/secado. En términos generales, dichos factores son calculados por tablas anexas al uso de la autoclave, dependiendo del tipo del vapor dispuesto, capacidades de la autoclave, y tipo de esterilización a realizar.



Figura 2-2: Esterilización en una autoclave

Fuente: <https://equipos-biomedicos.com.mx/tipos-de-esterilizadores-a-vapor/>.

2.2.2. Lavandería, cocina y calefacción

Los siguientes procesos a considerar no presentan una criticidad directa, sin embargo, no dejan de ser importantes para el funcionamiento del hospital como organización. El proceso de desinfección de la vestimenta de pacientes y personal del hospital requiere un enfoque similar al usado para la esterilización de contenedores, herramientas, e indumentaria en grandes cantidades, utilizando también la entrega de vapor predispuesta por las calderas en la central térmica del hospital. Relacionándose directamente con lo mencionado anteriormente, se presenta además la necesidad de la producción de alimentos y comidas para tanto el personal y los pacientes del hospital, el cual logra satisfacer, mediante el uso de marmitas, recipientes industriales para el calentamiento, cocción, mezcla y almacenamiento de alimentos.

Por último, indicar el uso del vapor suministrado por la central térmica, en la calefacción de habitaciones del hospital y establecimientos de uso civil cercanos al hospital. El vapor generado por las calderas principales dentro de la central es enviado a través de redes a lo largo de toda la edificación, pasando por reductores de presión y entrando en radiadores de vapor que transforma la energía calórica del vapor de agua, emitiendo calor y devolviendo el agua condensada a la red de salida del sistema.

2.3. EQUIPO ESCOGIDO A DESARROLLAR

Dentro del establecimiento del Hospital de Carabineros, se encuentra la central térmica ubicada en la zona posterior noreste, la cual, a su vez, es la dependencia que da lugar a los equipos de producción y control del vapor suministrados para distintas ramas y procesos del hospital. Al interior de esta central se hallan varios elementos que participan en la creación del vapor suministrado, como son: 2 calderas pirotubulares Cleaver Brooks, un estanque de alimentación principal, caldera menor de uso civil, dependencias del departamento de mantenimiento de la central, y un taller de reparación y mantenimiento menor. Ambas calderas de modelos y años de fabricación distinta, funcionan en ciclos de turnos de 12 horas cronológicas.

Para el desarrollo del plan de mantenimiento de este trabajo, se seleccionará la caldera pirotubular Cleaver Brooks, modelo CB 400-300.

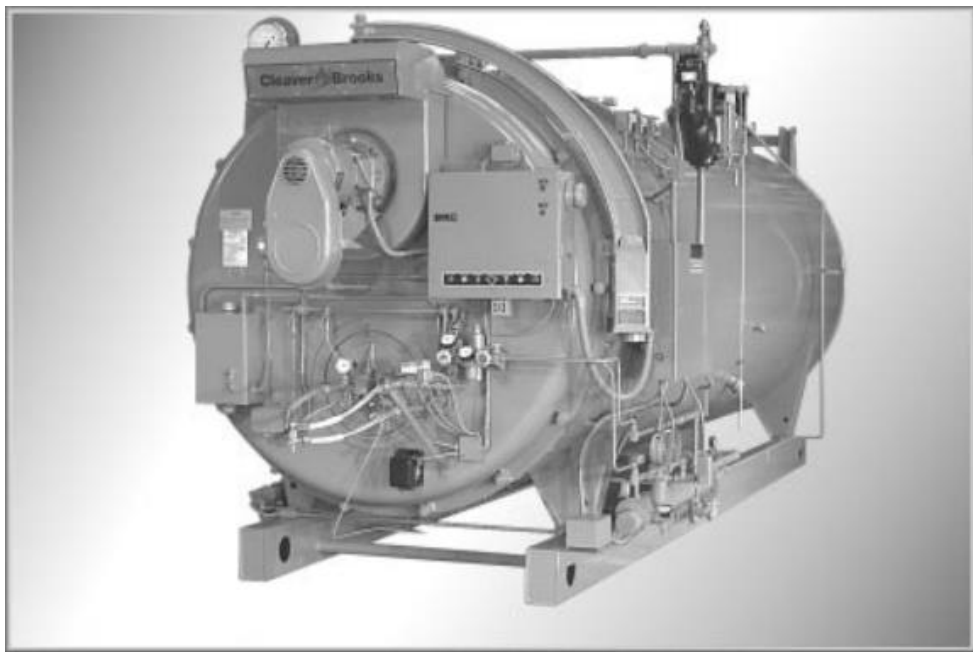


Figura 2-3: Caldera pirotubular Cleaver Brooks 250-350 HP

Fuente: Cleaver-Brooks model CB, CB LE packaged boiler Operation, service and part manual.

2.3.1. Descripción del equipo

Las calderas pirotubulares se componen de un contenedor cilíndrico, usualmente en la posición horizontal, con tubos internos que se extienden a lo largo del contenedor y se conectan a través de láminas en la zona frontal y posterior. El agua suministrada por el estanque de alimentación principal, impulsada por el uso de bombas, se establece alrededor de varias pasadas de los tubos internos, absorbiendo la energía generada por la llama del quemador. La creación de la llama principal por el quemador, además produce

gases de combustión que viajan debajo y a través de los canales pirotubulares. La compuerta frontal y posterior de la caldera ayuda también a sellar y redirigir estos gases a los pasajes de los tubos a lo largo de sus recorridos. Esto ayuda a transferir la energía de estos gases, los cuales, junto a la energía entregada por la llama del quemador, genera el vapor o agua caliente requerida por la central. El vapores y humos de combustión generados por este proceso son evacuados por la chimenea principal en la parte superior de la caldera, llegando al colector principal para su posterior distribución al edificio. Este funcionamiento se describe gráficamente dentro de las siguientes 2 figuras.

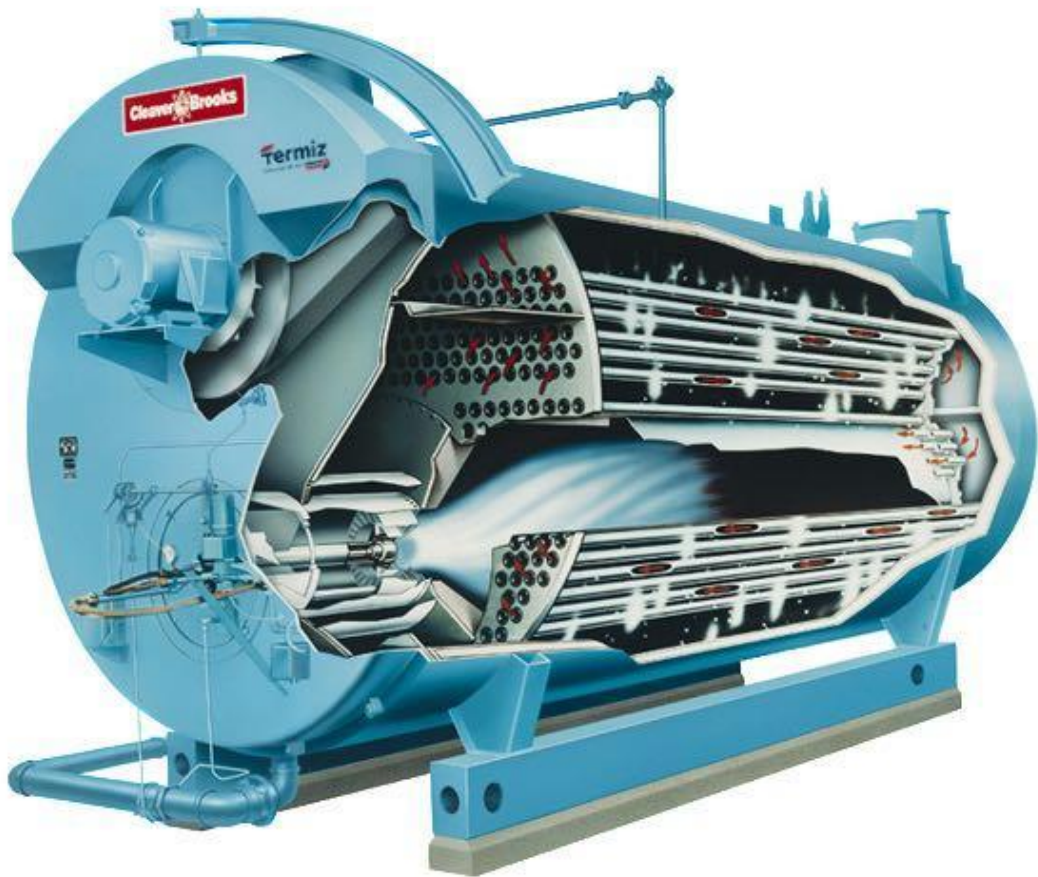


Figura 2-4: Sección de caldera pirotubular Cleaver Brooks

Fuente: <https://docplayer.es/92686238-Catalogo-de-refacciones-para-calderas.html>

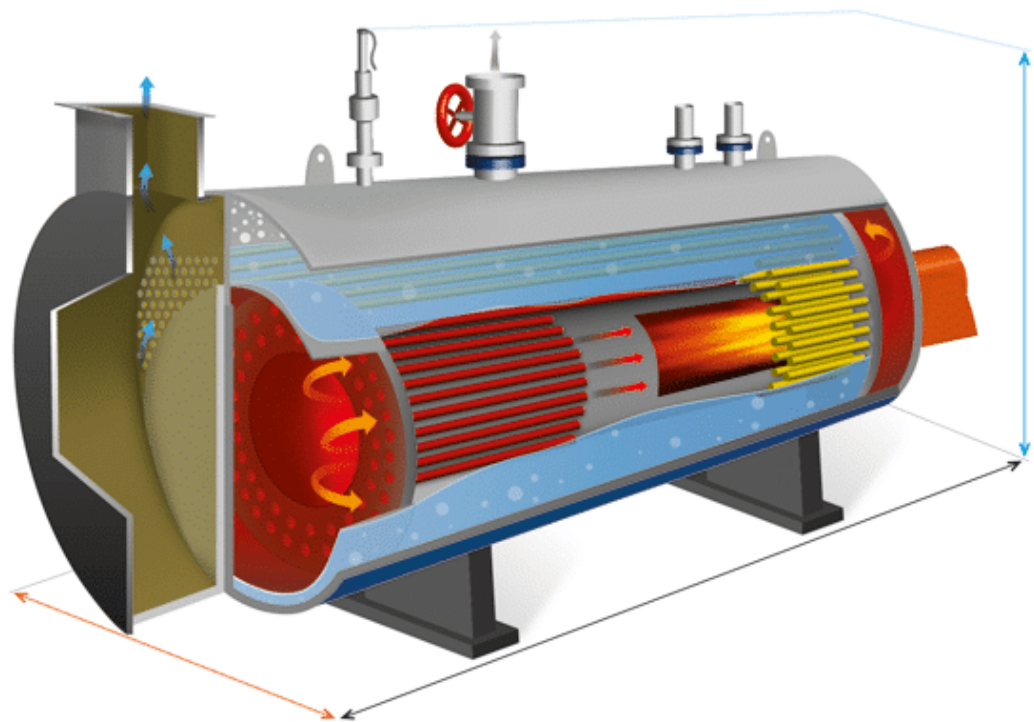


Figura 2-5: Diagrama de funcionamiento de una caldera pirotubular

Fuente: <https://www.babcock-wanson.com/es/productos/calderas-de-vapor-industriales/bwd/>.

2.3.2. Construcción, sistemas y componentes

El modelo CB de calderas pirotubulares Cleaver Brooks está construida con un contenedor de presión de acero soldado de tubos empaquetados, y consiste además del contenedor, en un quemador, controles del quemador, ventilador de tiro forzado, bomba de aire, refractor y los sistemas de ajuste de caldera. Para la indicación de la alimentación de combustible y capacidad de la caldera, se lee su código de modelo con la siguiente tabla, en donde los primeros dígitos indican su alimentación de combustible, y los siguientes dígitos después del guion indican la capacidad en caballos de fuerza. Determinándose así que la caldera CB 400-300, es una caldera con alimentación a gas o petróleo, con una potencia de 300 HP.

Tabla 2-1: Tabla de modelos de caldera Cleaver Brooks

Serie	Alimentación
100	Light Oil
200	Light Oil or Gas
400	Heavy Oil or Gas
600	Heavy Oil Only
700	Gas Only

Fuente: Cleaver-Brooks model CB, CB LE packaged boiler Operation, service and part manual.

Una vez analizado la construcción y capacidad general de la caldera escogida, se examinarán los principales sistemas de funcionamiento, sistemas de control, y sus componentes para comprender y determinar un enfoque específico o particular en el desarrollo del documento del plan de mantenimiento de este trabajo. Estos sistemas y componentes son numerosos y variados en su complejidad y alcance, para lo cual se comenzará con una representación visual de la mayoría de componentes distribuidos por zonas puntuales de la caldera, como lo son la mayoría de control y accionamiento de funcionamiento en la zona frontal, alimentación y tren de gas en la zona inferior derecha, alimentación y entrega de agua/vapor en la zona superior, y control de seguridad de funcionamiento de la caldera y subsistemas, ubicados en la zona media y superior derecha. El quemador y su cajón de instalación se encuentran ubicados en la zona central inferior de la tapa frontal de caldera, detrás de las conexiones flexibles y controles de llama de la caldera.

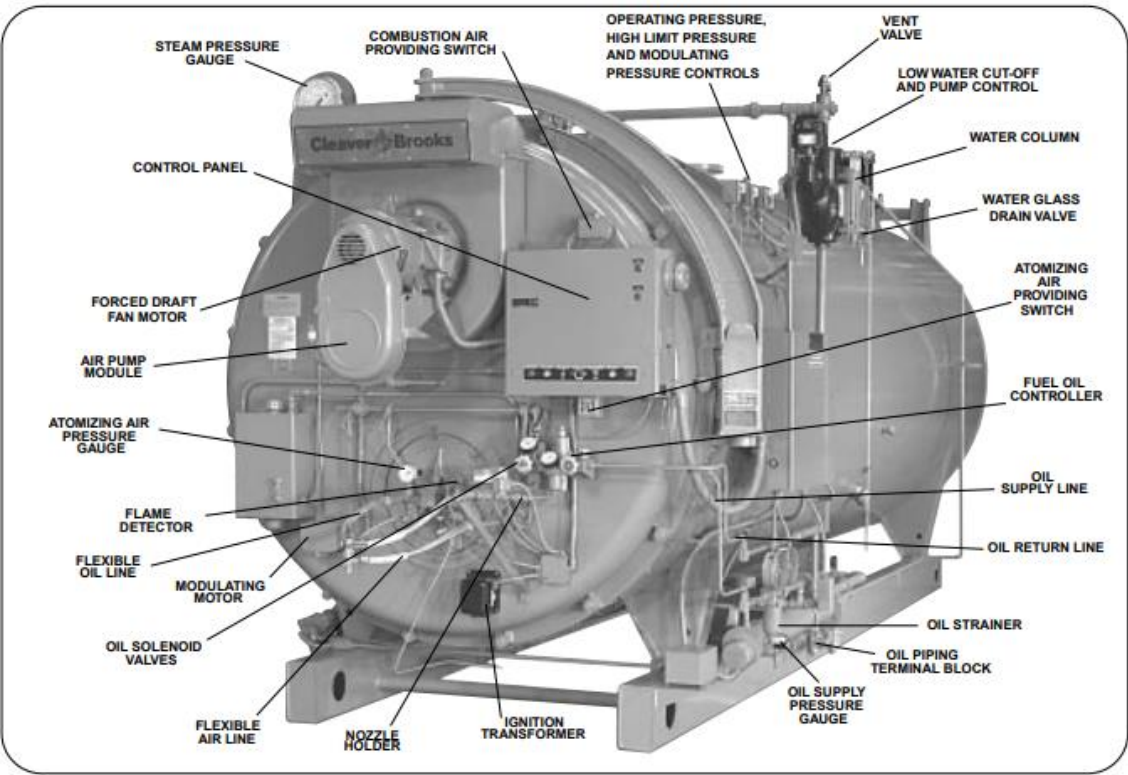


Figura 2-6: Componentes, medidores y sistemas generales de la caldera

Fuente: Cleaver-Brooks model CB, CB LE packaged boiler Operation, service and part manual.

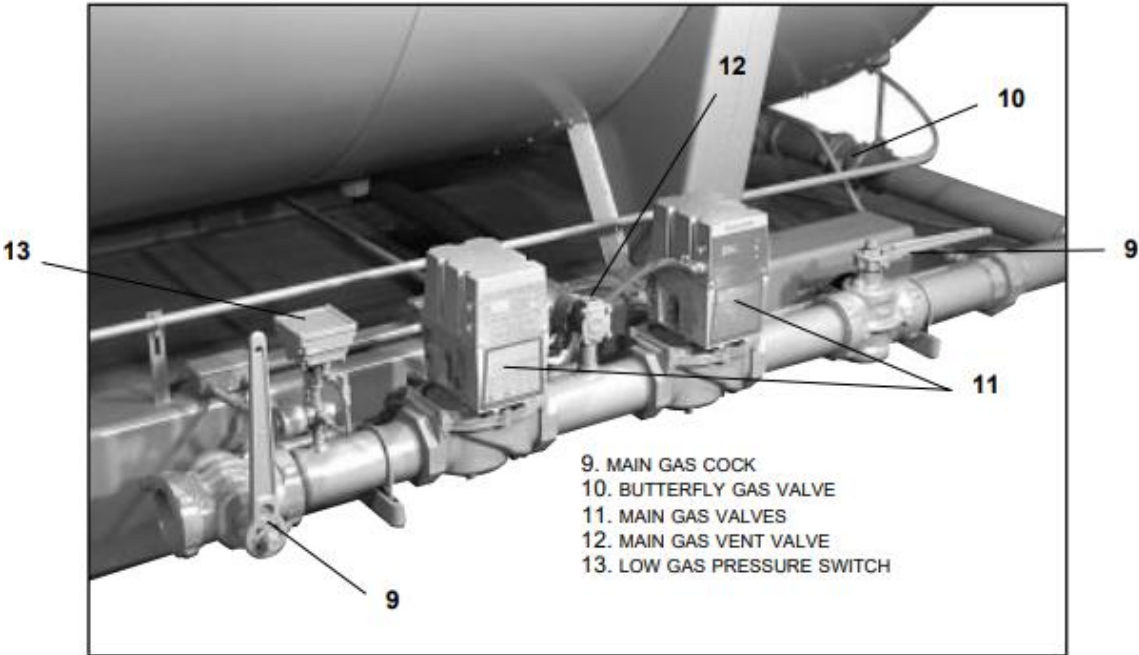


Figura 2-7: Tren de gas de la caldera

Fuente: Cleaver-Brooks model CB, CB LE packaged boiler Operation, service and part manual.

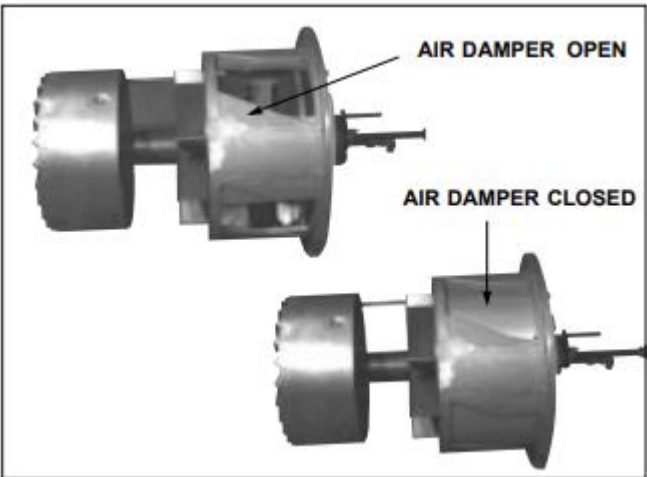


Figura 2-8: Quemador y cajón de instalación con posición del amortiguador de aire

Fuente: Cleaver-Brooks model CB, CB LE packaged boiler Operation, service and part manual.

2.3.3. Sistemas de control

La caldera pirotubular Cleaver Brooks cuenta con varios sistemas de control de funcionamiento, tanto para la producción, como para entrega del vapor o agua caliente requeridos. En este punto se examinarán los sistemas de control principales de operación de la caldera pirotubular, con el objetivo de comprender de mejor medida los sistemas críticos de control de la caldera, y poder establecer posibles candidatos para el punto de partida del diseño y confección del documento del plan de mantenimiento.

2.3.3.1. Control de vapor

El sistema del control de vapor de la caldera consiste de 3 aspectos de funcionamiento, límite de presión de funcionamiento, el cual rompe el circuito para detener el quemador con caso de aumento de la presión por sobre lo seleccionado en el presostato de límite de operación. Usualmente este límite es ajustado levemente mayor a la presión de funcionamiento deseada, pero a un mínimo de 10% menor a lo ajustado para las válvulas de seguridad. También este límite puede ser ajustado solo para detener o encender el quemador.

Control de límite de alta presión funciona similarmente que el control de límite de presión de funcionamiento, solo que se diferencia por un límite mayor de presión que el de funcionamiento, y en su accionamiento rompe el circuito para detener el quemador. Este control debe ser ajustado aproximadamente a 10 psig por sobre lo ajustado en el límite de presión de funcionamiento y no superar a la presión de accionamiento de las válvulas de seguridad. Usualmente este control conlleva un reinicio manual presente en su presostato.

Siguiente se encuentra el control de presión modulante, el cual percibe cambios de presión en la caldera y transmite esta información al motor modulante para cambiar la razón de encendido del quemador. Este presostato cuenta con un ajuste manual-automático.

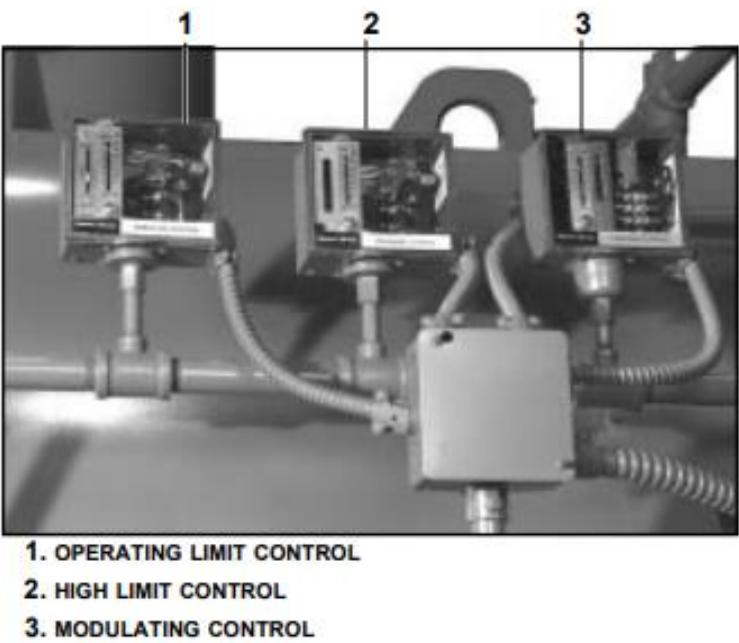


Figura 2-9: Presostatos de control de presión

Fuente: Cleaver-Brooks model CB, CB LE packaged boiler Operation, service and part manual.

Para el control del agua se emplean varios mecanismos, entre los cuales primero se encuentra el control de la bomba y corte de bajo nivel de agua. Este control responde mediante un flotador al nivel de agua realizando 2 acciones de control:

- a) Detiene el encendido del quemador si el nivel de agua se encuentra por debajo del nivel seguro de operación. Energiza la luz indicadora de bajo nivel de agua y una campana de alarma en el caso de estar instalada.
- b) Enciende y apaga la bomba de alimentación de agua para mantener un nivel de funcionamiento apropiado.

Adicionalmente, la caldera emplea un ensamble de columna de agua, el cual consiste del medidor de columna de agua o nivel de agua de la caldera, válvulas de drenaje de la columna y ventilación. Este ensamble se encuentra instalado adyacente al control de corte de nivel bajo de agua descrito previamente.

Por último, la caldera emplea válvulas de alivio de presión en la zona superior para prevenir el aumento de presión por sobre lo permitido por diseño. Estas válvulas se encuentran instaladas verticalmente para que los tubos de descarga de presión de alivio y drenaje puedan ser instalados adecuadamente, y prevenir la acumulación de presión de retorno y material contaminante alrededor del asiento de la válvula.



Figura 2-10: Válvulas de alivio de presión de la caldera

Fuente: Cleaver-Brooks model CB, CB LE packaged boiler Operation, service and part manual.

2.3.3.2. Control de agua caliente

Semejante al control de vapor, la caldera emplea mecanismos similares para el control de agua caliente a producir y entregar. Este sistema consiste en un medidor de temperatura del agua, controles de temperatura de operación, modulación, y límite máximo, además de estar conectado a los controles de nivel bajo de agua de la caldera, y válvulas de alivio para el control de sobre o bajo la presión de diseño. Indicar también que

en ciertos modelos de calderas Cleaver Brooks, se puede optar por un sistema de corte por bajo nivel de agua auxiliar, el cual funciona de la misma manera que el principal previamente analizado.

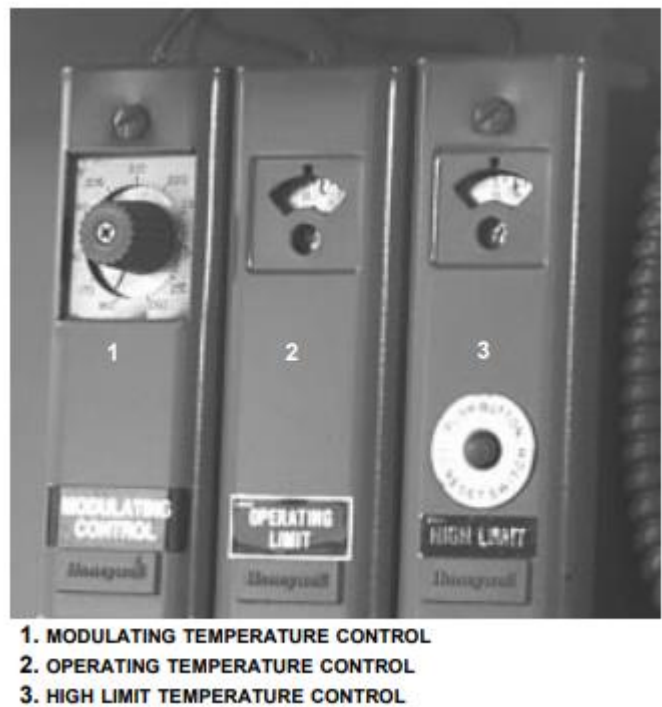


Figura 2-11: Controles de agua caliente de la caldera

Fuente: Cleaver-Brooks model CB, CB LE packaged boiler Operation, service and part manual.

2.3.3.3.Control de gas y quemador

A continuación, se examinarán los diversos mecanismos y componentes que usa la caldera para el control de alimentación y entrega de gas hacia el quemador, y la modulación automática durante el funcionamiento de la caldera. Este sistema se compone desde el tren de gas con diversas válvulas de paso y presión de gas, válvulas de corte y ventilación, manómetros e interruptores de sobre y baja presión de gas, válvulas de paso y corte de gas piloto, válvula de alimentación principal de gas accionada eléctricamente y válvula de ventilación de gas principal de accionamiento manual. Avanzado hacia el quemador se hallan el motor modulador y sistema de modulación automático, el cual, por el medio de un sistema interconectado de levas y varillas de ajuste, regula el paso de gas y proceso automático de encendido y modulación de la llama producida por el quemador, gracias además a la ayuda de sensores fotocelda que detectan la llama piloto de encendido del quemador.

Este conjunto de sistema y sus componentes, los cuales se conectan al panel de control principal de la caldera, se pueden observar dentro de las siguientes figuras.

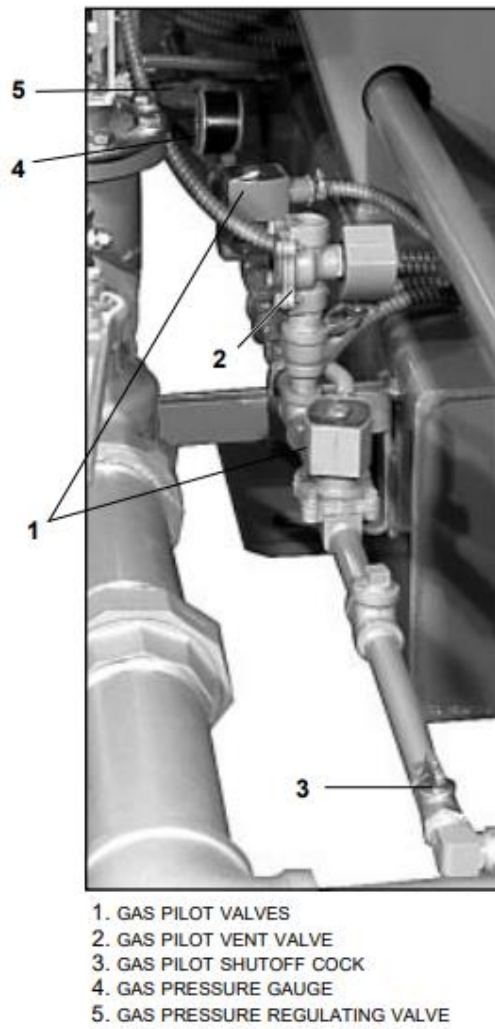


Figura 2-12: Control de alimentación del tren de gas

Fuente: Cleaver-Brooks model CB, CB LE packaged boiler Operation, service and part manual.

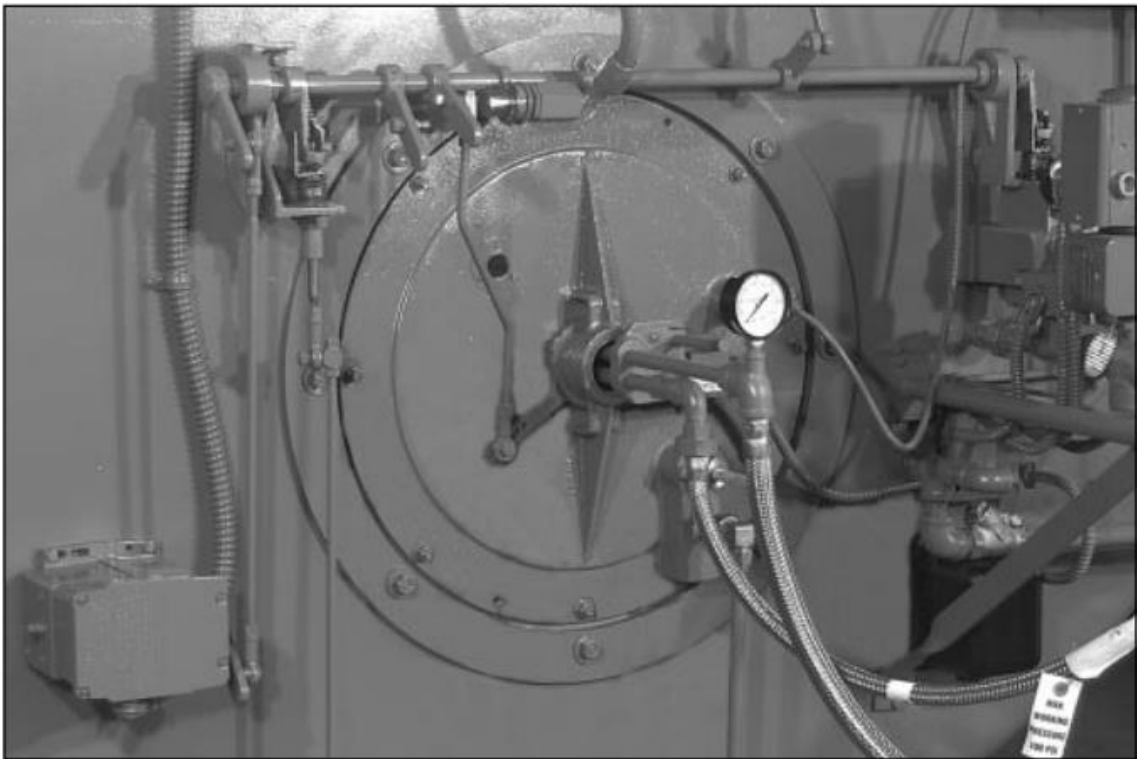


Figura 2-13: Motor y leva moduladora de alimentación de gas

Fuente: Cleaver-Brooks model CB, CB LE packaged boiler Operation, service and part manual.

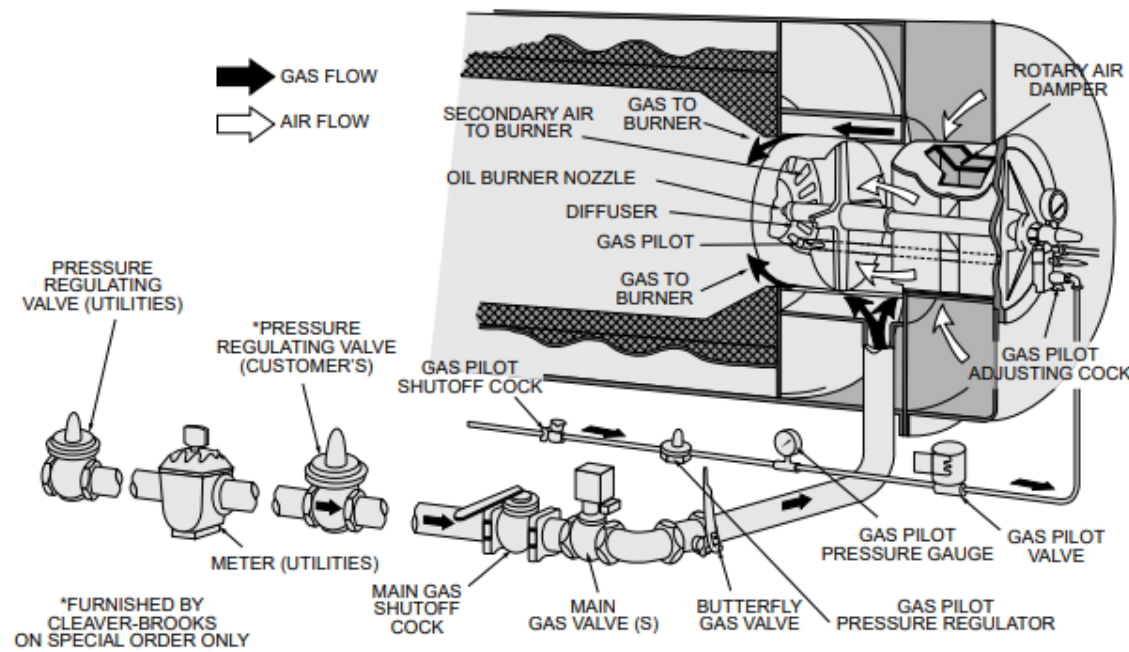


Figura 2-14: Funcionamiento y control de gas hacia quemador

Fuente: Cleaver-Brooks model CB, CB LE packaged boiler Operation, service and part manual.

2.4. DISYUNTIVA ACTUAL

Una vez estudiado el equipo escogido, funcionamiento, sistemas y componentes más relevantes, se comenzará la fase del análisis práctico del contexto a mejorar de este trabajo, para lo cual se dispondrá de varias visitas a terreno para un mejor entendimiento del impacto cotidiano del funcionamiento dentro de la central térmica del hospital, junto con entrevistas a los operadores y mantenedores que trabajan en la central para la recopilación de información sobre prácticas de mantenimiento, procesos y dificultades, y cualquier información que pueda aportar para el enfoque final a mejorar por medio del desarrollo y confección de un plan de mantenimiento centrado a la confiabilidad.

Previamente se mencionó en resumen la composición de la central térmica del hospital aquellos equipos y elementos que contribuyen al proceso de producción energético de la central, los que se analizarán en mayor detalle en esta sección. Comenzando por las instalaciones del piso de la central, esta cuenta con ambas calderas instaladas sobre una elevación de cemento, delineadas por indicaciones de seguridad a su alrededor. Adyacente al perímetro de las calderas pirotubular están presentes las líneas de alimentación de agua y de purga, las cuales se encuentran instaladas bajo el nivel del suelo cubiertas por rejilla que permite el tránsito por sobre estas líneas. La primera observación que emerge es la condición física y estado funcional de estas rejillas, las cuales presentan discontinuidad entre los espacios de los barrotes, rotura de algunos de ellos, o el deterioro evidente por el uso a lo largo de los años de operación de la central.



Figura 2-15: Rejillas de protección y tránsito de las líneas de alimentación y purga de agua de la central térmica

Fuente: Elaboración propia visita en terreno central térmica del hospital de carabineros Av. Antonio Varas N° 2500, comuna de Providencia, Santiago, Chile.

En relación con lo mencionado anteriormente, se aprecia la acumulación evidente de oxidación y corrosión en forma de sarro, cercano o sobre muchas de las líneas de alimentación y purga de agua de la caldera, en especial al estar en una zona bajo el nivel de tránsito en el piso de la central.

Otro aspecto a considerar dentro de las inmediaciones de la central térmica, es la distribución del almacenamiento de químicos e insumos para el control de la calidad de agua y otros procedimientos de mantenimiento de los equipos de la central. Estos contenedores se encuentran distribuidos cercano a los equipos y elementos de producción directa a los que corresponden su uso, de manera tal que permite el tránsito necesario alrededor de estos elementos y equipos para su mantenimiento. De esto se aprecia otra oportunidad de posible mejora, ya que la razón por la que estos contenedores se encuentran presentes dentro de la misma zona de funcionamiento de equipos, es debido a la no existencia de una bodega de almacenamiento de químicos e insumos para uso de la central térmica, lo que también se repite para insumos de uso indirecto para el personal de la central, el cual debe hacer el requerimiento de estos insumos a otros departamentos dentro del hospital.

2.4.1. Departamento de mantenimiento

Siguiendo con el departamento de mantenimiento de la central térmica del hospital, se analizará las dependencias específicas de este departamento, junto con el personal que lo componen. Comenzando por las dependencias, el departamento de mantenimiento de la central térmica cuenta con una oficina dentro de las inmediaciones de la central, la cual alberga zonas de monitoreo y reunión de los operadores y mantenedores de la central, junto con una zona de estar para la colación y un baño.

El departamento también cuenta con un taller dedicado a los procesos de fabricación y reparación de componentes de los equipos de producción principal de la central. Este taller se encuentra adyacente a la salida posterior de la central y alberga diversas máquinas y equipos para sus labores, como lo son equipos de soldadura, estación de remoción de material o lijado, torno, taladro pedestal, y otros elementos de ayuda, como soportes, iluminación portátil, escaleras y andamios de trabajo en altura, y elementos de limpieza. Indicar también que es en taller donde se almacenan los repuestos e insumos generales para el mantenimiento de las calderas, como lo son ferretería y herramientas de mano, lo que nos lleva a una nueva disyuntiva, expresada por los mantenedores: es la ausencia de herramientas para la fabricación de hilos de tuberías o terrajas.

Continuando con la descripción del departamento, en términos de personal, está compuesto por 1 supervisor acreditado rotativo por turno, el cual no está presente durante

todo el transcurso de los turnos dentro la central térmica del hospital, debido a funciones anexas que cumple en otros departamentos del hospital y otras centrales térmicas. Durante los turnos de funcionamiento de la caldera, que corresponden a 12 horas cronológicas, se encuentra presente en todo momento al menos 1 operador mantenedor que vela por el control y tareas de mantenimiento de la caldera que se encuentra operando en ese momento (usualmente solo 1 caldera opera dentro de cada turno, rotando entre ambas). El operador mantenedor es apoyado adicionalmente por otro técnico profesional encargado del taller del departamento de mantenimiento, el cual asiste al operador mantenedor en tareas de reparación, fabricación, y cualquier proceso que requiera más de 1 persona para su realización.

Después del transcurso de varias visitas y entrevistas al personal del departamento de mantenimiento de la central térmica, se aprecia la dedicación, experiencia y profesionalismo de este. Esto a pesar del modo general de funcionamiento del departamento en el que operan, el cual se puede describir como la ausencia casi completa de cualquier procedimiento de mantenimiento preventivo o planificado, que no sean las inspecciones o procedimientos de mantenimiento mínimos requeridos por los decretos supremos analizados al comienzo de este trabajo. Este contexto de enfoque del mantenimiento realizado dentro de la central térmica, crea una oportunidad ideal, en comparación con las otras analizadas previamente, para el desarrollo del plan de mantenimiento planteado en este trabajo de título.

2.4.2. Libro de vida

Si bien se destacó en el punto anterior, que el enfoque principal de mantenimiento dentro de la central térmica del hospital no es preventivo, sino más bien correctivo y el requerido por la normativa nacional, existen los registros de los procesos de mantenimiento efectuado durante y en cada turno de operación de la central. Estos registros se encuentran dentro del libro de vida de cada caldera pirotubular y contienen la información de mantenimiento realizado, requerida por los decretos supremos ya examinados. Indicar adicionalmente que otra disyuntiva se presenta en este aspecto, ya que la información presentada en el libro de vida, y, por consiguiente, el historial de mantenimiento realizado, no se encuentra representado de forma tal que exprese una trazabilidad de cada paso específico realizado durante los procesos registrados en el libro, sino más bien, una redacción general y conformidad del proceso de mantenimiento efectuado a lo largo de los años de funcionamiento. También no se encuentra presente de forma descriptiva el desarrollo de contextos especiales que requirieron procesos de mantención correctiva no habitual, o implementación de cambios y mejoras en la configuración de conexión entre elementos o equipos de la central térmica. Esto representa

otro contexto a tener en cuenta durante el desarrollo del documento del plan de mantenimiento.

2.4.3. Historial de incidentes/accidentes

Finalizando la recopilación de información de terreno para la determinación del enfoque con respecto a la disyuntiva a mejorar dentro del siguiente capítulo, se continua con las entrevistas en terreno sobre las experiencias de funcionamiento y mantenimiento de los operadores mantenedores. En primera instancia se hace presente la ausencia de cualquier falla, incidente, o detención de emergencia por funcionamiento rutinario de la central térmica, salvo hechos puntuales ocurridos por factores no atribuibles a la central y hospital, como lo son interrupciones de suministro principal de electricidad, agua, gas, temblores de magnitud considerable o incidentes climáticos de similar naturaleza. Esto nos indica que, a pesar del enfoque optado por el departamento, se demuestra tanto la resiliencia de los equipos de producción de la central, como también las capacidades profesionales de los operadores mantenedores quienes hallan soluciones efectivas ante indicios de una posible situación de corte de funcionamiento de la central.

Siguiendo con un ámbito más actual, se aprecia algunos defectos de diseño y deterioro por tiempo de funcionamiento de algunos elementos, componentes y sistemas de los equipos, en particular, la condición del sistema de modulación de la alimentación de gas de la caldera Cleaver Brooks CB 400-300, que consiste en la poca retención de apriete de las fijaciones de algunas varillas de la leva de modulación. Esta situación es corregida manualmente por los operadores mantenedores de manera particular, siendo omitida de los registros rutinario de mantenimiento dentro del libro de vida de la caldera, lo que presenta un último contexto de posibilidad de mejora a tener en cuenta durante el desarrollo del plan de mantenimiento para la caldera.

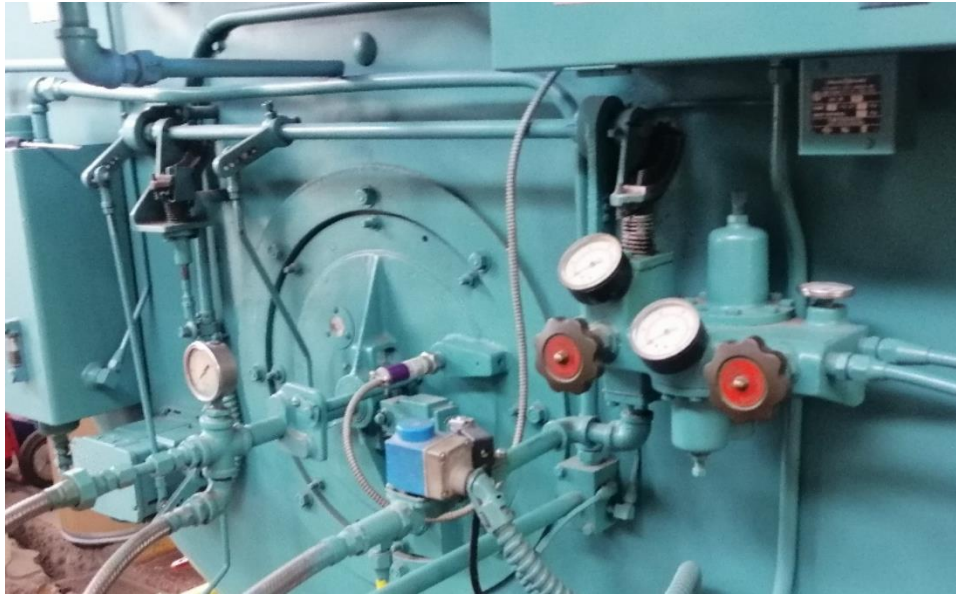


Figura 2-16: Varillas y levas del sistema de modulación de gas de la caldera

Fuente: Elaboración propia visita en terreno central térmica del hospital de carabineros Av. Antonio Varas N° 2500, comuna de providencia, Santiago, Chile.

CAPITULO 3: PROPUESTA DE MEJORA

3.1. TIPOS DE MANTENIMIENTO

Antes de continuar con la propuesta de un plan de mantenimiento para el equipo y requerimiento seleccionado, se abordarán algunos conceptos generales de mantenimiento que ayudarán a contextualizar la naturaleza que se quiere obtener con la propuesta del plan de mantenimiento. En conjunto de estos conceptos y la determinación de una estructura de documento que se ajuste al concepto que apunta este trabajo de título, se lograran los primeros bosquejos del documento del plan de mantenimiento a diseñar.

3.1.1. Correctivo

Consiste de en un conjunto de actividades, con el fin de corregir las fallas del equipo que demuestren la necesidad de reparación o reemplazo.

Este tipo de mantenimiento corrige los errores del equipo que dependen de una intervención para volver a su operación inicial. Este tipo de mantenimiento no dependen de los planes de mantenimiento y, por consiguiente, la posibilidad de que no haya piezas de repuesto en existencia es alta. Además, es posible que, al momento de ocurrir la falla del equipo, no se encuentre disponibles mantenedores y/o herramientas necesarias para la realización de dichas tareas técnicas. Esto dado a la naturaleza imprevista de este tipo de fallas. Aunque en algunos casos es inevitable, el mantenimiento correctivo acaba teniendo un mayor impacto financiero en las empresas, ya que suele implicar la indisponibilidad prolongada del equipo. Un porcentaje significativo de estas fallas puede preverse si se aplican planes de mantenimiento preventivo.

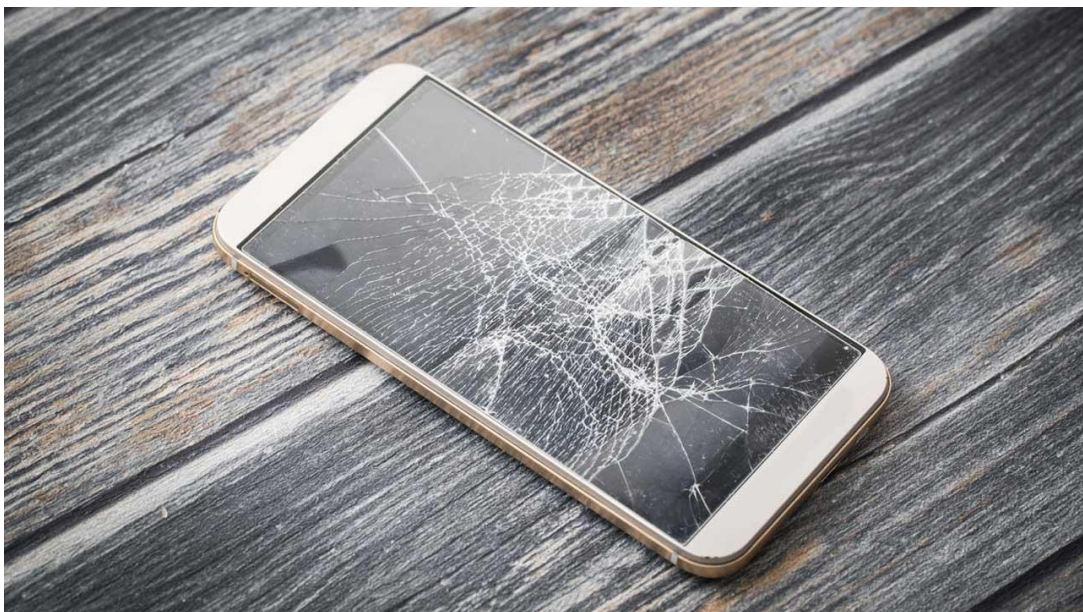


Figura 3-1: Ejemplo de mantenimiento correctivo requerido

Fuente: <https://www.iprofesional.com/tecnologia/343299-que-hacer-si-se-rompe-la-pantalla-del-celular>

Sin embargo, este modelo siempre será necesario y puede aplicarse a equipos con bajos niveles de criticidad, cuyas fallas no interfieran con la productividad de la empresa.

Las ventajas de este modo de mantenimiento son generalmente: un menor costo a corto plazo, ya que no se requiere la inversión de herramientas especializadas y/o un stock de repuestos diversos para distintos sistemas o componentes del equipo a requerir. La planificación y ejecución de este mantenimiento suele ser más directa y menos compleja que otros tipos de mantenimiento, esto para lograr la finalidad de que el equipo vuelva a su funcionamiento esperado.

Las desventajas de este modelo de mantenimiento son, como primero la misma naturaleza impredecible de las fallas, lo que genera un tiempo de inactividad o MTTR, y la no maximización del funcionamiento del equipo o MTBF. Por último, sumando estos 2 factores, genera un mayor costo a largo plazo y una reducción considerable a la vida útil del equipo.

Por último, se pueden distinguir 2 tipos de mantenimiento correctivo: mantenimiento Correctivo no planificado y planificado.

3.1.1.1. Mantenimiento correctivo no planificado

Este tipo de mantenimiento se relaciona con las fallas impredecibles y generalmente asociadas a un tiempo de inactividad de funcionamiento del equipo y a la falta de supervisión del rendimiento de este. Estas fallas suelen ser catastróficas para el funcionamiento del equipo y requieren procedimientos de mantenimiento de emergencia.

3.1.1.2. Mantenimiento correctivo planificado

Este mantenimiento contempla las acciones requeridas para corregir una falla imprevista que no genera un impacto catastrófico para el equipo, o que el equipo no genere una parada de funcionamiento grave para la planta, para lo cual un procedimiento de mantenimiento puede ser planificado para posteridad. Esta situación también puede relacionarse cuando no se dispongan a tiempo inmediato los repuestos o mano de obra necesaria para la realización de las tareas requeridas para la corrección de la falla imprevista.

3.1.2. Preventivo

El mantenimiento preventivo es aquel que, en comparación al correctivo, busca prever la falla antes de que ocurra, usando distintos indicadores como lo son comprobaciones de rendimiento del equipo, tareas rutinarias de seguimiento del equipo y

paradas programadas para la inspección en distintos niveles de profundidad de componentes, partes, o sistemas que constituyen al equipo.

Las ventajas del mantenimiento preventivo son la reducción de los indicadores previamente mencionados, que se relacionan a la frecuencia de paradas inesperadas del equipo, duración del tiempo de inactividad del equipo, aumento de la vida útil del equipo, mediante la reducción y/o eliminación de fallas concurrentes. Todo esto deriva a un menor presupuesto del mantenimiento, por medio de una determinación más real del consumo de repuestos, energía, y recursos, que serán necesario para mantener el equipo funcionando correctamente a lo largo de su vida útil, lo que finalmente se traduce en una reducción del costo a largo plazo del mantenimiento.

Las desventajas del mantenimiento preventivo se pueden indicar en la complejidad de este, tanto la planificación y las distintas tareas o métodos técnicos requeridos para obtener la información necesaria para prever las posibles fallas. Indicado lo anterior, esta complejidad y aumento de tareas o actividades técnicas a realizar genera un mayor costo de mantenimiento a corto plazo.

Dentro de la rama del mantenimiento preventivo, se establecen 4 divisiones generales de mantenimiento que siguen la idea de prever la falla antes de que esta ocurra.



Figura 3-2: Ejemplo de mantenimiento preventivo

Fuente; <https://ssind.com.mx/beneficios-e-importancia-del-mantenimiento-preventivo/>.

3.1.2.1. Mantenimiento programado

El mantenimiento programado se basa en la criticidad del funcionamiento de los equipos para la planificación de tareas rutinarias, las cuales no toman en cuenta las

condiciones específicas y actuales de operación del equipo. Estas tareas técnicas son realizadas, de acuerdo a un régimen pre establecido de tramos de funcionamiento o vida útil. Algunos ejemplos de algunas tareas técnicas que comprenden este modelo de mantenimiento son:

- A) Cambio de aceite, resortes de apoyo, resistencias,
- B) Ajustes de tensión de correas, presión, potenciómetros
- C) Control de niveles, par de sujeción, etc.

3.1.2.2. Mantenimiento de oportunidad

Este mantenimiento consiste en el aprovechamiento de la realización de otro mantenimiento para obtener información, la cual no sería posible si el equipo ha de estar en funcionamiento o ensamblado en su totalidad. Un ejemplo de este tipo de tareas es cuando un área estructural queda libre tras la remoción de un sistema o componente que, a su vez, ha sido removido por un requerimiento de otro mantenimiento. Esto genera una oportunidad para realización de tareas de inspección estructurales de condición en el área puntual donde se encontraba instalado el componente o sistema del equipo.



Figura 3-3: Ejemplo de una inspección estructural por mantenimiento de oportunidad

Fuente: <https://www.qantasnewsroom.com.au/roo-tales/the-a-c-and-d-of-aircraft-maintenance/?print=1>.

3.1.2.3. Mantenimiento basado en la condición

El mantenimiento basado en la condición, como su nombre lo indica, se rige bajo parámetros del funcionamiento del equipo, los cuales pueden ser obtenidos por medio de pruebas funcionales que comparan datos con un umbral preestablecido. Estas pruebas difieren a las pruebas operacionales con respecto, al alcance, complejidad y requerimiento de estas pruebas, y los resultados de estas.

El mantenimiento basado en la condición puede ser continuo, a través de un registro y control de parámetros específicos del funcionamiento del equipo, o bien discontinuo por medio de un régimen periódico de dichas pruebas y acciones a tomar con respecto a sus resultados.



Figura 3-4: Ejemplo de mantenimiento de equipos eléctricos basado en monitoreo de condición

Fuente: <https://crushtymks.com/es/energy-and-power/719-maintenance-management-of-electrical-equipment-condition-monitoring-based-2.html>.

3.1.2.4. Mantenimiento predictivo

Esta es la rama más compleja del mantenimiento preventivo y contempla un gran número de actividades para tomar acciones correctivas a partir de estimaciones, de acuerdo a análisis y evaluaciones de parámetros obtenidos por las distintos métodos y actividades técnicas. Algunas de las actividades técnicas o métodos para la obtención de parámetros e información son:

A) Termografía Infrarroja.

- B) Análisis de vibraciones (global y espectral).
- C) Análisis de aceites (SOAP).
- D) END (ultrasonido, corriente de Eddy, partículas magnéticas, radiografías, emisión acústica, etc.).

A los métodos y actividades de mantenimiento nombradas, se le atribuye la mayor parte de la complejidad, tanto a la planificación y paradas de funcionamiento o marcha del equipo, como así las disciplinas y conocimiento técnico para poder realizarlas, las cuales requieren de herramientas y dispositivos sofisticados y costoso. Esto nos indica el significativo aumento del costo del mantenimiento comparado al mantenimiento correctivo.

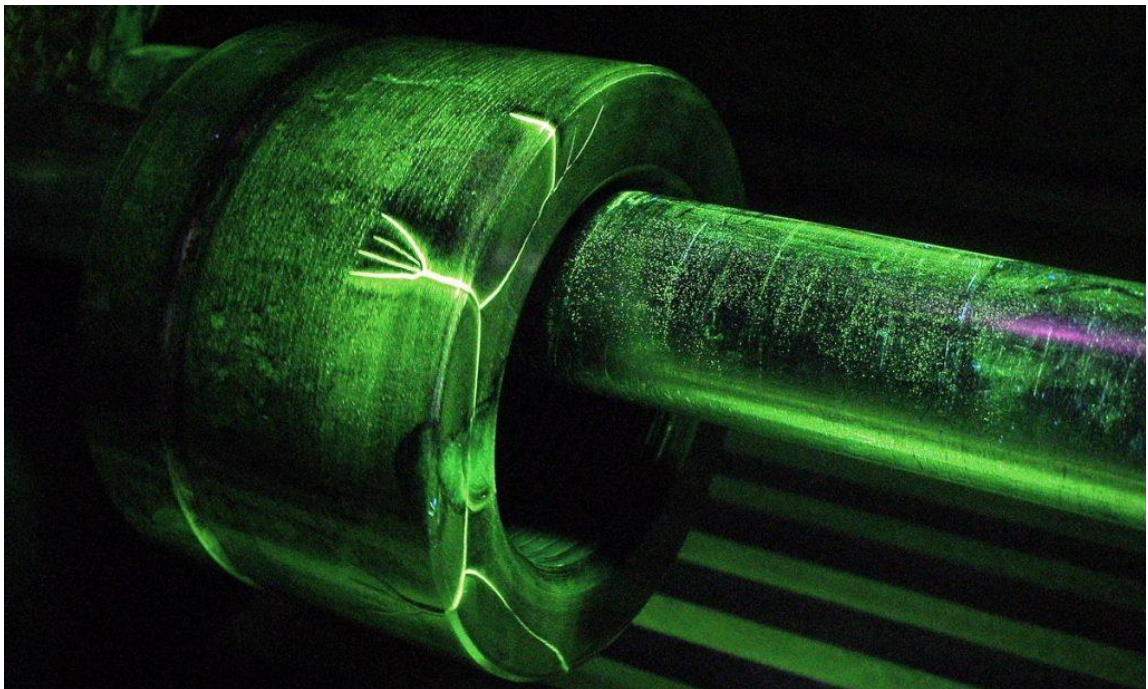


Figura 3-5: Ejemplo de una inspección usando partículas magnéticas

Fuente: <https://ipend.es/ensayo-no-destructivo-particulas-magneticas>.

3.2. DISEÑO DEL PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO

Después de haber analizado algunos conceptos generales y usados ampliamente por la industria, se dará comienzo al desarrollo de un plan de mantenimiento de naturaleza predictiva y con un enfoque que garantice la confiabilidad de las tareas a realizar para este mantenimiento, como también crear herramientas para su posterior control. Con el fin de establecer un estándar y una garantía de confiabilidad, se analizarán en detalle el orden, lenguaje a utilizar, se definirán los componentes más importantes a destacar dentro de un documento de mantenimiento preventivo.

3.2.1. Estructura básica del procedimiento del plan de mantenimiento

En esta sección del diseño del plan de mantenimiento, analizaremos por separados los componentes de la estructura a considerar, para la estandarización de la representación de la información técnica a entregar para la realización de las tareas de mantenimiento requeridas.

3.2.1.1.Título del documento del plan de mantenimiento

Utilizando la separación del contexto técnico del documento, indicado por las especificaciones dentro del primer capítulo, el documento comenzará con un título que indique el equipo, sistema o sección en específico a tratar dentro del documento, como también la acción o tarea técnica específica a desarrollar. Un ejemplo de un título para este plan de mantenimiento es, Caldera pirotubular – Inspección visual de montantes.

3.2.1.2.Párrafo de introducción del plan de mantenimiento

Siguiendo de inmediato al título del documento, este es el primer párrafo en cual entregará una introducción general del contexto y tarea de mantenimiento a desarrollar más adelante. Este párrafo describirá de manera más amplia el componente, sistema, o equipo a trabajar, como también una ayuda visual de la ubicación física del componente, sistema, o equipo. Un ejemplo de un párrafo de introducción del plan de mantenimiento es el siguiente:

Este procedimiento provee instrucciones para la inspección visual de montantes y apoyo de una caldera pirotubular. Los montantes están ubicados en la sección inferior de la caldera, con una posición de 6:00, observando desde posterior hacia adelante.

3.2.1.3.Tabla de frecuencia y mano de obra requerida

A continuación del párrafo de introducción, se implementará una tabla de frecuencia de funcionamiento del equipo/maquinaria en relación al procedimiento de mantenimiento a realizar tras el cumplimiento de dicha frecuencia o duración de mantenimiento, como a su vez la relación del cumplimiento de un periodo de tiempo predeterminado, al cual se le asocia un procedimiento de mantenimiento a dicho periodo estático de tiempo. Junto a la indicación del procedimiento de mantenimiento a realizar debido al cumplimiento de tiempo cronológico o de funcionamiento del equipo, se indicará también la mano de obra requerida, en una medida de horas hombre o “HH” requeridas para el cumplimiento del procedimiento a realizar.

3.2.1.4.Párrafo de acción requerida previa al mantenimiento

En este párrafo se indicará algún procedimiento de mantenimiento o estado del equipo en cuestión el cual debe cumplirse o estar presente, para poder realizar las tareas de mantenimiento del procedimiento próximo a ejecutar. Consistirá en una descripción breve pero concisa del requerimiento previo en relación al estado o procedimiento de mantenimiento el cual debe estar completado satisfactoriamente, para poder continuar con el próximo procedimiento de mantenimiento. Un ejemplo de este párrafo es la indicación de que un componente debe estar primero desinstalado o separado de la maquinaria, para poder así realizar el procedimiento de inspección visual/dimensional para dicho componente.

3.2.1.5.Tabla de documentación anexa

En esta tabla se mencionarán documentación, formularios, listas de chequeo necesarias que se requieren estar anexa y usar durante todo, o alguna porción específica del procedimiento de mantenimiento a realizar. Esta tabla se encontrará dentro de los primeros fragmentos de información del documento de procedimiento de mantenimiento para dar a conocer que material, junto con herramientas e insumos se requieren antes de comenzar el procedimiento.

3.2.1.6.Tabla de herramientas

Dentro de esta sección se nombrarán las herramientas que se encuentran presente en el procedimiento y requeridas para la realización de pasos puntuales de este. También se indicarán la procedencia de dichas herramientas, como lo son herramientas especiales de funcionalidad o fabricación única, como así herramientas de uso genérico de obtención por medio de una compra local.

3.2.1.7.Tabla de insumos

Siguiente de la tabla de herramientas, se implementará una tabla de insumos que listará los insumos requeridos en pasos técnicos a lo largo del procedimiento de mantenimiento. Estos insumos se diferencian de las herramientas, ya que son materiales los cuales serán consumidos, de manera parcial o total, para el cumplimiento de las tareas técnicas de mantenimiento. Ejemplos de estos materiales son el alcohol isopropílico, aceite y grasas de lubricación, paños de limpieza, guantes no reutilizables para la manipulación, etc.

3.2.1.8. Procedimiento y lenguaje

Llegando a la sección más predominante del documento del plan de mantenimiento preventivo, se indicará la naturaleza lingüística de la entrega de información técnica para su lectura y comprensión, su orden y estructura, como también su formato y otros detalles a tener en cuenta. Estos conceptos servirán para crear un estándar de entrega de información técnica de mantenimiento a ser usado para los distintos requerimientos de mantenimiento para distintos enfoques que requiera la empresa. Para crear dicha base, se comenzará primero con establecer un idioma único, que se deberá mantener a través de toda la documentación y procedimientos de mantenimiento, para no crear confusiones en la traducción e interpretación en terreno sobre componentes, sistemas, acciones técnicas, u otros aspectos que pueden comprometer el cumplimiento de la idea técnica general del procedimiento de mantenimiento a realizar. Para fines de este trabajo nos enfocaremos en el uso del idioma español para la confección del documento del plan de mantenimiento propuesto, pero se entrega la invitación en la posibilidad de usar otros idiomas existentes para la creación de documentación técnica dentro de la empresa, siempre y cuando se mantenga una consistencia y estándar para toda la información de todos los equipos y maquinas existentes dentro de ésta, en especial si hay un beneficio con respecto a nombre de máquinas, componentes, o jerga técnica ya existente y aceptada dentro de la empresa. Luego de haber aclarado y establecido el idioma base del documento de mantenimiento, se continuará con la modalidad del lenguaje para la indicación de las tareas a realizar en el orden lógico estudiado y requerido a ejecutar, de esto también se creará el formato de pasos con su respectivo índice de jerarquía, para el cual se presenta el siguiente ejemplo:

1. *Suelde la bifurcación del cilindro de transporte. Refiérase a la norma DVS2207/ISO 21307, Figura 1.2, y a lo siguiente:*
 - A) *Utilice cable de soldadura Inco 625 y suministro de gas de argón.*
 - B) *Mantenga la entrega de temperatura al cilindro al mínimo posible mientras realice el procedimiento de soldadura de acuerdo a lo siguiente:*

Indicar primero que cada paso que se compondrá de una oración concisa y directa, que indique la acción técnica a realizar. Para esto se iniciará cada oración con un verbo, usando la modalidad imperativa de dicho verbo, el cual exprese de mejor manera la idea técnica del procedimiento técnico, junto con un sustantivo que indicará la parte del componente, sistema, o equipo denominado por su nombre técnico al cual le será realizado la acción del verbo que lo antecede. En el caso de que la idea técnica a indicar sea compleja, o sea necesario indicar parámetros para la realización de la acción principal, se implementaran sub-pasos que se guiaran con el mismo lenguaje y conjugación usado en el paso principal.

Establecido la filosofía del idioma a usar para la transmisión de información técnica, cada paso comenzará con un índice de enumeración jerárquico, el cual consistirá primero de un dígito numérico, seguido de otro índice alfabético, el cual será asignado para un sub-paso de la orden general del índice numérico principal. De existir el caso de implementar más sub-pasos para indicar el orden lógico de acciones técnicas para una tarea compleja, se alternará el uso de índices numéricos y alfabéticos, existiendo una propiedad única atribuida a cada nivel de sub-paso requerido. Esto para crear la diferenciación exacta entre niveles de pasos y sub-pasos para su posterior referencia exacta. Un ejemplo de los distintos niveles de índices de pasos técnicos es el siguiente:

1. Realice una inspección visual del quemador principal de la caldera. Refiérase a lo siguiente:
 - A. Remueva el quemador principal de la caldera. Refiérase a lo siguiente:
 - 1). Opere y abra la compuerta principal delantera de la caldera. Refiérase a lo siguiente:
 - a). Desconecte el sistema de control y accionamiento automático de la caldera. Refiérase a lo siguiente
 - 1). Remueva las líneas de alimentación del sistema de control y accionamiento automático de la caldera. Refiérase a lo siguiente:
 - a). Interrumpa el suministro de alimentación de las líneas de alimentación del sistema de control y accionamiento automático de la caldera.

En el caso de llegar hasta el último índice alfabético disponible, y seguir mencionando pasos en el mismo nivel, se comenzará usando un índice alfabético compuesto por 2 índices que continuará el orden consecutivo, como se observa en el siguiente ejemplo.

- Z. Desconecte el arnés eléctrico No. 30.
- AA. Desconecte el arnés eléctrico No. 31.
- AB. Desconecte el arnés eléctrico No. 32.
- AC. Desconecte el arnés eléctrico No. 33.

3.2.1.9. Notas, peligros, y precauciones

Con el fin de lograr una distinción única con respecto a la naturaleza de tarea o acción técnica inmediata a realizar, se implementarán 3 párrafos especiales, representados de manera distinta con respecto al resto de la información técnica, de manera tal de resaltar esta información especial, los cuales cumplirán la función de entregar información de

relevancia para la realización de la tarea específica, inmediatamente adyacente a estos párrafos. Comenzando por orden de relevancia, primero se encontrarán los peligros, los cuales estarán representados completamente en letra mayúscula, de color rojo, y que contendrá información con respecto a la peligrosidad o cualquier contexto que represente algún daño posible a la integridad personal del mantenedor que contempla la realización o el proceso del paso o acción técnica a continuación de dicho “peligro”. La primera parte de este párrafo explicará el contexto, sustancias, componentes o acciones que representen una situación de riesgo para la integridad personal del mantenedor, y la segunda parte explicará la consecuencia puntual que puede resultar, la no realización exitosa de la tarea o acción técnica en cuestión.

PELIGRO: SIEMPRE UTILIZE GUANTES AL MOMENTO DE MANIPULAR OBJETOS CON TEMPERATURA ELEVADA U OBJETOS A BAJA TEMPERATURA. LESIÓN POR QUEMADURA PUEDE OCURRIR.

- A. Utilice un soplete para elevar la temperatura de las conexiones de las líneas de alimentación de agua de la caldera.

Siguiendo con el siguiente párrafo especial dentro del procedimiento de mantenimiento y similar al previamente mencionado, estarán las precauciones, las cuales indicarán circunstancias que son creadas por la realización de la tarea o acción técnica inmediatamente seguida a este párrafo, que crea una posibilidad de daño, falla o reducción a la serviciabilidad del equipo o componente. De la misma manera en que los peligros especifican ambos la acción relevante y la consecuencia que puede ocurrir al no completar el paso técnico satisfactoriamente, las precauciones indicaran la falla específica que puede ocurrir y afectar al equipo o componente al cual se le realiza la acción o tarea técnica dentro del procedimiento.

PRECAUCIÓN: NO AUMENTE LA TEMPERATURA GENERAL DEL CILINDRO POR SOBRE LOS 2000°F (1093°C). DEFORMACION AL DIAMETRO ORIGINAL Y DAÑO AL CILINDRO PUEDE OCURRIR.

- A. Suelde la bifurcación del cilindro de transporte. Refiérase a la norma DVS2207/ISO 21307, Figura 1.2, y a lo siguiente:

Por último, se encontrarán las notas, las cuales consistirán en párrafos más cortos y limitados con respecto a la implicancia que indicará esta información. La función principal que tendrán las notas, será la de entregar información adicional, no necesaria o indispensable para la realización del paso o tarea técnica que antecede inmediatamente la

nota. Esta información adicional servirá como una ayuda para aspectos extrínsecos a los que conlleva la realización del paso el cual llevará la nota. Un ejemplo de esto es lo siguiente:

A. Instale el cilindro en la fijación de soldadura.

Nota: Varios cilindros pueden ser instalados en el mismo eslabón de la fijación de soldadura.

3.2.1.10. Referencias

Para lograr una mejor lectura del orden lógico y crear un documento técnico de mantenimiento centrado a describir procesos y tareas específicas de la manera más detallada posible, sin repetir estándares o secciones de información con una frecuencia elevada, se implementará el uso de referencias dentro del documento, las cuales podrán ser internas o externas.

Las referencias internas son las denominaciones acotadas para secciones de información que ya se encuentran dentro del procedimiento mismo, a las cuales se necesitará tener un acceso simultáneo mientras se realiza la acción o tarea técnica en la cual está presente la referencia. Estas secciones de información son tablas, ilustraciones, y pasos puntuales que ya se encuentran presentes anterior o posterior al paso en el cual se encuentren estas referencias internas.

De la misma manera, las referencias externas, son las denominaciones para información o secciones de información que no están presentes en el documento, pero si están indicadas dentro de las tablas de documentación anexa presente al comienzo del documento del plan de mantenimiento. Estas denominaciones estarán indicadas por el nombre completo del documento al cual se le indica la referencia, o bien, se podrá acotar siguiendo un estándar de denominación que precede al documento del plan de mantenimiento como tal, como lo son las nomenclaturas de especificaciones estándares internacionales.

Por último, ambas referencias estarán construidas por medio de hipervínculos, para el uso del documento del plan de mantenimiento por medio de plataformas digitales, los cuales facilitarán en mayor medida, el acceso a la información o secciones de informaciones que estas referencias indican. A través del uso de estos hipervínculos, las referencias internas llevarán el documento al punto exacto donde está presente la información indicada, y las referencias externas se conectarán a la biblioteca técnica de la empresa donde estarán almacenados la información anexa que precedan a los documentos de mantenimiento existentes para la mantención de los equipos y sistemas de la empresa.

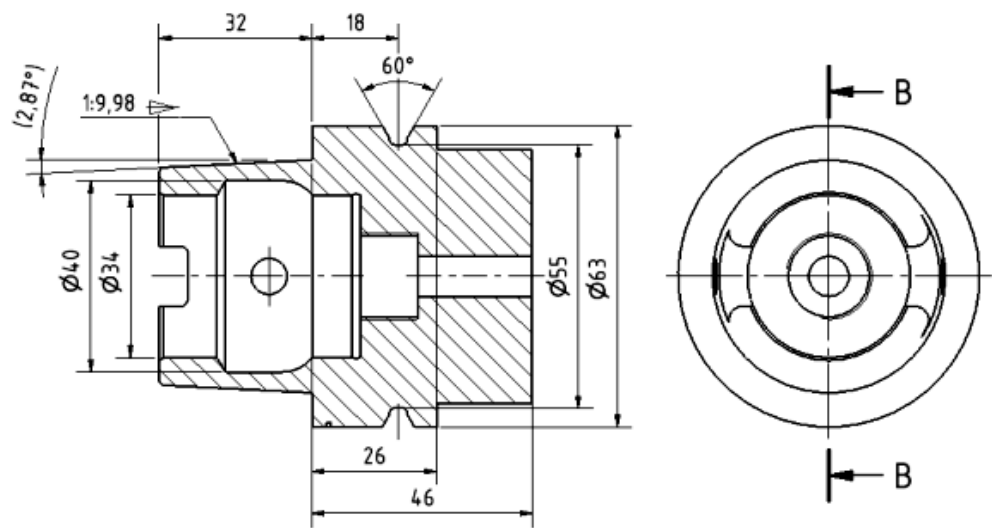


Figura 3-7: Ejemplo de una ilustración con corte y sección.

Fuente: <https://medium.com/@sakshibose1/cad-made-technical-drawing-and-drafting-easy-abe9a40bf841>.

B) Figuras para procedimientos de desarme y armado: Con el objetivo de crear una visualización de la fijación, conexión, y relación entre los componentes y sistemas del equipo, estas ilustraciones mostrarán todos los componentes relacionados al montaje e instalación del sistema o equipo, ordenados mediante una vista en explosión, indicando con líneas segmentada, la dirección, cantidad, y orden lógico, el cual estos componentes se unen para completar el equipo o subsistema. La creación de esta figura, será en la práctica, completamente nueva, dada la dificultad de usar material de representación real como lo es una fotografía del componente en terreno, ya que el esfuerzo necesario para orientar cada uno de estos componentes y su relación con los demás, no aporta en gran medida en aumentar la comprensión del contexto físico del equipo a ser trabajado. Por esta razón, las ilustraciones técnicas que serán usadas para indicar los sistemas o equipos en su fase de armado y desarme, estarán compuestas con una resolución menor, es decir, omitiendo detalles como hilo en pernos, detalles de la superficie, medidas de componentes y distancia entre ellos, entre otros. También indicar que estas figuras comenzaran sin el uso de color, pero no se restringe al uso de este, excepto que, al momento de hacer uso de color, se debe hacer una diferencia entre los componentes en cuestión, la sección del equipo de fondo donde se encuentra situado este sistema, y el uso de herramientas durante el proceso de armado o desarme.

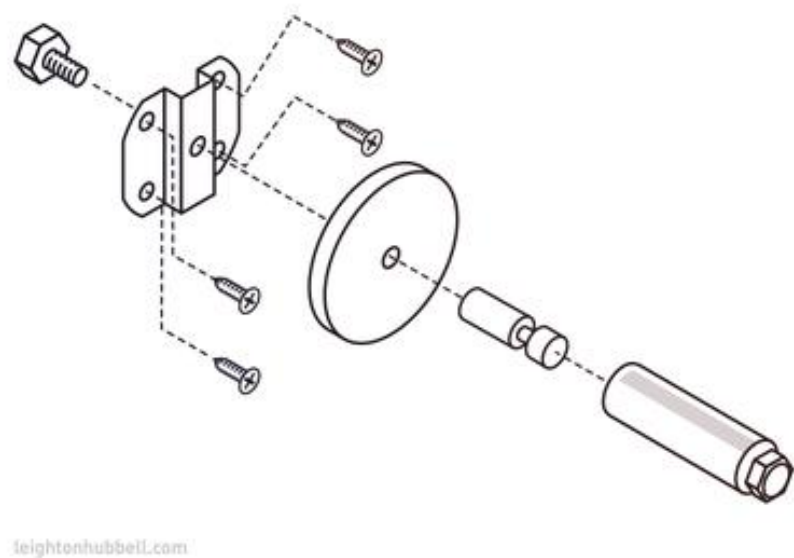


Figura 3-8: Ejemplo de una ilustración en vista en explosión de un sistema.

Fuente: <https://dribbble.com/shots/6765330-Exploded-View-illustration>.

Por último, indicar la inclusión de un marcador especial no complejo, similar a un punto cardinal, que representará la orientación física del equipo general, y que ayudará para una mayor comprensión del contexto al cual hace referencia la ilustración.

3.2.1.12. Párrafo de acción requerida para el término del mantenimiento

Siguiendo el mismo objetivo que el primer párrafo del documento después de la introducción del procedimiento de mantenimiento a realizar, el párrafo de acción requerida para el término del mantenimiento tiene como función oficializar el cumplimiento del procedimiento del documento del plan de mantenimiento realizado. Esto crea un punto claro, en el cual el equipo sale de un periodo de parada o reducción de funcionamiento, debido a un requerimiento de un procedimiento de mantenimiento a realizar, presentando el cumplimiento satisfactorio de este, y otorgando al equipo la condición de serviciabilidad nuevamente.

3.3. PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO PROPUESTO

Después de haber analizado las distintas filosofías de mantenimiento, el objetivo que cumplen, y sus alcances que proporcionan para los requerimientos de la empresa, junto con las distintas secciones y características a estar presente dentro del documento del plan de mantenimiento a diseñar con el enfoque de un mantenimiento predictivo, y el contexto actual de la empresa y disyuntiva de mantenimiento escogida para el desarrollo de este trabajo de título, se procederá a continuación con el diseño y creación de un plan de mantenimiento predictivo, que tenga como objetivo crear un estándar de protocolo para los procedimientos de mantenimientos para la empresa, y establecer un método de registro de mantenimiento simple y consistente.

Para lograr una diferenciación entre el procedimiento del plan de mantenimiento predictivo, y el desarrollo de este trabajo de título, se cambiará el formato y estilo del documento a lo largo y solo durante, el desarrollo del documento del plan de mantenimiento predictivo propuesto.

INSPECCION GENERAL DE COMIENZO DE TURNO DE
FUNCIONAMIENTO – CALDERA DE VAPOR CLEAVER BROOKS
CB 400-300

Este procedimiento entrega la información necesaria para realizar la inspección general del comienzo de turno de funcionamiento de la caldera de vapor Cleaver Brooks modelo CB 400-300, ubicada al lado frontal del tanque de alimentación de agua, dentro del establecimiento de central térmica.

Tabla 3-1: *Frecuencia de Mantenimiento y Requerimiento de Personal Mantenedor*

Frecuencia de Mantenimiento	Mano de Obra Requerida	Dificultad del Procedimiento
Cada 12 Horas	1 HH/1 Mantenedor	Media
Cronológicas de Funcionamiento		
Continuo, o Comienzo de Turno de Funcionamiento		

Fuente: Elaboración propia para formulario tipo del procedimiento del plan de mantenimiento.

Acción Requerida Previa al Mantenimiento

Inspección General de Termino de Turno de Funcionamiento – Caldera de Vapor
Cleaver Brooks CB 400-300.

Tabla 3-2: Documentación Anexa

IDENTIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN
DS 10	Reglamento de Calderas, Autoclaves y Equipos que Utilizan Vapor de Agua

Fuente: Elaboración propia para formulario tipo del procedimiento del plan de mantenimiento.

Tabla 3-3: Herramientas Requeridas

IDENTIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN
--	Kit de Análisis de Purga

Fuente: Elaboración propia para formulario tipo del procedimiento del plan de mantenimiento.

Tabla 3-4: Insumos Requeridas

IDENTIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN
--	Paño de Limpieza
--	Solución de Agua Jabonada

Fuente: Elaboración propia para formulario tipo del procedimiento del plan de mantenimiento.

- A. Realice una inspección general del funcionamiento automático de la caldera Cleaver Brooks modelo CB 400-300 y condición física general de la caldera. Refiérase a la Figura 3-9 y a lo siguiente:

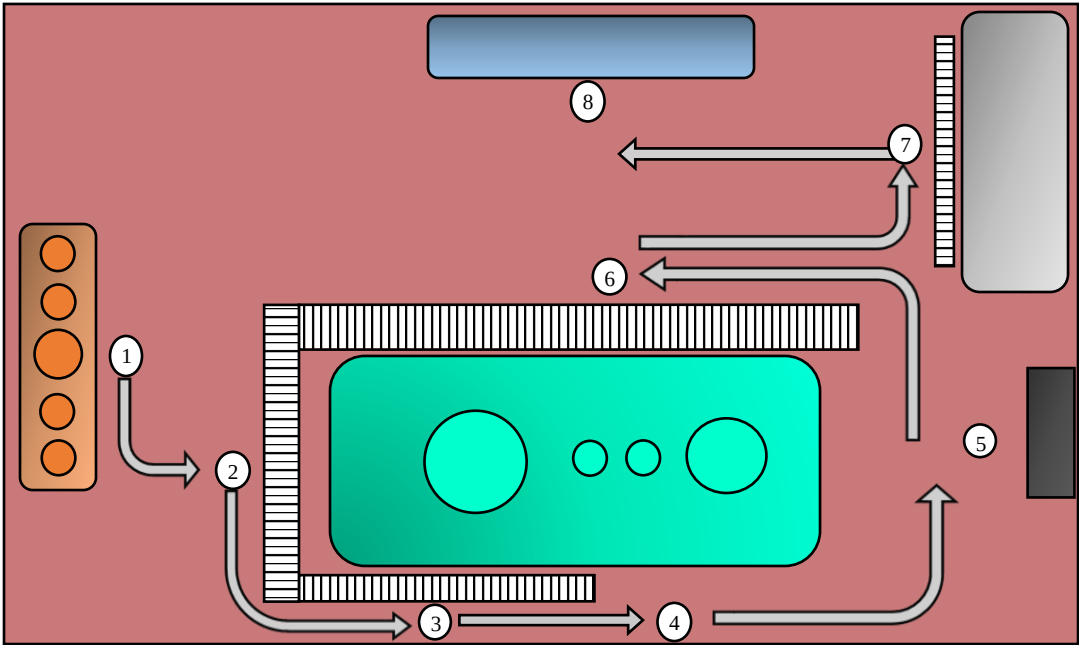


Figura 3-9: Ruta de Inspección General de Comienzo de Turno

Fuente: Elaboración propia para formato tipo del procedimiento del plan de mantenimiento.

Figura 3-10:

PELIGRO: SIEMPRE UTILIZE GANTES AL MOMENTO DE MANIPULAR OBJETOS CON TEMPERATURA ELEVADA U OBJETOS A BAJA TEMPERATURA. LESIÓN POR QUEMADURA PUEDE OCURRIR.

- 1) Realice una inspección general visual del árbol de distribución de vapor, ubicado en la zona frontal a la caldera. Utilice un paño de limpieza si ha de ser necesario para una mejor visualización de la superficie del árbol. Refiérase a la Figura 3-10 y a lo siguiente:



Figura 3-11: Árbol Principal de Distribución de Vapor

Fuente: Elaboración propia visita en terreno central térmica del hospital de carabineros Av. Antonio Varas N° 2500, comuna de Providencia, Santiago, Chile.

- a) Realice una inspección visual de la condición general del colector principal de vapor y los tubos de distribución de vapor. Refiérase a lo siguiente:
 - 1) Realice una inspección visual de los tubos de distribución de vapor por filtraciones o fugas de presión.
 - 2) Realice una inspección visual de los tubos de distribución de vapor por corrosión y óxido.
 - 3) Realice una inspección visual de los tubos de distribución de vapor por abolladuras y grietas.
 - 4) Realice una inspección visual del tubo colector principal por filtraciones o fugas de presión.
 - 5) Realice una inspección visual del tubo colector principal por corrosión y óxido.
 - 6) Realice una inspección visual del tubo colector principal por abolladuras y grietas.

- 2) Realice una inspección visual general del sistema de funcionamiento y control automático de la caldera. Refiérase a las Figura 3-11, Figura 3-12, y a lo siguiente:



Figura 3-12: Sistema de Control, Encendido, y Funcionamiento Automático de la Caldera

Fuente: Elaboración propia visita en terreno central térmica del hospital de carabineros Av. Antonio Varas N° 2500, comuna de providencia, Santiago, chile.

Figura 3-13:

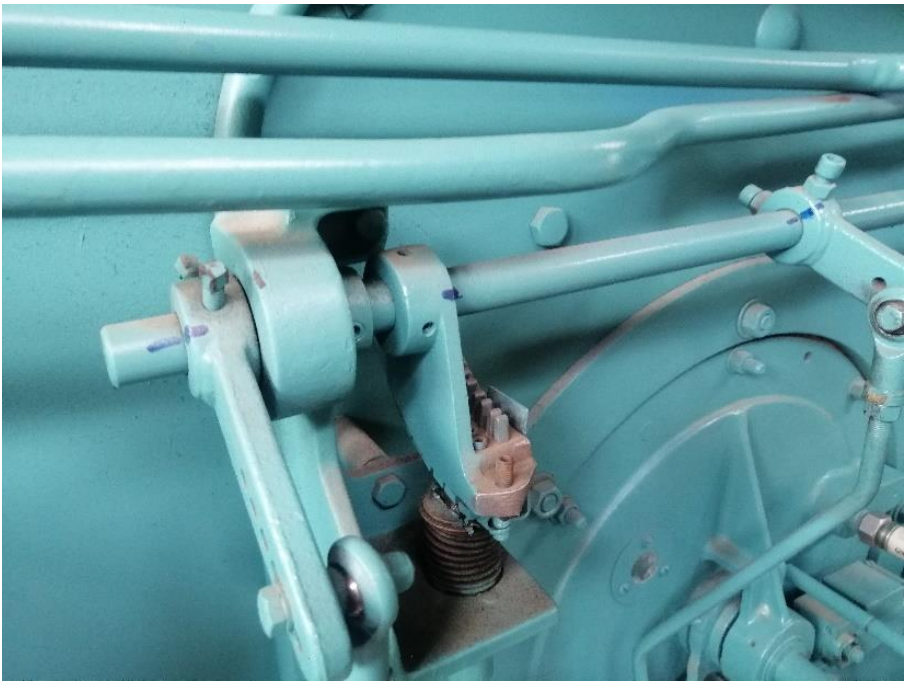


Figura 3-14: Varillas de Sistema de Control Automático de la Caldera

Fuente: Elaboración propia visita en terreno central térmica del hospital de carabineros Av. Antonio Varas N° 2500, comuna de providencia, Santiago, chile.

- a) Realice una medición de la presión y temperatura nominal del funcionamiento de caldera.

Nota: Los medidores de presión y temperatura nominal se encuentran en la zona superior izquierda a la placa de identificación de la caldera.

- b) Realice una inspección visual de las varillas del sistema de control automático de la caldera. Compruebe que las marcas de ajuste de calibración estén alineadas correctamente. Refiérase a la Figura 4.
- c) Si es necesario, remarque cualquier marca de ajuste de calibración de las varillas del sistema de control automático de la caldera que se encuentren borrosas, discontinuas, o dañadas. Utilice un marcador con tinta permanente del mismo color de tinta que las marcas originales creadas.
- d) Compruebe que los pernos y tuercas de fijación y unión de las varillas del sistema de control automático no estén sueltas. Apriete las tuercas y pernos que se encuentren sueltos con apriete de mano.

- 3) Realice una medición del nivel de agua de la caldera y sistema de control de presión del funcionamiento automático de la caldera. Refiérase a lo siguiente:

Nota: Los medidores de nivel de agua y presostatos del control de presión del funcionamiento automático se encuentran en la zona superior izquierda del lado derecho de la caldera.

- a) Realice una medición del nivel de agua de funcionamiento actual de la caldera.
 - b) Realice una inspección general visual de la condición física del presostato de operación, presostato de modulación, y presostato de seguridad del sistema de control de presión de la caldera.
- 4) Realice una prueba funcional de las válvulas de alivio de presión. Refiérase a la Figura 3-13 y a lo siguiente:



Figura 3-15: Zona posterior de la Caldera de Vapor Cleaver Brooks

Fuente: Elaboración propia visita en terreno central térmica del hospital de carabineros Av. Antonio Varas N° 2500, comuna de Providencia, Santiago, Chile.

- a) Realice una prueba funcional de las 2 válvulas de alivio de presión de la caldera. Tire de las manillas manuales de accionamiento de las válvulas de alivio de presión hasta levantar la tapa y observar un breve escape de vapor por la zona superior de la caldera. Las manillas que accionan las válvulas de presión se encuentran a una altura media en el lado derecho de la válvula de presión.
- B. Realice una inspección del funcionamiento automático de la bomba de químicos del estanque de alimentación principal. Refiérase a lo siguiente:
- 1) Realice una inspección del funcionamiento automático de la bomba de químicos del estanque de alimentación principal de la central térmica, observando el bombeo periódico de la línea de alimentación de químicos hacia el estanque.

2) Realice una inspección visual general del tren de gas, líneas de alimentación de gas y línea de purga de la caldera. Refiérase a la Figura 3-14, Figura 3-15, y a lo siguiente:



Figura 3-16: Línea de Alimentación de Gas y Línea de Purga de la Caldera – Zona Posterior

Fuente: Elaboración propia visita en terreno central térmica del hospital de carabineros Av. Antonio Varas N° 2500, comuna de providencia, Santiago, Chile.

Figura 3-17:



Figura 3-18: Línea de Alimentación de Gas y Línea de Purga de la Caldera – Vista Frontal

Fuente: Elaboración propia visita en terreno central térmica del hospital de carabineros Av. Antonio Varas N° 2500, comuna de Providencia, Santiago, Chile.

- a) Realice una inspección visual general del tren de gas, líneas de alimentación de gas de la caldera por filtraciones. Refiérase a lo siguiente:
 - 1) Recorra la extensión completa del tren de gas y líneas de alimentación de gas lentamente y analice cualquier rastro detectable por olfato de alguna emanación de gas.
 - 2) En el caso de presencia de emanación de gas proveniente, localice la filtración de gas usando una solución de agua jabonada y realice la acción correctiva pertinente.
- b) Realice una inspección visual general de la línea de purga de la caldera por filtraciones.
- c) Realice una inspección visual general de la línea de purga de la caldera por abolladuras y grietas.
- d) Realice una inspección visual general de la línea de purga de la caldera por óxido y corrosión.

- 3) Realice una inspección visual general del estanque de alimentación principal. Refiérase a la Figura 3-16 y a lo siguiente:



Figura 3-19: Estanque de Alimentación Principal de la Central Térmica

Fuente: Elaboración propia visita en terreno central térmica del hospital de carabineros Av. Antonio Varas N° 2500, comuna de providencia, Santiago, chile.

- a) Realice una medición del nivel de agua del estanque de alimentación principal. El medidor de volumen se encuentra en la zona superior derecha del estanque.
 - b) Realice una inspección general del estanque de alimentación principal por filtraciones.
 - c) Realice una inspección general de las conexiones entre el estanque de alimentación principal y las bombas de alimentación de la caldera por filtraciones.
 - d) Realice una inspección general de las conexiones entre el estanque de alimentación principal y las bombas de alimentación de la caldera por oxido y corrosión.
- 4) Realice una inspección visual general de las bombas del estanque de alimentación principal. Refiérase a la Figura 3-17 y a lo siguiente:



Figura 3-20: Estanque de Alimentación Principal de la Central Térmica

Fuente: Elaboración propia visita en terreno central térmica del hospital de carabineros Av. Antonio Varas N° 2500, comuna de providencia, Santiago, Chile.

- a) Realice una inspección visual general del funcionamiento de la bomba de alimentación primaria de la caldera.
 - b) Realice una inspección visual general de la línea de salida de la bomba de alimentación primaria de la caldera por filtraciones.
 - c) Realice una inspección visual general de la línea de salida de la bomba de alimentación primaria de la caldera por oxido y corrosión.
 - d) Realice una inspección visual general de la condición física de la bomba de alimentación de respaldo de la caldera.
 - e) Realice una inspección visual de la línea de salida de la bomba de alimentación de respaldo de la caldera por oxido y corrosión.
- 5) Realice una inspección visual general de la caldera de uso civil. Refiérase a la Figura 3-18, Figura 3-19 y a lo siguiente:



Figura 3-21: Caldera de Uso Civil de la Central Térmica

Fuente: Elaboración propia visita en terreno central térmica del hospital de carabineros Av. Antonio Varas N° 2500, comuna de providencia, Santiago, chile.

Figura 3-22:

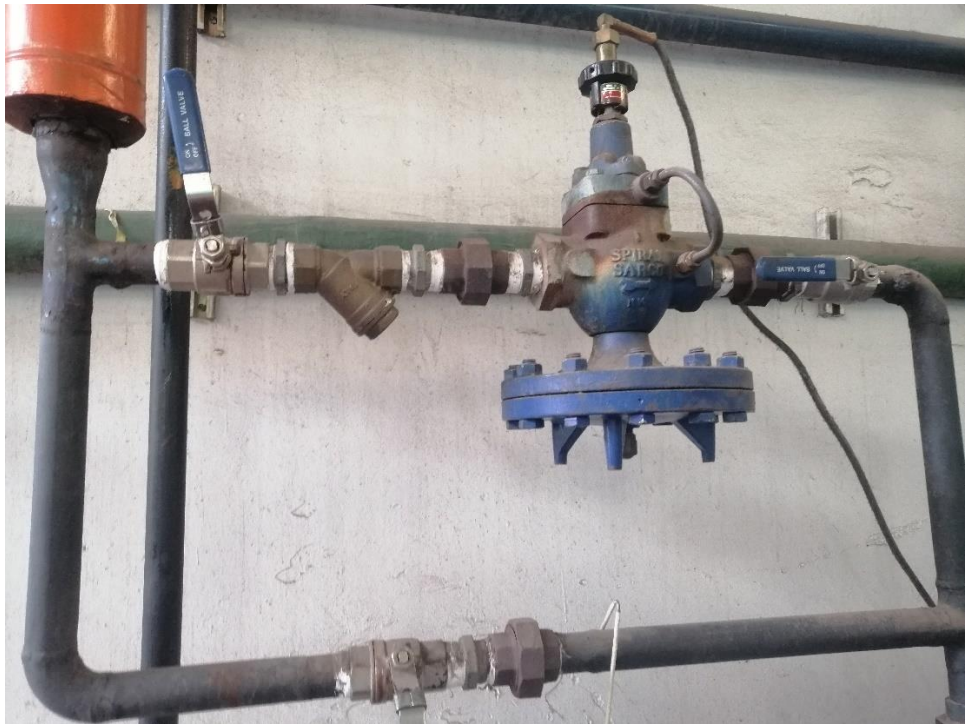


Figura 3-23: Línea de Purga y Línea de Salida de Vapor de la Caldera de Uso Civil

Fuente: Elaboración propia visita en terreno central térmica del hospital de carabineros Av. Antonio Varas N° 2500, comuna de providencia, Santiago, chile.

Figura 3-24:

- a) Realice una medición de los parámetros de presión y temperatura de funcionamiento de la caldera de uso civil. Los medidores de presión y temperatura de la caldera se encuentran en la zona media superior de la caldera.
 - b) Realice una inspección visual general de la caldera de uso civil por abolladuras y grietas.
 - c) Realice una inspección visual general de la caldera de uso civil por óxido y corrosión.
 - d) Realice una inspección visual general de la línea de purga de la caldera de uso civil por filtraciones.
 - e) Realice una inspección visual general de la línea de purga de la caldera de uso civil por óxido y corrosión.
 - f) Realice una inspección visual general de la línea de salida de vapor de la caldera de uso civil por filtraciones.
 - g) Realice una inspección visual general de la línea de salida de vapor de la caldera de uso civil por óxido y corrosión.
- 6) Realice un análisis de agua de purga de la caldera. Refiérase a la Figura 3-20, Figura 3-21, Tabla 3-5, y a lo siguiente:



Figura 3-25: Kit de Análisis de Purga

Fuente: Elaboración propia visita en terreno central térmica del hospital de carabineros Av. Antonio Varas N° 2500, comuna de Providencia, Santiago, Chile.

Figura 3-26:

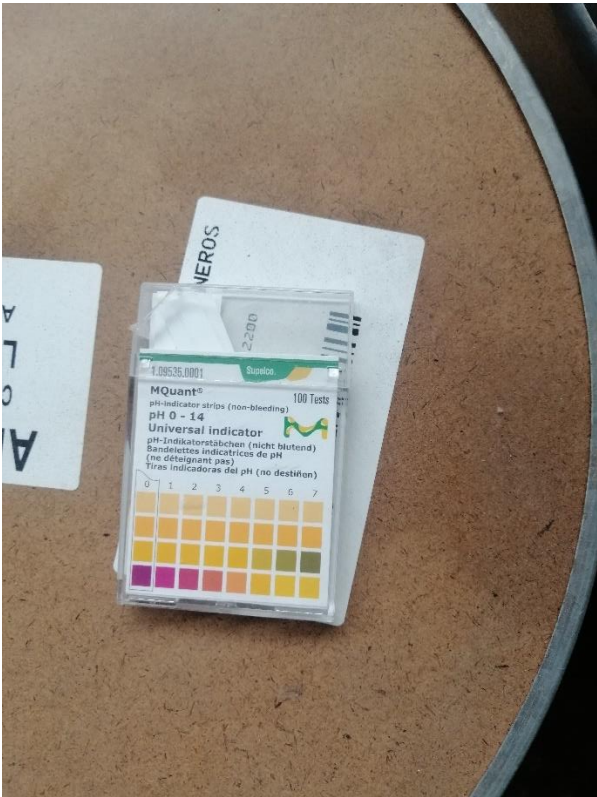


Figura 3-27: Indicador Universal de pH del Kit de Análisis de Purga

Fuente: Elaboración propia visita en terreno central térmica del hospital de carabineros Av. Antonio Varas N° 2500, comuna de providencia, Santiago, Chile.

- 1) Obtenga una muestra de la descarga de la línea de purga de la caldera de vapor Cleaver Brooks.
- 2) Realice una medición de la cantidad de cloruro de la muestra de purga de la caldera y registre el resultado.
- 3) Realice una medición de la cantidad de neutralizante de la muestra de purga de la caldera y registre el resultado.
- 4) Realice una medición de la cantidad de dispersante de la muestra de purga de la caldera y registre el resultado.
- 5) Realice una medición de la acidez/alcalinidad, o pH de la muestra de purga de la caldera y registre el resultado.

Tabla 3-5: Resultados de Análisis de Purga

CANTIDAD DE CLORURO	
CANTIDAD DE DISPERSANTE	
CANTIDAD DE NEUTRALIZANTE	
PH	

Fuente: Elaboración propia para formulario tipo del procedimiento del plan de mantenimiento.

Acción Requerida Termino del Mantenimiento

Registro y Conformidad del Supervisor del Documento de Mantenimiento –
Inspección General de Comienzo de Turno de Funcionamiento - Vapor Cleaver
Brooks CB 400-300.

3.4. USO Y CONTROL DEL PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO
PROPUESTO

Una vez ya diseñado el documento y procedimiento del plan de mantenimiento preventivo para el equipo, se indicarán algunas medidas de uso y control que estarán sujetas a este. Esto con el objetivo de crear un estándar de procedimiento técnico para los materiales de información de mantenimiento que usara la empresa para sus equipos, y para el control de mantenimiento como departamento. Cabe mencionar, que tanto el diseño del documento del plan de mantenimiento predictivo, y su uso detallado dentro de las siguientes indicaciones, funcionan en conjunto con la finalidad de acercarse a la meta final de este trabajo, la cual es el aumento de la confiabilidad de los procesos de mantenimiento a ser realizado dentro de la empresa, y el control de este, a través de prácticas estándares que se refuerzan entre sí.

3.4.1. Uso del plan de mantenimiento propuesto por el mantenedor

Comenzando por el inicio del requerimiento de mantenimiento para el equipo, el mantenedor deberá recibir o adquirir, material técnico relacionado a la tarea de mantenimiento, y que será de vital importancia para asegurar la confiabilidad de este. El conjunto de estos documentos de material técnico se denominará como portafolio técnico o de mantenimiento, el cual consistirá de los siguientes documentos o semejantes:

- A) Orden de trabajo del requerimiento de mantenimiento a realizar: La orden de trabajo es un documento esencial para la oficialización del mantenimiento y su costo

dentro de la empresa, y será requerida en toda circunstancia en la cual algún equipo deba reducir o detener su funcionamiento para dar paso a un proceso de mantenimiento. Esto garantiza la oficialización del mantenimiento a realizar como procedimiento con costo, duración, y complejidad, además de crear un sistema de predicción y control de costos asociados a los procesos de mantenimiento de la empresa. Esta orden de trabajo también incluirá información de planificación de mantenimiento, estableciendo una causa tangible de la creación de la orden en primer lugar.

WORK ORDER REQUEST FORM

Hornell City Schools
25 Pearl St.
Hornell, NY 14843

☐ MAINTENANCE

☐ GROUNDSKEEPING

☐ PLUMBING

☐ CUSTODIAL

Date:

Requestor:

Department:

Request:

Urgency Category:

☐ Emergency

☐ One Day

☐ This Week

☐ When Possible

Requested by:

Approved by:

☐ Approved

☐ Denied

☐ Budgeted

☐ Unbudgeted

MAINTENANCE DEPARTMENT USE ONLY

Date received:

Date started:

Custodian(s):

Date completed:

Hours to complete:

Work performed:

Materials used:

Maintenance Priority:

(1-5)

Scheduled Date:

Follow up required:

☐

H:\Forms Folder\WORK ORDER FORM.doc
July 31, 2007

Figura 3-28: Ejemplo formato de orden de trabajo a utilizar en conjunto del plan de mantenimiento propuesto

Fuente: <https://www.sampleforms.com/work-request-form.html>.

B) Documento del plan de mantenimiento a realizar: Siguiendo a la orden de trabajo, se encontrará la documentación que contendrá toda la información requerida para la realización del procedimiento de mantenimiento, y el procedimiento mismo del plan de mantenimiento. Esta documentación puede ser plasmada físicamente en papel, o bien digitalmente, mediante el uso de dispositivos electrónicos, como lo son las tables o computadoras portátiles, si es que se cuenta con un sistema de respaldo en tiempo real, que garantice la seguridad del material a ser usado, en caso de daño o pérdida.

Por último, indicar que el mantenedor deberá realizar una visualización inicial del procedimiento de mantenimiento, y comprobar que el material necesario para la realización de este, se encuentre presente en el portafolio. Esto con el fin de crear un proceso de mantenimiento continuo, y no interrumpido por la necesidad de adquisición de material técnico, componentes, o herramientas necesarias para un paso en específico dentro del procedimiento del plan de mantenimiento.

C) Comprobante de compra venta o adquisición comercial de componentes: En el caso de que el plan de mantenimiento requerido contemple el uso de consumibles o componentes, el mantenedor deberá comprobar la existencia de documentación de transacción comercial relacionada al componente o consumible a usar. Esto para crear la trazabilidad de la procedencia de consumibles y componentes a ser usados para el mantenimiento de los equipos de la empresa, y con ello, su confiabilidad de consumible con vida útil plena o componente servicable. En el caso de repuestos manejados en cantidades no contables singularmente, como lo son ferretería, líquidos, grasas, entre algunos, se deberá indicar el número de lote de procedencia, además de la documentación de adquisición comercial ya previamente mencionado.

Una vez establecido la relevancia y existencia del portafolio técnico o de mantenimiento a ser usado por el mantenedor, se avanzará con algunas indicaciones a tener presente en el desarrollo de las tareas o acciones del procedimiento del plan de mantenimiento, como también indicaciones específicas que aplicarán para casos y pasos puntuales dentro del procedimiento de mantenimiento.

Para establecer la confirmación de la realización de tarea o acción técnica dentro del procedimiento a medida que el mantenedor ejecuta, completa, y avanza con los distintos pasos dentro del procedimiento de mantenimiento, se requerirá indicar la realización exitosa de dichos pasos, para que posteriormente se compruebe su veracidad por medio del supervisor de mantenimiento. Esto se logrará mediante el uso de marcas permanentes

tangibles, en el caso del uso de papel, las cuales serán representadas por firmas realizadas por el mantenedor, la cual deberá incluir información relacionada con:

- A) Identificación del profesional mantenedor que ejecuta la acción técnica (nombre y rut).
- B) Identificación del profesional mantenedor que indique la certificación técnica o licencia de mantenedor aprobada por la autoridad competente.
- C) Identificación de herramienta específica usada, en el caso de que el paso en particular requiera el uso de herramientas.
- D) Resultado numérico obtenido mediante el uso de herramientas de apriete o torque, y medición de alguna magnitud física o dimensional.

Con el fin de evitar entorpecer o ralentizar el flujo el cual se ejecuta cada uno de los pasos del procedimiento del plan de mantenimiento, se puede acomodar el registro de la confirmación de la realización del paso, mediante el uso de marcas simples que indiquen de forma afirmativa (o check) al término de cada oración del paso técnico la realización satisfactoria de este, y solo usar la marca de firma, junto con la información profesional personal del mantenedor que realizó los pasos confirmados, una sola vez dentro de la hoja del documento físico del procedimiento del plan de mantenimiento, como se aprecia en el siguiente ejemplo:

1. Asegúrese que los cilindros estén removidos de la cinta y a lo siguiente: ✓

A) Antes de realizar este procedimiento, remueva los cilindros. Refiérase a 10-10-20 Cilindros de transporte ✓

2. Si es necesario, limpie el área de reparación. Refiérase a la Figura 1 y a lo siguiente. ✓

PELIGRO: REFIERASE A LA ETIQUETA DEL PRODUCTO Y A SU HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD (HDS) PARA INSTRUCCIONES SOBRE EL PELIGRO, ALMACENAJE, TRANSPORTE Y USO APROPIADO DE ESTE PRODUCTO.

A) Utilice una tela húmeda con Alcohol Isopropílico para limpiar la base, el cuerpo y las ranuras de instalación del cilindro. ✓

B) Instale el cilindro en la base de soldadura. ✓

Nota: Varios cilindros pueden ser instalados en el mismo eslabón en la base de soldadura.

3. Suelde la bifurcación del cilindro de transporte. Refiérase a la norma DVS2207/ISO 21307, Figura 1.2, y a lo siguiente: ✓

A) Utilice cable de soldadura Inco 625 y suministro de gas de argón. ✓

B) Mantenga la entrega de temperatura al cilindro al mínimo posible mientras realice el procedimiento de soldadura de acuerdo a lo siguiente: ✓

PRECAUCION: NO AUMENTE LA TEMPERATURA GENERAL DEL CILINDRO POR SOBRE LOS 2000°F (1093°C). DEFORMACION AL DIAMETRO ORIGINAL Y DAÑO AL CILINDRO PUEDE OCURRIR.

1) Realice varias pasadas cortas de soldadura y permita que la temperatura de cada cordón disminuya antes de comenzar un cordón diferente. ✓



Figura 3-29: Ejemplo de registro físico realizado por el mantenedor del documento del plan de mantenimiento

Fuente: Elaboración propia, pauta uso de programa de mantenimiento de presentación de avance de trabajo de título.

Estas marcas deberán ser creadas en el documento del procedimiento del plan de mantenimiento, utilizando medios permanentes y no fáciles de modificar o borrar. Por esto se recomienda el uso marcador permanente (lápiz de tinta) para crear el registro explicado de manera que sea resistente a la modificación o borrado del documento físico del procedimiento. Adicionalmente, se recomendará la implementación de un timbre personal

para cada mantenedor, esto con el fin de crear un estándar de impresión del registro profesional personal del mantenedor que realiza los pasos del procedimiento del plan de mantenimiento propuesto.

3.4.2. Uso del plan de mantenimiento completado por el supervisor

Siguiente de las indicaciones para el uso del documento del procedimiento del plan de mantenimiento por el mantenedor a cargo de realizar el mantenimiento predictivo propuesto, se explicará el papel que cumplirá el supervisor a cargo de tanto el sector de producción de la empresa, equipos o maquinaria de producción, o cualquier persona con la competencia y experiencia técnica responsable de comprobar y ratificar el mantenimiento realizado por los mantenedores designados por la empresa. El rol que ha de cumplir la autoridad supervisora del mantenimiento previamente indicada, será el de revisar, comprobar, aportar asistencia para el mantenimiento de ser necesaria, y ratificar el mantenimiento realizado y registrado por el mantenedor en el documento del procedimiento del plan de mantenimiento propuesto, por medio de las siguientes indicaciones:

- A) Una vez finalizado el procedimiento de mantenimiento por el mantenedor, el supervisor comprobará que el documento del procedimiento del plan de mantenimiento esté correctamente registrado, y que la información de identificación profesional del mantenedor este incluida en cada una de las páginas del procedimiento, en las que se indique cualquier acción o tarea técnica que el mantenedor realizó.
- B) Comprobar mediante una inspección general simple, que las acciones, pasos, y tareas técnicas se hayan realizado efectivamente en el equipo, sistema, o componente en cuestión. En el caso de encontrarse una discrepancia entre lo indicado por el procedimiento de mantenimiento, y lo realizado y registrado físicamente, el supervisor debe indicar al mantenedor el requerimiento de deshacer la discrepancia realizada al equipo, sistema, o componente, y realizar nuevamente el paso específico del procedimiento del plan de mantenimiento.
- C) Comprobar el resultado de las mediciones de magnitudes físicas o magnitudes dimensionales realizadas por el mantenedor, y verificar la herramienta de medición utilizada para la obtención de dichas medidas.

Por último, indicar que el rol que ha de cumplir el supervisor del mantenimiento no será la supervisión completa de la realización de cada uno de los pasos que comprende el documento del procedimiento del plan de mantenimiento propuesto, ni tampoco la

comprobación de cada uno de estos pasos completados por el mantenedor, sino que deberá existir una confiabilidad mutua con respecto a las capacidades técnicas tanto del mantenedor que realiza el mantenimiento dentro de la empresa, como las capacidades técnicas y experiencia adquirida por el supervisor para otorgar la aprobación final del mantenimiento realizado, y lograr un flujo de trabajo con un ritmo y fluidez que permita un desarrollo de diferentes actividades de mantenimiento dentro de la empresa, sin hacer conflicto con el desarrollo de las actividades productivas que realizan los equipos y sistemas dentro de la empresa.

3.4.3. Control del plan de mantenimiento propuesto

Luego de la aprobación del supervisor final del mantenimiento realizado y registrado correctamente por el mantenedor, toda la documentación del portafolio técnico generado, junto con la orden de trabajo creada para la realización de este mantenimiento en particular, ha de ser conservada y archivada dentro de la biblioteca técnica provista por la empresa.

Junto con esta última indicación sobre el manejo del material técnico de mantenimiento, y registro creado por el mantenedor y aprobado por el supervisor, se ha de lograr el control del mantenimiento realizado dentro de la empresa, accediendo a los siguientes parámetros de control de mantenimiento:

- A) Fecha y contexto en el cual se realizó el mantenimiento programado propuesto
- B) Profesional técnico quien realizó el procedimiento de mantenimiento
- C) Procedimiento detallado sobre cada una de las acciones realizadas durante el proceso de mantenimiento realizado
- D) Detalle de indumentaria, herramientas, e insumos utilizados para la realización de cada paso del procedimiento del mantenimiento
- E) Trazabilidad económica sobre costos asociados para la realización del procedimiento de mantenimiento

Con la información mencionada anteriormente, el departamento de mantenimiento de la empresa tendrá a su disposición la información técnica, histórica, y económica necesaria para no solo conocer el cómo, cuándo, quien, porque, y cuanto, del mantenimiento realizado a los equipos, sistemas y componentes, sino que la base para la proyección de los requerimientos de mantenimiento a futuro de los equipos, sistemas, y componentes dentro de la empresa.

CAPITULO 4: EVALUACION ECONOMICA

4.1. VALORIZACION DEL PLAN DE MANTENIMIENTO PROPUESTO

En este capítulo se analizará tanto en aspecto general como en específico el valor asociado a cada proceso requerido para el desarrollo y creación del plan de mantenimiento propuesto en este proyecto. Para esto, se comenzará por describir dichos procesos para comprender su importancia e impacto en el desarrollo y creación del plan de mantenimiento.

4.1.1. Creación y corrección técnica del procedimiento del plan de mantenimiento

Comenzando por una estructura básica y teniendo enfoque en la parte técnica de la información incluida en este, es el proceso en que se desarrolla tanto la finalidad, profundidad y aspectos de control de las tareas técnicas a realizar, del plan de mantenimiento general propuesto. Para el desarrollo básico de este draft de documento se requiere tanto de un escritor/analista técnico con experiencia, pero no basta, en los sistemas, equipos, reglamentación, etc., en relación al ámbito que va orientado el plan de mantenimiento, como también un ingeniero en mantenimiento industrial con una experiencia moderada en el ámbito específico que trata el plan de mantenimiento. El rol que cumplen estas dos profesiones en la primera parte del desarrollo del plan de mantenimiento se contextualiza de acuerdo a que, la creación de un documento en las plataformas digitales establecidas no requiere un nivel de estudios y/o experiencia laboral del nivel de una ingeniería, ya que dicha experiencia y nivel de profesionalismo se puede utilizar en otros aspectos de la industria que requieran dicho nivel de conocimientos (análisis de falla, supervisión de mantenedores, etc.), y también indicando de que este primer proceso es el que más tiempo consume dentro de la creación del plan de mantenimiento. Sin embargo, se requiere de un ingeniero con el nivel de conocimientos antes descrito para la revisión final y aprobación de la información técnica, tiempos de ejecución del plan, finalidad, y otros aspectos a evaluar una vez que el draft inicial del documento del plan de mantenimiento tenga una forma más definitiva.

El valor asociado para estos dos cargos profesionales y su impacto en el valor final del plan de mantenimiento propuesto puede variar dependiendo de los ciclos de revisión y tiempo estimado/utilizado antes de la presentación final del documento. Esto lo podemos apreciar en la Tabla 4-2.

4.1.2. Edición y corrección gramática del procedimiento del plan de mantenimiento

Siguiendo con el proceso para avanzar con el draft del plan de mantenimiento, una vez la idea técnica está consolidada por el escritor técnico, y aprobada por el ingeniero en mantenimiento industrial, será revisada esta vez por un editor que este especializado en un diccionario técnico en el idioma seleccionado a presentar y mantener el documento del plan de mantenimiento propuesto. Esto con la finalidad de estandarizar un lenguaje y guía de estilo técnico para evitar ambigüedades durante la transmisión de la idea técnica del plan de mantenimiento hacia el mantenedor que usara este documento, y mantener una consistencia en este lenguaje para los planes de mantenimiento futuros a crear. Esto contribuye a mantener una misma filosofía de creación de distintos planes de mantenimientos dentro de la empresa, y con esto un estándar del lenguaje utilizado. Similar al punto anterior, el valor asociado para el proceso de edición del documento del plan de mantenimiento se puede apreciar en la Tabla 4-2.

4.1.3. Creación y corrección de ilustraciones técnicas del plan de mantenimiento

Desarrollándose junto con el proceso de creación y corrección técnica del plan de mantenimiento se encuentra la creación y corrección de ilustraciones técnicas que sean requeridas para representar de mejor manera el equipo, sistema, y componentes a manipular, como también indicar claramente la intención técnica del documento. Es importante indicar que, de acuerdo a la complejidad y profundidad del documento, este paso no sea completamente necesario, y se pueda reutilizar información entregada en documentación del fabricante. Para completar este proceso de ser necesario, se requerirá de un ilustrador técnico con conocimientos en el área de dibujo técnico e industrial, diseño gráfico o similares, de acuerdo con los softwares a usar para la creación y manejo de dichas ilustraciones. El valor asociado a esta parte del proceso se puede observar en lo indicado en la Tabla 4-2.

Tabla 4-1: Valor asociado por cargo

Profesión/Cargo	Remuneración Mensual Promedio	Remuneración por hora promedio	Carga laboral en el proyecto	Valor asociado de acuerdo a carga (proyecto 2 semanas u 80 horas)
Escritor/analista Técnico	\$ 650.000	\$ 4.063	50%	\$ 162.520
Ingeniero en Mantenimiento Industrial	\$ 960.000	\$ 6.000	20%	\$ 96.000
Editor	\$ 600.000	\$ 3750	10%	\$ 30.000
Ilustrador Técnico	\$ 650.000	\$ 4.063	20%	\$ 65.008

Fuente: Elaboración propia con valores obtenidos y promediados desde <https://cl.talent.com/salary?job=profesional>.

La tabla anterior muestra un valor asociado para cada parte del proceso, describiendo un poco en detalle el valor exacto entregado por duración del proceso en particular. Estos valores se entregan en relación a una duración de proyecto normal y sin complejidad en sus ciclos de revisión y/o corrección. Cabe destacar que estos procesos no ocurren simultáneamente debido a la naturaleza física del documento a tratar, ya que no se puede corregir un documento al mismo instante en el cual este se esté creando, o implementando comentarios o modificaciones del ciclo de revisión actual o anterior. La única excepción a este inconveniente, es el proceso de creación y corrección de las ilustraciones técnicas, ya que estas pueden llevarse a cabo, durante y al mismo instante de la creación y corrección del documento técnico que contempla el procedimiento de mantenimiento a realizar para el plan de mantenimiento, pero debido a que este proceso de ilustración no es similar, en términos de duración y complejidad, al proceso de redacción del documento como tal, no se hace necesario hacer una distinción con respecto al valor asociado que se indica en la tabla. Por último, indicar que todos los procesos de creación y/o corrección de procedimiento técnico e ilustraciones técnicas, deben estar completos e implementados en el documento como tal, para que este continúe con el proceso en general y sea evaluado de la mejor manera.

4.1.4. Softwares y herramientas asociadas para la creación y desarrollo del documento del plan de mantenimiento

A continuación, se analizarán las distintas herramientas y softwares requeridos y/o a utilizar para la creación del documento del plan de mantenimiento propuesto, en el mismo orden para el cual aplican a los procesos de desarrollo antes descritos y su relevancia dentro de estos procesos, como también, entregar alternativas o equivalentes. Esto último para proveer una opción rápida y efectiva para una proyección más simple de un costo asociado solamente al documento del plan de mantenimiento como tal, y no una proyección como departamento con la finalidad de la creación de varios planes de mantenimiento para equipos y sistemas dentro de una empresa. Finalmente, el valor o costo asociado para la obtención de estos softwares y herramientas se verá representado en las Tabla 4-3 y 4-4.

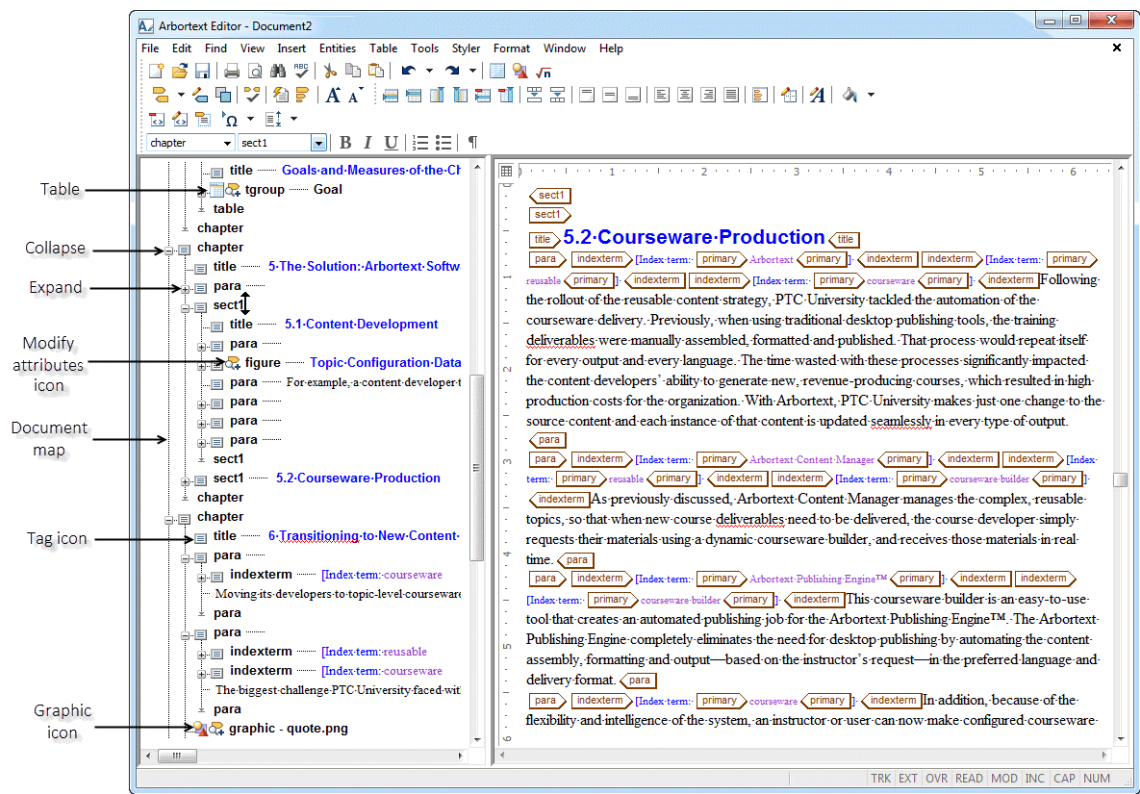


Figura 4-3: Software para el proceso de creación del documento del plan de mantenimiento

Fuente:

<https://support.ptc.com/help/arbortext/r8.0.1.0/en/index.html#page/editor/tutorial/help17015.html>.

4.1.4.1. Softwares para la redacción y modificación del documento del plan de mantenimiento

Para este procedimiento se sugiere usar softwares orientados a la visualización, modificación y manejo de documentación en formatos XML. Este formato de edición

tiene la cualidad de poder adaptarse a cualquier formato y estilo de documentación que sea requerido, sin tener que ser cambiado para poder representarse en otro formato o estilo. También como ventaja presenta una consistencia en el lenguaje a utilizar para la creación de los distintos componentes que contempla el documento del plan de mantenimiento, los cuales para contextualizar son títulos, párrafos, listas, tablas, figuras, hipervínculos, referencias, etc.

El inconveniente que conlleva el uso de este tipo de lenguaje para la creación de documentación técnica, es la misma complejidad con la cual trabaja para crear los componentes del documento mismo. Se requiere de un manejo y conocimiento en el área de programación óptimo para una mayor fluidez y eficiencia en el manejo de las herramientas que otorgan este tipo de softwares.

Los softwares sugeridos para cumplir con este proceso en particular son aquellos que tengan integrados soluciones técnicas que cumplan con estándares y estilos a requerir, los cuales son R4i writer & CSDB o Arbortext Epig Editor. Una alternativa más simple que conlleven un aprendizaje y uso de estos mismos softwares son las soluciones y herramientas entregadas por Microsoft Office, específicamente Word Office. Cabe mencionar que una de las desventajas del uso de softwares más simples y directos para la creación del procedimiento técnico del documento del plan de mantenimiento, es el manejo, edición y corrección constante del estilo y formato del documento mismo a crear, el cual no está presente en los softwares previamente mencionados, ya que estos trabajan con un estilo y formato fijo, para el cual el escritor técnico solo aportará la información técnica que se desee representar en el documento físico como tal.

4.1.4.2. Softwares para la revisión y corrección del documento del plan de mantenimiento

Este requerimiento contempla el uso de los softwares más simples de usar en comparación a los otros mencionados en los demás procesos. Los softwares a usar solo servirán como una herramienta de visualización del documento una vez consolidado, y dan la opción de incorporar comentarios y/o correcciones a realizar, a través de herramientas simples de aprender y usar. La finalidad de estos softwares se traduce a entregar de una manera clara y eficiente la intención técnica a mejorar o cambiar, para que sean transmitidas a las personas encargadas de realizar estos cambios, escritor técnico e ilustrador.

Los softwares recomendados para esta labor son en primera instancia un visualizador de documentos en formatos PDF, como lo es el Adobe Acrobat Reader PDF, que disponga de herramientas para la incorporación de comentarios o highlights por la persona que realiza el proceso de revisión, cambios técnicos requeridos por el ingeniero en mantenimiento industrial, como cambios gramáticos requeridos por el editor. Una

alternativa a considerar para este procedimiento, es la misma alternativa indicada en el procedimiento de redacción y corrección del documento original del procedimiento del plan de mantenimiento, los cuales son las soluciones que otorga Microsoft Office, sin embargo, se entra en la posibilidad de la alteración no intencional del documento original del procedimiento técnico del plan de mantenimiento, lo cual no ocurre si se utiliza un software de visualización distinto al software de creación del documento.

4.1.4.3.Softwares para la creación y modificación de ilustraciones técnicas del plan de mantenimiento

Por último, se tiene la rama de softwares más específicas y complejas a utilizar de todo el proceso del documento del plan de mantenimiento. Estos softwares apuntan a un cargo que tenga los suficientes conocimientos y disciplinas de dibujo técnico, programación, y uso de interfaz para la representación de la idea técnica del procedimiento del documento. El primer software que se recomienda para la obtención de la información a trabajar con respecto al componente o sistema en particular, es el visualizador 3D VisMockup de Siemens-Teamcenter, el cual otorga las herramientas para el manejo de vistas, cortes, medición, proyección de componentes, y exportación de estos para un software de creación de ilustraciones 2D, las cuales serán integradas al documento del plan de mantenimiento para representar la intención técnica general de este. Dicho esto, el software que se sugiere para la creación de la ilustración 2D final es el ArborText Isodraw, el cual entrega herramientas simples de comprender y usar para la creación, modificación, y manejo de vistas isométricas 2D.

Una alternativa más directa, pero sin una reducción en los conocimientos y habilidades requeridas para su uso, son las soluciones que entrega los softwares AUTOCAD. Este último presenta el inconveniente de la necesidad de varias soluciones o herramientas del grupo para cumplir con los requerimientos que los primeros softwares mencionados anteriormente completan de una manera más eficiente.

Tabla 4-2: Valor asociado por software a utilizar

Proceso	Software	Costo asociado a licencia del software	Cantidad de licencias
Redacción Documento Técnico	R4i Writer & CSDB	\$ 220. 00 USD/mensual	1-2
Corrección Documento Técnico	Adobe Acrobat Reader PDF	\$ 15.000/mensual	4

Creación ilustraciones	VisMockup Siemens- Teamcenter	\$ 80-150 USD/Mensual	1
Creación ilustraciones	Arbortext Isodraw	\$ 70 - 150 USD/mensual	1

Fuente: Elaboración propia de cotización en línea sobre diversos softwares de distintas compañías.

4.1.5. Máquinas para la creación y modificación del documento del plan de mantenimiento

A continuación, se indicarán las maquinarias o estaciones de trabajo físicas necesarias para el desarrollo de todo el proceso de creación del plan de mantenimiento, además de insumos o servicios que requieren estas máquinas para su uso máximo. Indicar que estas herramientas aplican para cada uno de los procesos individuales y no tienen diferencia significativa entre ellas, tomando en cuenta los requerimientos específicos de cada proceso para la creación y modificación del plan de mantenimiento. Finalmente, cabe comentar la no representación del valor de los insumos o servicios asociados que van anexos a estas maquinarias o estaciones de trabajo, ya que, para efectos de este trabajo de título, se asumirán que dichos insumos y servicios están representados normalmente en los costos operacionales generales de la empresa de estos equipos a mantener.

Tabla 4-3: Valor asociado por estación de trabajo

Estación de Trabajo	Cantidad	Valor asociado a la unidad	Insumo o servicio a requerir
Computador (incluidos periféricos)	4	\$ 250.000 – 400.000	Conexión red internet y red eléctrica
Escritorio	4	\$ 70.000 - 100.000	--
Iluminación idónea	4	\$ 40.000 – 70.000	Conexión red eléctrica

Fuente: Elaboración propia de cotización de equipamiento físico realizada en línea.

4.2. ANALISIS DEL VALOR ASOCIADO

Después de examinar los costos de creación del documento del plan de mantenimiento propuesto con el enfoque de una implementación general y creación de un equipo especializado dentro del departamento de mantenimiento para la creación de dichos documentos, se da paso al análisis práctico del valor asociado del documento del plan de mantenimiento propuesto, el cual fue confeccionado con la mayoría de las alternativas dispuestas por un menor costo asociado.

Dado el contexto de la empresa y disyuntiva a mejorar escogida para el desarrollo del plan de mantenimiento para la caldera pirotubular, se hace más adecuado la realización de este documento, velando por la implementación con menor tiempo y costo asociado de confección, y centrar los esfuerzos en la implementación y adiestramiento de uso de este nuevo plan de mantenimiento, en los enfoques y prácticas cotidianas del departamento de mantenimiento de la central térmica.

4.2.1. Costo general asociado al plan de mantenimiento

Mencionado lo anterior, será necesario el estudio en detalle de cada caso a implementar soluciones de mantenimiento, en forma de documentos o planes de mantenimiento centrado en la confiabilidad, con respecto a la empresa en cuestión. Esto se determina ya que, si bien, se indicó durante el comienzo de este trabajo de título, la dualidad de los enfoques de mantenimiento de acuerdo a su objetivo de producción contra seguridad de funcionamiento, se ha de lograr los mejores resultados cuando se realiza un balance entre los objetivos a completar, las herramientas de confección adecuadas, y el presupuesto disponible para cubrir el costo de confección e implementación de estas soluciones.

Si se analiza el costo total de la implementación de un equipo especializado para la confección de documentos y planes de mantenimiento, con un alcance y detalle similar, pero más avanzado que el documento del plan de mantenimiento para la caldera Cleaver Brooks utilizado en el Hospital de Carabineros, se obtiene un costo de implementación único entre el rango de 940.000 y 2.280.000, y un costo de funcionamiento mensual entre el rango de 3.238.200 y 3.556.400, traduciéndose a un costo de funcionamiento anual del rango de 38.858.400 y 42.676.800. Este costo combinado de implementación y de funcionamiento no se ve sustentable si el objetivo es la creación de soluciones de equipos únicos y de empresas productivas que no tienen el requerimiento de criticidad dentro del funcionamiento de sus equipos. Sin embargo, se presenta este presupuesto como una muestra de la posibilidad de la estandarización del proceso de creación de documentación de mantenimiento, y el proceso de modificación para la actualización y mejoramiento de

dichos materiales. Indicar también, que estos costos calculados corresponden a un bosquejo de los costos reales que manejan las empresas, las cuales trabajan con equipos de criticidad alta, como lo son las empresas del rubro de transporte aéreo, algunos servicios energéticos, y empresas prestadoras de servicios de salud.

Tabla 4-4: Asociación de costos totales

Descripción	Cantidad de unidad	Valor Asociado	Modalidad	Valor por plan de mantenimiento
Salario Escritor Técnico	1	\$ 650.000	Mensual	\$ 162.520
Salario Ingeniero en Mantenimiento Industrial	1	\$ 960.000	Mensual	\$ 96.000
Salario Editor	1	\$ 600.000	Mensual	\$ 30.000
Salario Ilustrador Técnico	1	\$ 650.000	Mensual	\$ 65.008
Total		\$ 2.860.000 Mensuales		\$ 353.528 por plan
Software de Redacción	1	\$ 220.00 USD \$ 176.000	Mensual	--
Software Visualización y Corrección	4	\$ 15.0000	Único	--
Softwares para Ilustraciones	1	\$150-300 USD \$120.000/240.000	Mensual	--
Total		\$296.000-416.000 Mensuales		\$60.000 Único
Puesto de Trabajo	4	\$360.000-570.000	Único	--
Total		\$1.440.000-2.280.000 Único		
Totales Mensuales		\$ 2.860.000 Mensuales Salario	\$ 296.000-416.000 Mensuales Softwares	\$ 1.500.000-2.340.000 Inversión Única
Totales Anual		\$ 34.320.000 Anual Salarios	\$ 3.552.000-4.992.000 Anual Softwares	\$ 37.872.000-39.312.000 Anual Funcionamiento

Fuente: Elaboración propia de cotización y cálculo de costos de inversión y funcionamiento.

Por otra parte, gracias a que la mayoría de los costos relacionados con la confección de estos documentos se encuentra asociada específicamente a su proceso dentro del ciclo completo de la creación del documento, se presenta la posibilidad de la modalidad de la creación e implementación de una solución de mantenimiento centrado a la confiabilidad, con el alcance y complejidad específica requerida para el contexto que la empresa estime a mejorar, lo que genera un costo adaptable de confección e implementación de documentos de mantenimiento que represente de manera más exacta la relación de costo beneficio del problema a trabajar.

Dicho lo anterior, dado el contexto de no existir una conexión legal o laboral con el establecimiento al cual se desarrollo la idea principal del trabajo de título, se concluye que el análisis comparativo en relación a la no implementación de secciones o la totalidad del plan de mantenimiento propuestos y sus medidas confeccionadas en los capítulos anteriores, no crea repercusiones sobre la implementación específica del plan o sus medidas mencionadas previamente, ya que, los déficit de producción ocasionados por una falta de control de confiabilidad y funcionamiento de las calderas del hospital, ya sea parcial o total, tienen dependencias en áreas que escapan al alcance de este trabajo de título, dado el contexto de relación estudiante-empresa explicado al inicio de este párrafo, y también, el calculo de costos de los diversos departamentos asociados directa o indirectamente al funcionamiento actual de las calderas depende del análisis de presupuestos otorgados por entidades y departamentos de atribuciones estatales y legales, como lo son el ministerio de defesa y de salud.

Sin embargo, existe la posibilidad de realizar una comparación económica sobre las ventajas y desventajas en cuanto a la implementación parcial, completa o nula de las medidas y propuestas desarrolladas en este caso, dentro de un contexto más puntual de análisis problema-solución específico, una vez exista la relación legal o laboral que permita el manejo de información sensible que permita tal análisis. De esto se apoya la idea principal detrás del desarrollo del trabajo de título explicado dentro de los capítulos de conclusiones y recomendaciones, el cual consiste en plantear medidas y estándares utilizados en otras industrias para el mejoramiento de la confiabilidad de equipos críticos dentro de cualquier industria que lo requiera.

CONCLUSIONES

Iniciando con las conclusiones, se comienza con la reflexión del énfasis del término de la palabra trabajo que se emplea durante todo el documento, el cual se relaciona directamente con la experiencia de desarrollo y aprendizaje a lo largo de las fechas y fases de desarrollo de este documento. Existe un claro punto de partida, el cual se comienza con una idea, la cual tiene una cierta calidad de seguridad de conocimiento y experiencia, para después llegar dicha idea a un contexto y área diferente, en donde, la calidad de comodidad y seguridad cambia y presenta las primeras dificultades a trabajar, sobrepasar, y aprender de esta nueva sensación de inseguridad y triunfo. Esto se puede apreciar por los cambios de tonalidad al expresar la información analizada que se llevan a cabo durante el desarrollo de este trabajo de título.

Siguiendo con el planteamiento de los objetivos, en un principio se comenzó con una idea general sobre la creación de manuales y documentos de mantenimientos con el enfoque de crear un protocolo y estándar para dicho proceso de creación. Esto alude a lo mencionado en el párrafo anterior, al relacionarse con esta calidad de comodidad de dominio del tema y experiencia obtenida durante los años de trabajo dentro de una empresa de similares objetivos. Tras los consejos e indicaciones propuestos por el profesor guía, se procedió al ajuste de la idea principal, hacia una idea que pueda ser desarrollada y aplicada a un caso más real, donde sus repercusiones y costos puedan verse reflejados de mejor manera.

Dicho lo anterior, se puede concluir con seguridad que los objetivos propuestos, luego del ajuste explicado, fueron completados en gran detalle durante el desarrollo y realización de este trabajo de título. Este desarrollo se apoyó en gran medida con la comparación tanto de términos técnicos generales, como el planteamiento de estos mismos términos en casos reales entendibles para su mejor comprensión contextual. Es gracias a este proceso de análisis por parte, proceso, y contexto que da las bases para el cumplimiento del objetivo general de este trabajo, la creación de un documento de plan de mantenimiento para inspección preventiva de una caldera de vapor pirotubular, con enfoque a la confiabilidad y trazabilidad de los pasos y tareas comprendidas en tal documento.

Por último, se procede con el desarrollo de la implementación de la solución propuesta, examinación y análisis de los distintos costos asociados a los diversos procesos de confección del documento del plan de mantenimiento, junto con el análisis de la implementación de un equipo especializado de varios integrantes dentro de un proceso en conjunto para la creación de planes de mantenimientos dentro de la misma empresa a aplicar. Durante el desarrollo de estos puntos se concluye el énfasis del uso de los diversos contextos y experiencias obtenidas para la explicación de cómo ha de usarse lo creado por

en los capítulos anteriores, para posteriormente realizar una comparativa del costo del proceso completado para la confección del documento del plan de mantenimiento, junto con alternativas de herramientas y procesos para una solución adaptable al nivel de complejidad y requerimiento de problema a aplicar lo aprendido en este trabajo de título.

RECOMENDACIONES

Algunas recomendaciones en tener en cuenta, en especial después de lo desarrollado por el capítulo 2 y 3, es la invitación que se genera al usuario de las soluciones propuestas a la modificación o ajuste de los documentos de mantenimiento una vez creados, los cuales pueden ser registrados de manera tal, para indicar la modificación y mejoramiento en el transcurso de vida de implementación del documento. Esto crea una continuidad de los procesos y costos analizados en el último capítulo del trabajo de título, para el desarrollo, modificación, y mejoramiento continuo de los documentos a crear soluciones de confiabilidad para el mantenimiento realizado a los sistemas, componentes y equipos de la empresa a utilizar lo creado y demostrado en este trabajo de título.

Otra recomendación que cabe mencionar que muchas modalidades y atributos de los documentos de mantenimiento a confeccionar gracias a lo analizado y comprendido es este trabajo, tiene la facultad de poder modificarse de acuerdo a los requerimientos de la empresa a utilizar este trabajo, como lo son el idioma, formato y estilo, modalidad de representación del documento (físico o digital), siempre y cuando se mantengan los conceptos y objetivos fundamentales estudiados en el capítulo 3, como la estructura general del documento, tipo de lenguaje, elementos especiales de ayuda para el mantenedor, y todas las indicaciones proporcionadas para el uso y control del documento una vez generado, tales como el registro de los pasos realizados, magnitudes y comentarios relevantes, y la conformidad final del supervisor de mantenimiento a cargo.

Por último, se da a conocer la recomendación final de observar la posibilidad real de la aplicación de los análisis y desarrollos realizados a lo largo de este trabajo, para la creación de material técnico y de mantención con un enfoque centrado a la confiabilidad de operación y de mantenimiento de equipos, a cualquier empresa de cualquier rubro actual, lo cual representa la idea general de base para la inspiración de este trabajo de título, la demostración aplicada de procesos simples y estándares, para la creación de material técnico para un amplio abanico de equipos, sistemas, componentes, protocolos, e industrias de la actualidad.

BIBLIOGRAFÍA Y FUENTES DE LA INFORMACIÓN

PASCUAL Rodrigo J., El Arte de Mantener, Centro de Minería, Pontifica Universidad Católica de Chile, Vicuña Mackenna 4860, Santiago, Chile, Versión 3.01, diciembre de 2009.

Cleaver-Brooks Model CB, CB-LE Packaged Boiler, Operation, Service and Part Manual, Manual Part No. 750-91, Revised 5/97.

RODRIGUEZ Giraldo, Otoniel Felipe, Procedimiento para la Puesta en Funcionamiento de una Caldera Pirotubular Conforme a Especificaciones de Diseño, Pasantía Institucional (Ingeniero Mecatrónico), Santiago de Cali, Colombia, Universidad Autónoma de Occidente, Departamento de Automática y Electrónica, Facultad de Ingenierías, 2019.

TAWIL, Elie, P.E., Boiler Basics, Operation and Maintenance, Course No. M08-009, Credit: 8 PDH, NAVEDTRA 14265A, [s. a.].

DECRETO 10: aprueba reglamento de calderas, autoclaves y equipos que utilizan vapor de agua. Diario oficial de la República de Chile, Santiago, 19 de octubre de 2013.

DECRETO 49: modifica el decreto supremo N° 10, de 2012, reglamento de calderas, autoclaves y equipos que utilizan vapor de agua, del ministerio de salud. Diario oficial de la República de Chile, Santiago, 03 de abril de 2017.

ICAO. Convention on international civil aviation – doc 7300. [en línea] <<https://www.icao.int/publications/pages/doc7300.aspx>> [consulta: 20 de agosto de 2022].

WEB X SYSTEMS, ATA iSpec 2200. [en línea] <<https://www.webxsystems.com/specifications/ata-ispec-2200>> [consulta: 28 de agosto de 2022].

UNITING AVIATION, History, December – Aviation History, The History of ICAO and the Chicago Convention. [en línea] <<https://unitingaviation.com/history/>> [consulta: 19 de enero de 2023].

S-TECH ENTERPRISES, LLC, ATA 100 CHAPTER AND SECTION HEADINGS. [en línea] <<http://www.s-techent.com/ATA100.htm>> [consulta: 19 de enero de 2023].

FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION, Joint Aircraft System/component Code Table Definitions, Mike Monroney Aeronautical Center, Oklahoma City, Oklahoma 73125, October 27, 2008.

GREENOUGH, Richard M., Williams David, Investigating the Transfer of Techniques for Electronic Technical Support Documentation from Aerospace to Machine Tools, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, v32 (7), 774-779, April 2007.

ERIKS, PRODUCTS, INDUSTRIAL MRO AND SAFETY, MAINTENANCE CONSUMABLES. [en línea] <<https://eriks.co.uk/en/products/industrial-mro-safety/maintenance-consumables/>> [consulta: 19 de enero de 2023].

NORTH AMERICAN AVIATION, INC., NORTH AMERICAN AT-6C, SNJ-4 Texan Preliminary Illustrated Parts Catalog, Dallas, Inglewood, Kansas City, Report No. NA-6010, Restricted, June 1, 1943.

EPCATALOGS, Perkins 4013-E61TRS Engine Workshop Manual. [en línea] <<https://www.epcatalogs.com/perkins-4016-e61trs-engine-workshop-manual-pdf/>> [consulta: 19 de enero de 2023].

BAKER, Alan A., Wang, John, Aircraft Sustainment and Repair, Adhesively Bonded Repair/reinforcement of Metallic Airframe Components: Materials, Processes, Design, and Proposed Through-life Management, 2018, ISBN 978-0-08-100540-8.

SUZUKI, Suzuki GSX-R 1000 Service Manual: Special tools and equipment. [en línea] <https://www.suzukigsxr.org/special_tools_and_equipment-577.html> [consulta: 19 de enero de 2023].

Visual Paradigm Online, Wiring Diagram Templates [en línea] <<https://online.visual-paradigm.com/es/diagrams/templates/wiring-diagram/>> [consulta: 19 de enero de 2023.]

Code & Pixels, S1000D Infographics [en línea] <http://www.codeandpixels.net/blog/s1000d-infographics/> [consulta: 19 de enero de 2023].