



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

ADAPTACIÓN DE EQUIPOS COMERCIALES PARA SU USO EN UN LABORATORIO DOCENTE Y PROPUESTA DEL SISTEMA DE MANTENIMIENTO

TRABAJO FINAL DEL:

Máster Universitario en Ingeniería del Mantenimiento

REALIZADO POR:

D. Saúl Vivar Campoverde

TUTORIZADO POR:

Dr. D. Vicente Macián Martínez

FECHA: Valencia, noviembre 2019

DEDICATORIA

Este trabajo lo dedico con mucho cariño de manera muy especial: a mi padre Roque, por todo el apoyo moral, su ayuda en los momentos difíciles y por contribuirme con los recursos necesarios durante todo este tiempo; a mi madre Livia, por hacer de mí una mejor persona a través de sus consejos, enseñanzas y amor; por sus palabras que me alentaron, desde la distancia, en los momentos difíciles y me impulsaron cada día a seguir adelante.

A mis hermanos María y José, a mis sobrinos Amanda y David; que, gracias a sus mensajes de aliento y confianza brindada, han hecho posible que hoy llegue a cumplir mi meta propuesta. Y a todos mis familiares y amigos que me apoyaron en todo momento.

Saúl Vivar Campoverde

AGRADECIMIENTO

Agradezco mucho a mis padres, hermanos, sobrinos; a todos mis familiares y amigos por el apoyo incondicional brindado.

A la Universidad Politécnica de Valencia, en especial a la Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño y al Departamento de Máquinas y Motores Térmicos, por acogerme y darme la oportunidad de cumplir una de mis metas propuestas, la de ser un profesional en el área del Mantenimiento.

A todos los docentes que han aportado con su conocimiento a lo largo este período; en especial al Dr. D. Vicente Macián Martínez y a D. Francisco González Pajuelo por toda la ayuda brindada durante la elaboración del presente trabajo.

Saúl Vivar Campoverde

CONTENIDO

	Página
1. INTRODUCCIÓN	- 1 -
1.1. OBJETIVOS	- 2 -
1.2. PLANIFICACIÓN DEL PROYECTO	- 2 -
2. DESCRIPCIÓN DE LAS INSTALACIONES	- 4 -
2.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL EDIFICIO	- 5 -
2.1.1. Instalaciones de la Planta 0	- 7 -
2.1.2. Instalaciones de la Planta 1	- 9 -
2.2. DESCRIPCIÓN DEL LABORATORIO DE TRANSMISIÓN DE CALOR	- 10 -
2.3. DESCRIPCIÓN DEL LABORATORIO DE TRANSFERENCIA DE MASA Y ENERGÍA 2	- 11 -
3. DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS Y SU ADAPTACIÓN	- 14 -
3.1. EQUIPOS DE GENERACIÓN DE CALOR	- 15 -
3.1.1. Detalle de la Caldera de Hierro Fundido a Gasóleo	- 16 -
3.1.2. Descripción de las adecuaciones en la caldera	- 21 -
3.1.3. Instrumentación instalada en la caldera	- 25 -
3.1.4. Costes de caldera adaptada	- 29 -
3.2. COMPRESORES VOLUMÉTRICOS	- 31 -
3.2.1. Detalle del Compresor de Aire	- 32 -
3.2.2. Descripción de modificaciones en el compresor	- 32 -
3.2.3. Instrumentación instalada en el compresor	- 35 -
3.2.4. Costes de compresor adaptado	- 37 -
4. SISTEMA DE MANTENIMIENTO DE LOS EQUIPOS	- 40 -
4.1. INTRODUCCIÓN	- 41 -
4.2. ANÁLISIS DE LOS EQUIPOS	- 41 -
4.2.1. Estructura jerárquica	- 42 -
4.2.2. Codificación de equipos	- 46 -
4.3. ESTRATEGIAS DE MANTENIMIENTO	- 48 -
4.3.1. Mantenimiento correctivo	- 48 -
4.3.2. Mantenimiento preventivo	- 50 -
4.3.3. Mantenimiento modificativo	- 53 -
4.4. DIAGNÓSTICO DE AVERÍAS	- 53 -

4.4.1.	Diagnóstico de averías de calderas.....	- 53 -
4.4.2.	Diagnóstico de averías de compresores de aire	- 54 -
4.5.	PLANIFICACIÓN DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO	- 55 -
4.5.1.	Planes de mantenimiento preventivo de las calderas	- 57 -
4.5.2.	Planes de mantenimiento preventivo de los compresores	- 67 -
4.5.3.	Programación del mantenimiento preventivo de los equipos.....	- 73 -
4.6.	FORMATOS DE ÓRDENES DE TRABAJO Y HOJA DE INSPECCIÓN	- 76 -
4.6.1.	Orden de trabajo de mantenimiento correctivo.....	- 76 -
4.6.2.	Orden de trabajo de mantenimiento preventivo.....	- 79 -
4.6.3.	Hojas de inspección	- 82 -
4.7.	PROCEDIMIENTOS DE TRABAJO	- 87 -
5.	GESTIÓN DE LA INFORMACIÓN DEL MANTENIMIENTO	- 101 -
5.1.	INTRODUCCIÓN.....	- 102 -
5.2.	SISTEMA DE INFORMACIÓN	- 102 -
5.3.	INDICADORES DE MANTENIMIENTO.....	- 106 -
5.3.1.	Indicadores económicos.....	- 107 -
5.3.2.	Indicadores técnicos	- 108 -
5.3.3.	Indicadores organizacionales	- 109 -
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	- 110 -
6.1.	CONCLUSIONES.....	- 111 -
6.2.	RECOMENDACIONES.....	- 112 -
	BIBLIOGRAFÍA.....	- 113 -

LISTA DE TABLAS

Página

Tabla 1. Modelos de calderas existentes	- 11 -
Tabla 2. Modelos de compresores de aire existentes	- 13 -
Tabla 3. Normativa de requerimientos de calderas	- 16 -
Tabla 4. Información técnica de la caldera CLIMA TRONIC 30 A.....	- 17 -
Tabla 5. Información técnica del quemador BENTONE BF KA	- 20 -
Tabla 6. Costes de mano de obra de la caldera.....	- 29 -
Tabla 7. Costes de la caldera y accesorios.....	- 30 -
Tabla 8. Coste total equipo de laboratorio adaptado - caldera	- 30 -
Tabla 9. Información técnica del compresor de aire ABAC	- 32 -
Tabla 10. Costes de mano de obra del compresor	- 38 -
Tabla 11. Costes del compresor y accesorios	- 38 -
Tabla 12. Coste total equipo de laboratorio adaptado - compresor	- 38 -
Tabla 13. Código de identificación del tipo de equipo	- 46 -
Tabla 14. Lista de equipos - calderas	- 47 -
Tabla 15. Lista de equipos - compresores	- 47 -
Tabla 16. Diagnóstico de averías de calderas.....	- 54 -
Tabla 17. Diagnóstico de averías de compresores de aire	- 55 -
Tabla 18. Gamas de mantenimiento	- 56 -
Tabla 19. Plan de mantenimiento preventivo sistemático de las calderas.....	- 60 -
Tabla 20. Plan de mantenimiento preventivo predictivo de las calderas.....	- 63 -
Tabla 21. Relación de gamas preventivo sistemático de las calderas	- 64 -
Tabla 22. Relación de gamas preventivo predictivo de las calderas	- 66 -
Tabla 23. Plan de mantenimiento preventivo sistemático de los compresores.....	- 68 -
Tabla 24. Plan de mantenimiento preventivo predictivo de los compresores.....	- 70 -
Tabla 25. Relación de gamas preventivo sistemático de los compresores	- 71 -
Tabla 26. Relación de gamas preventivo predictivo de los compresores	- 72 -
Tabla 27. Programación del mantenimiento preventivo de la caldera	- 74 -
Tabla 28. Programación del mantenimiento preventivo del compresor.....	- 74 -

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Plano general de la Universidad Politécnica de Valencia	- 5 -
Figura 2. Edificio 8P	- 6 -
Figura 3. Esquema de la Planta 0.....	- 8 -
Figura 4. Esquema de la Planta 1.....	- 10 -
Figura 5. Laboratorio de Transmisión de Calor	- 11 -
Figura 6. Laboratorio de Transferencia de Masa y Energía 2.....	- 12 -
Figura 7. Caldera CLIMA TRONIC 30 A.....	- 15 -
Figura 8. Dimensiones generales de la caldera	- 18 -
Figura 9. Cuadro de mandos de caldera	- 18 -
Figura 10. Cuadro de mandos CME-17	- 19 -
Figura 11. Dimensiones del quemador	- 21 -
Figura 12. Quemador BENTONE BF KA.....	- 21 -
Figura 13. Conducto entrada de aire.....	- 22 -
Figura 14. Pieza acoplamiento tobera de entrada de aire	- 22 -
Figura 15. Acoplamiento construido	- 23 -
Figura 16. Instalación de acoplamiento	- 23 -
Figura 17. Conexión de manguera del ACS	- 24 -
Figura 18. Instalación de resistencias	- 24 -
Figura 19. Tobera de la caldera instalada	- 25 -
Figura 20. Columna de agua en U de la caldera.....	- 25 -
Figura 21. Medidor volumétrico.....	- 26 -
Figura 22. Rotámetro	- 27 -
Figura 23. Ubicación de termopares	- 27 -
Figura 24. Monitor de temperaturas	- 28 -
Figura 25. Analizador de gases de escape Testo 330-2 LL	- 29 -
Figura 26. Coste total del equipo de laboratorio - caldera	- 31 -
Figura 27. Compresor de aire ABAC.....	- 31 -
Figura 28. Detalle de perforación de culata y placa de válvulas.....	- 33 -
Figura 29. Depósito adicional de volumen muerto.....	- 34 -
Figura 30. Cilindro de volumen de remanso	- 34 -
Figura 31. Tobera del compresor instalada.....	- 35 -
Figura 32. Columna de agua en U del compresor	- 35 -

Figura 33. Manómetro instalado	- 36 -
Figura 34. Termorresistencia instalada.....	- 37 -
Figura 35. Monitor de temperatura y corriente.....	- 37 -
Figura 36. Coste total del equipo de laboratorio - compresor	- 39 -
Figura 37. Estructura jerárquica.....	- 42 -
Figura 38. Estructura del mantenimiento correctivo	- 49 -
Figura 39. Flujo del mantenimiento correctivo	- 50 -
Figura 40. Estructura del mantenimiento preventivo	- 51 -
Figura 41. Flujo del mantenimiento preventivo.....	- 52 -
Figura 42. Límites de síntomas.....	- 57 -
Figura 43. Costes de gamas de mantenimiento prev. sistemático de las calderas	- 65 -
Figura 44. Costes de gamas de mantenimiento preventivo predictivo de las calderas .-	- 66 -
Figura 45. Costes de mantenimiento preventivo de las calderas	- 67 -
Figura 46. Costes de gamas de mantenimiento prev. sistemático de los compresores -	- 71 -
Figura 47. Costes de gamas de mantenimiento prev. predictivo de los compresores...-	- 73 -
Figura 48. Costes de mantenimiento preventivo de compresores	- 73 -
Figura 49. Costes de programación del mantenimiento preventivo de la caldera	- 75 -
Figura 50. Costes de programación del mantenimiento preventivo del compresor.....	- 76 -
Figura 51. Orden de trabajo de mantenimiento correctivo.....	- 78 -
Figura 52. Orden trabajo de mantenimiento preventivo sistemático de la cadera	- 80 -
Figura 53. Orden de trabajo de mantenimiento preventivo sistemático del compresor .-	- 81 -
Figura 54. Hoja de inspección diaria de la caldera	- 83 -
Figura 55. Hoja de inspección anual de la caldera	- 84 -
Figura 56. Hoja de inspección diaria del compresor.....	- 85 -
Figura 57. Hoja de inspección anual del compresor.....	- 86 -
Figura 58. Pestaña Base de equipos	- 103 -
Figura 59. Pestaña Programación preventivo.....	- 103 -
Figura 60. Pestaña Generación órdenes.....	- 104 -
Figura 61. Pestañas: OT Correctiva, OT Preventiva y Hoja inspección	- 104 -
Figura 62. Pestañas: Ingreso correctivo, Ingreso preventivo e Ingreso inspección	- 105 -
Figura 63. Encabezado de tablas de pestañas de Registro.....	- 105 -
Figura 64: Pestaña Instructivo.....	- 106 -

RESUMEN

En este trabajo se describen las modificaciones que se efectúan en equipos comerciales para luego ser utilizados en un laboratorio docente; así como también los recursos empleados para su realización, tomándose como objeto de estudio a equipos de generación de calor y compresores de aire. Debido a la importancia de estos equipos, a la necesidad de mantenerlos operativos y de prolongar su vida útil; se realiza una propuesta del sistema de mantenimiento en donde se contemplan: las estrategias a utilizar para contar con un modelo de mantenimiento adecuado a las necesidades, una planificación del mantenimiento preventivo que cuenta con operaciones e inspecciones programadas con sus respectivos costes, creación de instrucciones y formatos de órdenes de trabajo. También se plantea la gestión del mantenimiento donde se incluye el registro de la información y la generación de indicadores. Pretendiéndose que este contenido desarrollado sea útil, de fácil aplicación y pueda ser tomado como referencia para implementaciones en otras áreas.

ABSTRACT

In this work there are described the modifications that are carried out in commercial equipment and then used in a teaching laboratory; as well as the resources used for its realization, taking as an object of study heat generation equipment and air compressors. Due to the importance of these equipment, the need to maintain them operational and to prolong its useful life; there is realized a proposal of the system of maintenance where it is contemplated: the strategies to be used to be provided with a model of maintenance adapted to the needs, a planning of the preventive maintenance that is provided with operations and inspections programmed with its respective costs, creation of instructions and formats of work orders. Also there appears the management of the maintenance where there is included the registration of information and the generation of indicators. Pretending that this developed content is useful, easy to apply and can be taken as a reference for implementations in other areas.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. OBJETIVOS

Con la elaboración del presente Trabajo de Fin de Máster se pretende describir las adaptaciones que se realizan a equipos comerciales para su uso en un laboratorio docente; así como también proponer el sistema de mantenimiento que contemple una planificación acorde a las necesidades de funcionamiento. Para el desarrollo se tienen como objetivos específicos los siguientes:

- Describir brevemente las instalaciones donde se encuentran los equipos que serán objeto de estudio y las características técnicas de los mismos.
- Definir las estrategias de mantenimiento y elaborar los planes de operaciones e inspecciones acorde a las modificaciones realizadas y al uso destinado de los equipos.
- Realizar formatos de órdenes de trabajo y hojas de inspecciones que permitan registrar la información de las operaciones ejecutadas; y crear procedimientos de trabajo de las actividades de mantenimiento.
- Proponer un sistema que facilite la gestión de la información y formular indicadores de mantenimiento adecuados que permitan medir los resultados.

1.2. PLANIFICACIÓN DEL PROYECTO

El presente proyecto se desarrolla durante la estancia de prácticas en el Instituto Universitario CMT Motores Térmicos, concretamente en el edificio 8P del Campus de Vera de la Universidad Politécnica de Valencia destinado para los Laboratorios de Investigación en Plantas Propulsivas de los Sistemas de Transporte. Y se compone de seis capítulos.

En la primera parte correspondiente al capítulo 1 se plantean los objetivos para la elaboración del Trabajo Final de Máster y la planificación del mismo.

En el capítulo 2 se describen las instalaciones, empezando por el emplazamiento y características generales del edificio. Luego se especifican los laboratorios y aulas que conforman cada una de las plantas, así como también se describen los laboratorios con los equipos que serán objeto de estudio.

En el capítulo 3 se describen las características técnicas y componentes de los equipos comerciales; para luego detallar las adecuaciones que se realizan antes de utilizarlos en los laboratorios docentes; incluyendo el respectivo coste de los materiales, instrumentación y mano de obra que se requieren.

En el capítulo 4 se desarrolla el sistema de mantenimiento propuesto en donde se definen las estrategias y los planes de mantenimiento correspondientes; proponiendo formatos de órdenes de trabajo específicas de acuerdo al tipo de mantenimiento a aplicar y el formato de las hojas de inspección. Así como también se elaboran los procedimientos de trabajo de algunas operaciones de mantenimiento.

En el capítulo 5 se detallan los elementos que conforman una aplicación propuesta como sistema de información y se explican los indicadores formulados para la gestión del mantenimiento de los equipos del laboratorio.

En la parte última del presente trabajo correspondiente al capítulo 6 se expresan las conclusiones y se emiten unas recomendaciones finales.

2. DESCRIPCIÓN DE LAS INSTALACIONES

2.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL EDIFICIO

Los Laboratorios de Investigación en Plantas Propulsivas de los Sistemas de Transporte se encuentra en el edificio 8P ubicado en la parte sureste del Campus de Vera de la Universidad Politécnica de Valencia. Este edificio está destinado para la docencia y la investigación del Departamento de Máquinas y Motores Térmicos.



Figura 1. Plano general de la Universidad Politécnica de Valencia

Características:

- Planta = 77,5 X 21,5 m
- 2 alturas, altura total = 14,3 m
- Superficie construida = 3.312 m²
- Salas de ensayos y laboratorios = 15
- Aulas de informática, audiovisuales y maquetas = 7
- Potencia eléctrica instalada = 1,5 MW

Inversión realizada:

- Edificio = 4.767.000 €
- Instalaciones = 2.433.000 €
- Equipamiento de prácticas = 3.200.000 €

El edificio alberga los laboratorios de prácticas del Departamento de Máquinas y Motores Térmicos y consta de dos plantas, con un total de 3.312 m² de construcción distribuidos en 22 estancias entre salas de ensayo, laboratorios, y aulas informáticas, dotadas con los equipos e instalaciones propias del departamento. Las salas y laboratorios están dotados

de las instalaciones auxiliares necesarias al tipo de experimento que se desarrolla en cada una de ellas, como insonorización, evacuación de gases de combustión, suministro de distintos combustibles, etc.

Durante el curso académico, se imparten prácticas de laboratorio a 3.826 alumnos organizados en 65 asignaturas, con una media superior a 7 prácticas por alumno y asignatura lo que suponen 813 sesiones de clases prácticas con una duración total de 2.886 horas, y una asistencia de 19.031 personas.



Figura 2. Edificio 8P

A continuación, se destacan las principales instalaciones de laboratorios con los respectivos equipos con los que cuenta:

- **Combustión**
 - Quemador de 100 kW.
- **Turbina de gas**
 - Turbina de reacción de 295 N de empuje.
- **Aerodinámica**
 - Túnel de viento abierto. Potencia=1.5 kW, velocidad 26 m/s, sección de medida 250x250 mm.
 - Túnel de viento abierto. Potencia=1.2 kW, velocidad 30 m/s, sección de medida 220x220 mm.
 - Túnel de viento cerrado. Potencia=37 kW, velocidad 80 m/s, sección de medida 440x440 mm.

- Mesas de visualización de flujo laminar Superficie 900x600 mm.
- **Elementos constructivos**
 - Aerorreactores Snecma ATAR 9C (Mirage III) y GE J79 (Phantom F-4) seccionados.
 - Ala y estabilizador horizontal trasero Mirage F1.
 - Alas Bombardier CRJ-200.
 - Cámaras de combustión ATAR 9 y Rolls Royce 221.
 - Motor Diesel Pegaso seccionado.
 - Motores de automoción: Audi 6V y 8V, Peugeot 4L, Renault 4L, y Ford 4L.
 - Compresor de 2 etapas seccionado.
- **Ensayo de motores**
 - Bancos de ensayos para motores de combustión interna con frenos eléctricos de 90 a 150 kW.
- **Transmisión de calor**
 - Calderas de combustión. Potencia térmica 25 kW.
- **Combustibles y lubricantes**
 - Espectrómetro FTIR.
 - Medidor de TBN/TAN.
 - Viscosímetro.
 - Contador de partículas.
- **Transferencia de masa y energía**
 - Grupos generadores eléctricos de 11 kVA.
 - Motobombas de 3kW.
 - Bombas de calor de 1 kJ.
- **Fluidodinámica**
 - Banco de flujo frío: flujo másico 800 kg/h de aire.
 - Banco de flujo caliente para turbomáquinas: flujo másico 1200 kg/h de aire, temperatura 500 °c.
 - Banco de flujo supersónico: flujo másico 72000 kg/h de aire.
- **Aulas audiovisuales y maquetas**

2.1.1. Instalaciones de la Planta 0

En la planta baja (Planta 0) se destacan las instalaciones de ensayos de motores de combustión interna con bancos dinámicos destinadas a la investigación y desarrollo de los mismos; en especial, de los motores de encendido por compresión.

Las prácticas y actividades más relevantes que se realizan en las instalaciones de esta planta son las que se indican a continuación:

- Estudio del flujo de tobera suspendida midiendo el gasto másico y empuje de un flujo de aire mediante diferentes métodos en una instalación experimental.
- Medir presión sobre la superficie de varios modelos para estimar los coeficientes CL (coeficiente de sustentación) y CD (coeficiente de resistencia) a partir de dichas mediciones en un túnel de viento.
- Realizar el balance energético de un equipo de producción de energía térmica industrial.
- Ensayo de motores alternativos para obtener su curva característica.
- Ensayo de autorreactores en un banco instrumentado para el estudio de actuaciones de arranque, parada y transitorios.
- Estudio de elementos constructivos de las turbomáquinas y principales aplicaciones.
- Ensayo de turbomáquinas en un banco instrumentado para la obtención de sus curvas características.
- Selección de turbogrupos para aplicaciones determinadas a través del estudio en un túnel supersónico.

En esta planta se encuentra ubicado el laboratorio de Transmisión de calor que será objeto de estudio para la elaboración del plan de mantenimiento de las calderas de agua caliente con las que cuenta.

A continuación, en la siguiente figura se detalla cómo se encuentran distribuidos los laboratorios e instalaciones:

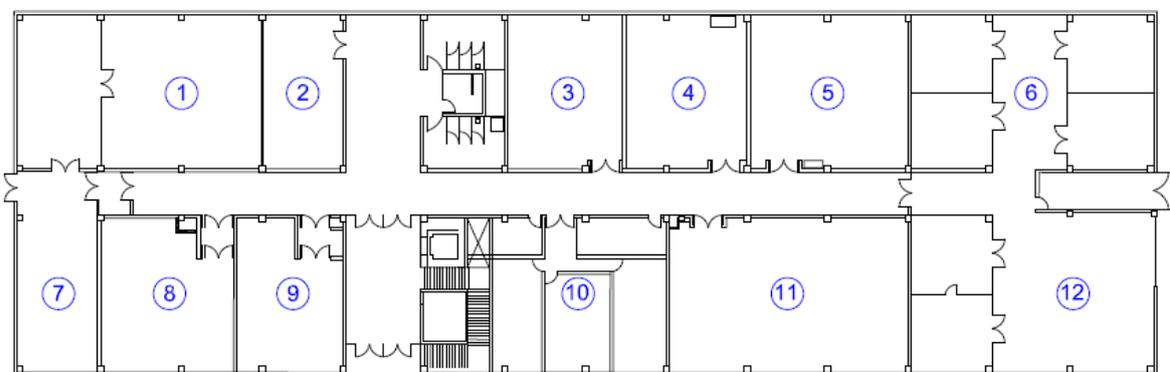


Figura 3. Esquema de la Planta 0

- ① Túnel supersónico
- ② Aerodinámica 3
- ③ Ensayo de motores
- ④ Transmisión de calor
- ⑤ Aerodinámica 1
- ⑥ Bancos dinámicos

- ⑦ Almacén
- ⑧ Turbina de gas
- ⑨ Combustión
- ⑩ Despachos
- ⑪ Aerodinámica 2
- ⑫ Taller

2.1.2. Instalaciones de la Planta 1

En la planta superior (Planta 1) se caracteriza por disponer, en la mayor parte de su superficie, aulas informáticas y audiovisuales usadas para impartir clases teóricas previas a la elaboración de las diferentes prácticas, y además son destinadas al manejo de softwares técnicos.

Las prácticas y actividades más relevantes que se realizan en las instalaciones de esta planta son las que se indican a continuación:

- Caracterización de parámetros básicos en combustibles líquidos para motores de combustión interna.
- Caracterización de los parámetros más típicos de aceites lubricantes.
- Estudio de elementos constructivos de motores de combustión interna alternativos.
- Manejo de software para el análisis numérico de problemas combinados de convección natural y radiación.
- Manejo de softwares para la aplicación de técnicas de mallado y cálculo CFD (dinámica de fluidos computacional) en motores de combustión interna alternativos.
- Caracterización de compresores volumétricos.
- Aplicación de técnicas de monitorizado y diagnóstico de motores.

En esta planta se encuentra ubicado el laboratorio de Transferencia de masa y energía 2 que será objeto de estudio para la elaboración del plan de mantenimiento de los compresores de aire con los que cuenta.

A continuación, en la figura 4 se detalla cómo se encuentran distribuidos los laboratorios y aulas:

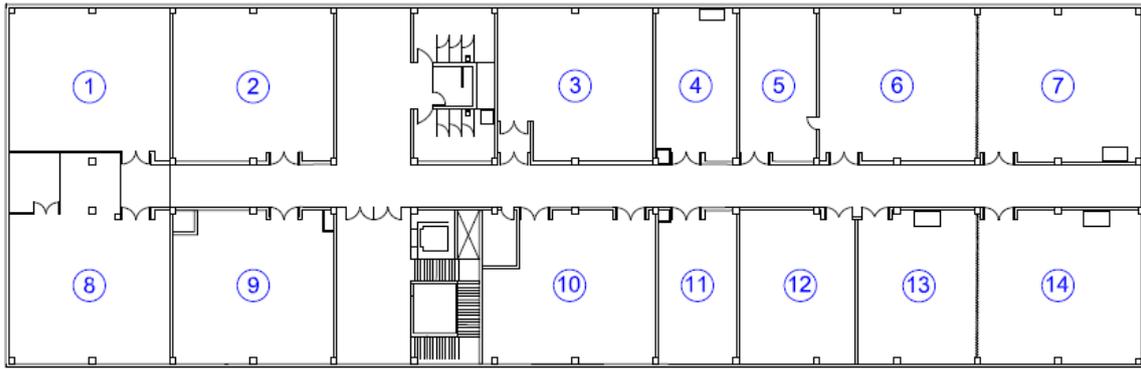


Figura 4. Esquema de la Planta 1

- | | |
|-------------------------------------|------------------------------|
| ① Transferencia de masa y energía 1 | ⑧ Combustibles y lubricantes |
| ② Transferencia de masa y energía 2 | ⑨ Elementos constructivos |
| ③ Fluidodinámica 1 | ⑩ Informática 1 |
| ④ Fluidodinámica 2 | ⑪ Audiovisuales 1 |
| ⑤ Sala de control | ⑫ Informática 2 |
| ⑥ Maquetas 2 | ⑬ Informática 3 |
| ⑦ Maquetas 1 | ⑭ Audiovisuales 2 |

2.2. DESCRIPCIÓN DEL LABORATORIO DE TRANSMISIÓN DE CALOR

El Laboratorio de Transmisión de Calor se encuentra ubicado en la Planta 0 del edificio en el pasillo del lado derecho, cuenta con un área aproximada de 65 m² para la realización de las diferentes prácticas. Este laboratorio cuenta con las instalaciones auxiliares de suministro de agua y de combustible necesarias para la puesta en marcha de cada uno de los equipos.

Una práctica que se realiza dentro del laboratorio es la de Caracterización de Llama, la cual consiste en: distinguir los procesos de combustión premezclada y de difusión en cuanto a la estructura y radiación de la llama; y cuantificar la relación aire-combustible en aplicaciones sencillas. Esto se lleva a cabo en diferentes quemadores laminares de combustión premezclada, en donde se puede observar la estructura de la llama y se realizan las medidas para cuantificar el proceso de combustión.

Para realizar la práctica de Balance Energético de una Caldera se disponen de 6 equipos de montaje fijo, instrumentados y conectados a sus respectivas instalaciones de suministro para su funcionamiento. Esta práctica consiste en: conocer los elementos constructivos de un equipo de producción de energía térmica industrial, efectuar el balance energético y

evaluar el comportamiento del conjunto quemador-caldera en diferentes regulaciones de mezcla aire-combustible en cuanto a rendimiento y emisiones contaminantes.

En la siguiente figura se muestra la disposición de las calderas dentro del laboratorio, en donde se logra identificar que existe similitud en cuanto al tipo de caldera instalada, con respecto al modelo y marca.



Figura 5. Laboratorio de Transmisión de Calor

El grupo de calderas está compuesto por modelos iguales adquiridos en diferentes años, en la siguiente tabla se detallan los equipos con los que cuenta el laboratorio:

Cantidad	Marca	Modelo	Año de fabricación	Quemador
1	CABEL	CLIMA TRONIC 30 A	2009	LASIAN MAX 1 R TC (L+S)
1	CABEL	CLIMA TRONIC 30 A	2010	LASIAN MAX 1 R TC (L+S)
2	CABEL	CLIMA TRONIC 30 A	2017	BENTONE BF1 KA 76-22
1	CABEL	CLIMA TRONIC 30 A	2018	BENTONE BF1 KA 76-22
1	CABEL	CLIMA TRONIC 30 A	2019	BENTONE BF1 FU 63-16

Tabla 1. Modelos de calderas existentes

Durante la elaboración de este proyecto se realizó el reemplazo de la última caldera que se tenía de la marca ROCA modelo NGO 50/20 GT del año 1999.

2.3. DESCRIPCIÓN DEL LABORATORIO DE TRANSFERENCIA DE MASA Y ENERGÍA 2

El Laboratorio de Transferencia de masa y energía 1 se encuentra ubicado en la Planta 1 del edificio en el pasillo del lado izquierdo, cuenta con un área aproximada de 85 m²

destinada tanto para la realización de las diferentes prácticas; así como también para impartir clases teóricas.

Para la zona de prácticas cuenta con 3 estaciones de trabajo cuya superficie es de 4 m² las cuales cuentan con las instalaciones auxiliares necesarias para la puesta en marcha de cada uno de los equipos utilizados.

Dentro de las estaciones se realizan varias prácticas de las distintas asignaturas, es por esta razón que ninguno de los equipos que se utilizan para la elaboración están fijos.

Para realizar la práctica de compresores volumétricos se disponen de compresores instrumentados y conectados a su respectiva instalación de suministro para la puesta en marcha. Esta práctica consiste en: conocer las curvas características de estos compresores y las tendencias de los parámetros principales, utilizar técnicas experimentales para caracterizar los parámetros de funcionamiento; y, caracterizar y analizar la influencia de dos parámetros de diseño (relación de compresión y volumen perjudicial o volumen muerto) sobre el rendimiento (volumétrico e isotérmico).

Actualmente se instalan 5 compresores de aire para la ejecución de las prácticas, en donde cada estación de trabajo puede contener dos equipos. Como se indicó anteriormente, los compresores no son de instalación fija; es decir, son montados de acuerdo al requerimiento.

En la siguiente figura se muestra la disposición de los equipos que se utilizan para realizar la práctica dentro del laboratorio, en donde se logra identificar que se encuentra unificado el tipo de compresor utilizado.

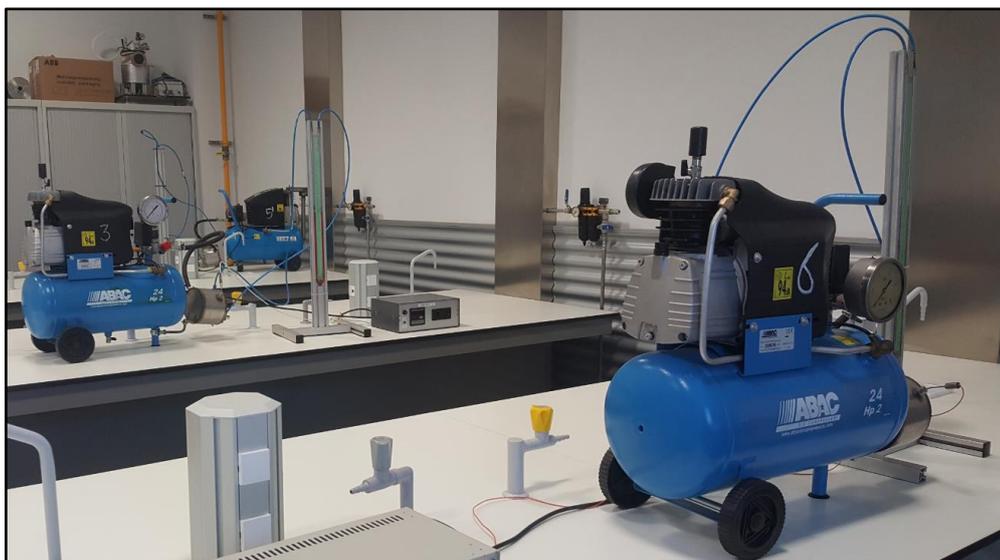


Figura 6. Laboratorio de Transferencia de Masa y Energía 2

El grupo de compresores de aire, al momento, está compuesto por algunos modelos diferentes los cuales se detallan a continuación:

Cantidad	Marca	Modelo	Año de fabricación
1	ABAC	POLE POSITION 220	1998
1	ABAC	AF20E50	2010
1	ATLAS COPCO	AF20E24	2010
2	ABAC	POLE POSITION L20	2012

Tabla 2. Modelos de compresores de aire existentes

3. DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS Y SU ADAPTACIÓN

3.1. EQUIPOS DE GENERACIÓN DE CALOR

Para la descripción de las modificaciones que se realizan para adaptar los equipos de generación de calor, se toma como referencia la Caldera de Hierro Fundido a Gasóleo CLIMA TRONIC 30 A (calefacción + ACS) de la marca CABEL. Ya que cada una de las calderas de la marca ROCA que se tenían anteriormente fueron sustituidas por este modelo, con la finalidad de restaurar el grupo.



Figura 7. Caldera CLIMA TRONIC 30 A

Estas calderas sirven para producir agua caliente y cuentan con los componentes hidráulicos necesarios para alimentar un circuito directo de calefacción y para el calentamiento de agua sanitaria.

En condiciones normales, el funcionamiento de la caldera es el siguiente: el gasoil comienza a fluir hasta la cámara de combustión en donde es atomizado, luego los electrodos de la cámara de combustión producen una descarga eléctrica que ocasionan unas llamas controladas. La llama generada calienta el intercambiador de calor, y desde esa área el humo de la combustión se traslada a otra cámara para su expulsión. El calor que se obtiene en el intercambiador calienta el agua, que luego circula por el circuito de calefacción.

3.1.1. Detalle de la Caldera de Hierro Fundido a Gasóleo

La caldera de hierro fundido CABEL modelo CLIMA TRONIC 30 A, tienen un diseño de tiro forzado horizontal de 3 pasos para la utilización de combustibles líquidos. Las calderas que se basan en este principio se caracterizan por su alto rendimiento, así como por el bajo contenido de sustancias contaminantes en sus gases de combustión. Es por ello que estas calderas pueden ser instaladas cumpliendo las exigencias medioambientales más rigurosas. Dispone del siguiente marcado CE:

- Directiva de Ecodiseño ErP 2009/12/CE.
- Directiva de Baja Tensión 2006/95/CE.
- Directiva sobre Compatibilidad Electromagnética 2004/108/CE y 2014/30/UE.

Y cumple con los requerimientos que se detallan en la siguiente tabla:

Norma	Denominación	Detalle
UNE-EN 303-1:2018	Calderas de calefacción. Parte 1	Calderas con quemadores de tiro forzado. Terminología, requisitos generales, ensayo y marcado.
UNE-EN 303-2:2018	Calderas de calefacción. Parte 2	Calderas con quemadores de tiro forzado. Requisitos especiales para calderas con quemadores de combustibles líquidos por pulverización.
UNE-EN 303-4:1999	Calderas de calefacción. Parte 4	Calderas con quemadores de tiro forzado. Requisitos específicos para calderas con quemadores de combustibles líquidos de tiro forzado con una potencia útil de hasta 70 kW y una presión de servicio máxima de 3 bar. Terminología, requisitos especiales, ensayos y marcado.
UNE-EN 303-6:2000	Calderas de calefacción. Parte 6	Calderas de calefacción con quemadores de tiro forzado. Requisitos específicos para el servicio de agua caliente sanitaria de las calderas mixtas con quemadores de combustible líquido por pulverización cuyo consumo calorífico nominal es inferior o igual a 70 kW.
UNE-EN 304:2018	Calderas de calefacción.	Reglas de ensayo para las calderas con quemadores de combustibles líquidos por pulverización.

Tabla 3. Normativa de requerimientos de calderas

En la siguiente tabla se indica la información técnica con las características de la caldera:

Información técnica			
Potencia térmica útil	kW	27	
	kcal/h	23200	
Potencia térmica nominal	kW	28,9	
	kcal/h	24834	
Clase de eficiencia energética estacional de calefacción	-	B	
Clase de eficiencia energética de caldeo de agua	-	A	
Temperatura de gases de combustión	°C	175	
Caudal másico de humos	kg/s	0,0126	
Pérdida de presión lado gases	mbar	0,23	
Sobrepresión en cámara de combustión	mbar	0,13	
Diámetro salida de humos	mm	130	
Dimensiones de la caldera	alto	mm	880
	ancho	mm	500
	longitud	mm	740
	diámetro	mm	280
Cámara de combustión	profundidad	mm	320
	volumen	m ³	0,019
Volumen total circuito humos	m ³	0,03	
Combustible	-	Gasóleo	
Fluido calefacción	-	Agua	
Volumen de agua	lt	19,6	
Producción continua A.C.S.	l/min 30 °C	13	
Pérdida de presión circuito agua	mbar	1,5	
Pérdida de calor en modo espera	kW	0,081	
Presión de prueba (cuerpo caldera)	bar	5,2	
Presión máxima de trabajo	bar	3	
Temperatura de trabajo	°C	70-90	
Temperatura termostato de seguridad	°C	110	
Tiro de chimenea	mbar	Min. 0,1	
Alimentación eléctrica	-	230 V / 50 Hz	
Consumo de electricidad	kWh	0,213	
Consumo de electricidad auxiliar	a plena carga	kW	0,142
	a carga parcial	kW	0,051
	en modo espera	kW	0,003
Peso	kg	160	

Tabla 4. Información técnica de la caldera CLIMA TRONIC 30 A

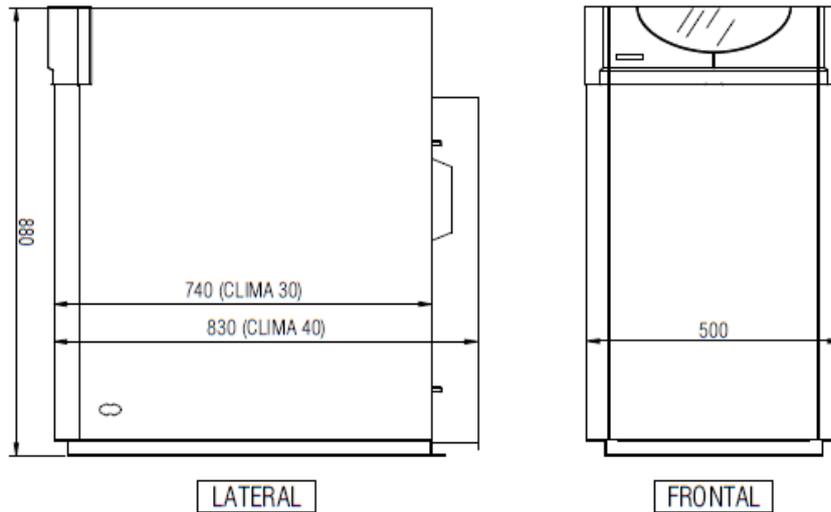


Figura 8. Dimensiones generales de la caldera

3.1.1.1. Cuadro de mandos

La caldera cuenta con un cuadro de mandos modelo CME-17 electrónico de control digital donde se controla con mayor precisión el arranque/parada, el funcionamiento en los diferentes modos y los parámetros durante el trabajo tanto de temperatura como de presión.



Figura 9. Cuadro de mandos de caldera

A continuación, en la figura 10 se detalla cada uno de los elementos que componen el cuadro de mandos de la caldera:

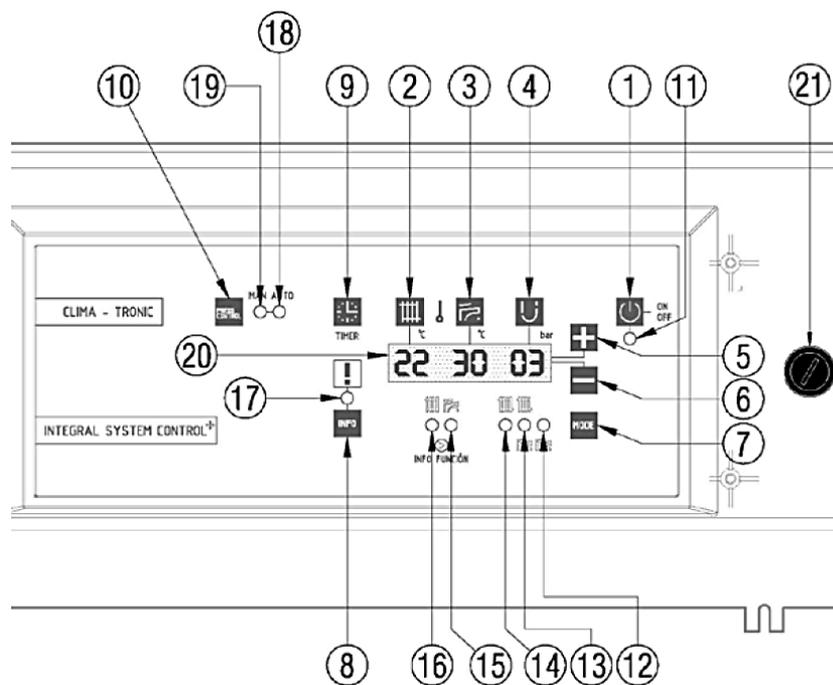


Figura 10. Cuadro de mandos CME-17

- ① Pulsador de encendido/apagado (ON/OFF).
- ② Pulsador para visualizar la temperatura máxima del agua para radiadores.
- ③ Pulsador para visualizar la temperatura máxima del ACS seleccionada.
- ④ Pulsador para visualizar la presión mínima seleccionada para el agua de caldera.
- ⑤ Pulsador para aumentar el valor que se encuentre parpadeando en ese momento.
- ⑥ Pulsador para disminuir el valor que se encuentre parpadeando en ese momento.
- ⑦ Pulsador para seleccionar el modo de trabajo de la caldera.
- ⑧ Pulsador de doble función:
 - Con led rojo fijo actúa de termostato de seguridad.
 - Con led rojo intermitente, nos da información de las alarmas.
- ⑨ Pulsador para la visualización de los contadores de horas.
- ⑩ Pulsador para activar/desactivar PRESS CONTROL.
- ⑪ Led verde indicador de caldera conectada.
- ⑫ Led verde indicador de caldera en modo ACS.
- ⑬ Led verde indicador de caldera en modo Calefacción + ACS.
- ⑭ Led verde indicador de caldera en modo Sólo Calefacción.
- ⑮ Led verde indicador de caldera funcionando para ACS.
- ⑯ Led verde indicador de caldera funcionando para Calefacción.
- ⑰ Led rojo de doble función:

- Iluminado fijo, indica que se ha sobrepasado el límite de temperatura de agua.
- Iluminado intermitente, indica que se halla disparada alguna alarma o mensaje.

- ⑱ Led verde indica que el PRESS CONTROL se encuentra activado.
- ⑲ Led verde indica que la presión del agua está en modo manual.
- ⑳ Pantalla con display de 8 dígitos para visualizar el estado de la caldera.
- ㉑ Termostato mecánico de seguridad.

3.1.1.2. Quemador

El quemador en la caldera es el elemento encargado de realizar la mezcla del gasóleo con el aire, para que salte la chispa que inicia la combustión. La llama generada es impulsada hacia el interior de la cámara de combustión localizada en la parte inferior de la caldera. El quemador cumple también la función de regular la llama de acuerdo a las necesidades de la caldera mediante un control electrónico de válvula y bomba de impulsión.

La caldera lleva montado un quemador BENTONE BF KA de una etapa de funcionamiento (todo/nada), construido y aprobado según la norma europea UNE-EN 267+A1:2011 sobre Quemadores automáticos de tiro forzado para combustibles líquidos. Con las características técnicas que se indican en la siguiente tabla:

Información técnica		
Tipo	-	BF1
Modelo	-	KA/KAV 76-22
Potencia térmica máxima	kW	75
	kcal/h	64500
Potencia térmica mínima	kW	22
	kcal/h	18920
Caudal máximo de gasóleo	Kg/h	6,3
Caudal mínimo de gasóleo	Kg/h	2,1
Alimentación eléctrica	-	230 V / 50 Hz
Potencia eléctrica	W	110
Programador	-	Siemens LMO14
Bomba inyectora	-	Suntec, Danfoss
Transformador de encendido	-	26 kV / 35 mA
Funcionamiento	-	Todo/Nada
Combustible	-	Gasóleo
Peso	kg	10

Tabla 5. Información técnica del quemador BENTONE BF KA

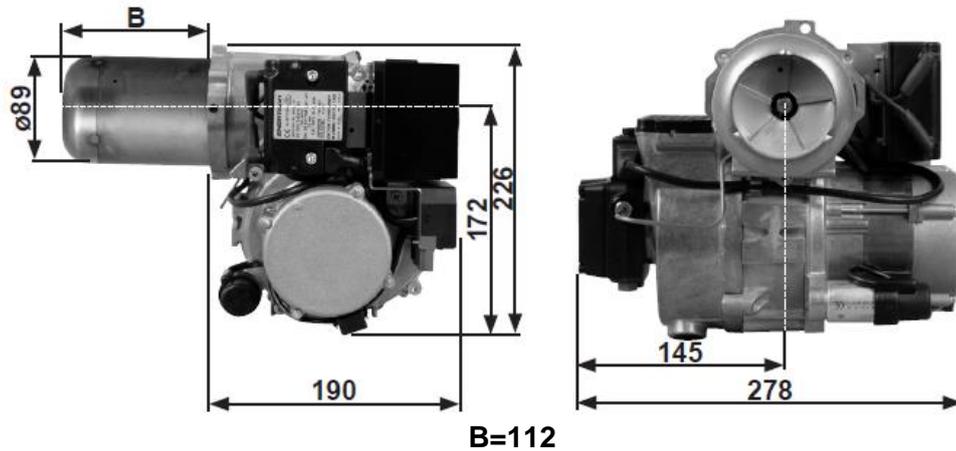


Figura 11. Dimensiones del quemador



Figura 12. Quemador BENTONE BF KA

3.1.2. Descripción de las adecuaciones en la caldera

Para que la caldera sea utilizada dentro del Laboratorio de Transmisión de Calor se deben realizar algunas adecuaciones con el fin de que el funcionamiento se ajuste a los objetivos de la práctica.

Las adecuaciones se realizan en dos puntos: una en la entrada de aire al quemador y la otra en el circuito de agua caliente sanitaria. Esta última no se realizaría en caso de que sea adquirida una caldera que tenga únicamente la función de calefacción directa.

3.1.2.1. Entrada de aire

La cantidad de aire ingresado al quemador es muy importante para conseguir una buena combustión; es decir, no debe ser excesiva ni tampoco escasa. Por la razón de que el rendimiento del quemador es afectado por la regulación de aire.

El ajuste del flujo de aire para la combustión se realiza por medio de un regulador dispuesto en el quemador, que puede ser girado con el uso de una llave hexagonal en los dos sentidos de acuerdo a la necesidad que se tenga. Ya sea que se requiera incrementar o reducir el flujo de aire en la entrada.

Con el fin de saber la cantidad de aire ingresado en cada ajuste, se realiza la construcción de un acoplamiento que se monta en el cuello instalado en la entrada de aire (figura 13); donde se alojará la respectiva instrumentación.



Figura 13. Conducto entrada de aire

Con las dimensiones del conducto de entrada de aire se realiza el diseño del acoplamiento (figura 14), en un extremo con la medida del borde interno del cuello en donde se monta y en el otro extremo con un agujero donde se instalará el instrumento para conocer la cantidad de aire ingresado. La parte interna se construye de forma cónica para facilitar el ingreso de aire luego de su paso por la zona de medida.

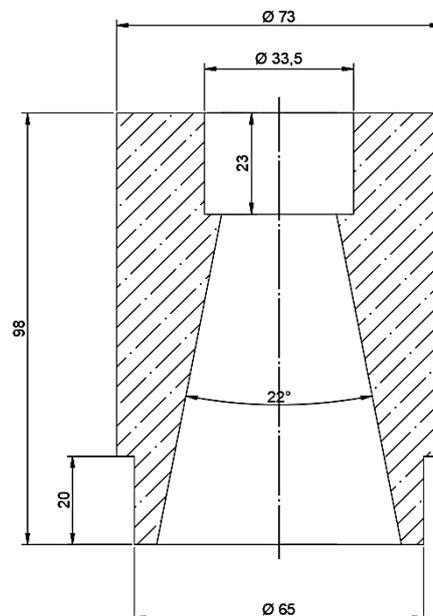


Figura 14. Pieza acoplamiento tobera de entrada de aire

Para la construcción se utiliza una barra redonda de PVC industrial gris, quedando de la forma como se muestra en la siguiente figura.



Figura 15. Acoplamiento construido

La siguiente figura muestra el acoplamiento instalado en el cuello del conducto de entrada de aire del quemador, en donde normalmente iría instalada una manguera para la toma de aire del exterior de la caldera.



Figura 16. Instalación de acoplamiento

3.1.2.2. Circuito de agua caliente sanitaria (ACS)

La caldera contiene dos circuitos: un circuito directo de calefacción y otro para el calentamiento que corresponde al ACS; cada uno de ellos con los componentes hidráulicos y de control necesarios. Para la ejecución de la práctica correspondiente al balance energético de una caldera se utiliza únicamente el circuito de calefacción quedando sin uso el de ACS.

La anulación del servicio del circuito de agua caliente sanitaria se realiza con la manipulación en dos puntos:

- En la instalación de las tuberías en la parte posterior de la caldera se coloca una manguera, entre la entrada que corresponde al AFS (agua fría sanitaria) y la salida del ACS, con el fin de cerrar el circuito hidráulico.

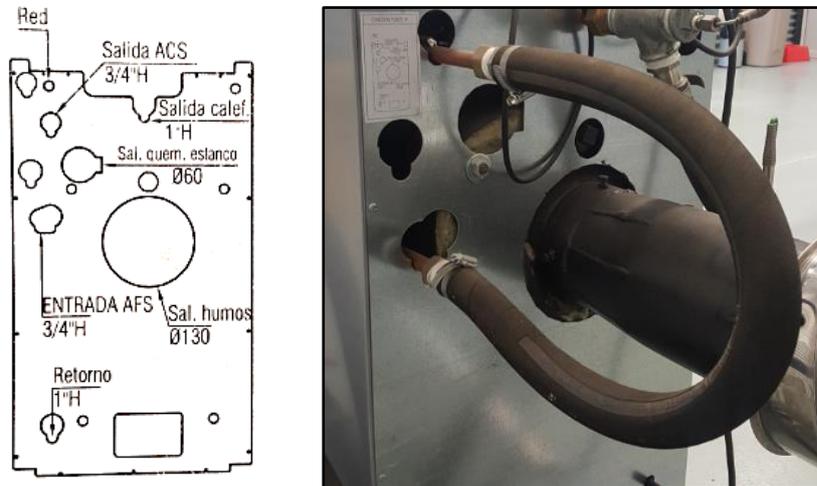


Figura 17. Conexión de manguera del ACS

- En la parte del circuito eléctrico de control del sistema se colocan dos resistencias para simular la señal de presión en el circuito hidráulico del ACS y arrancar la caldera sin que se produzca una situación anómala que emita un mensaje o alarma y la caldera quede bloqueada.

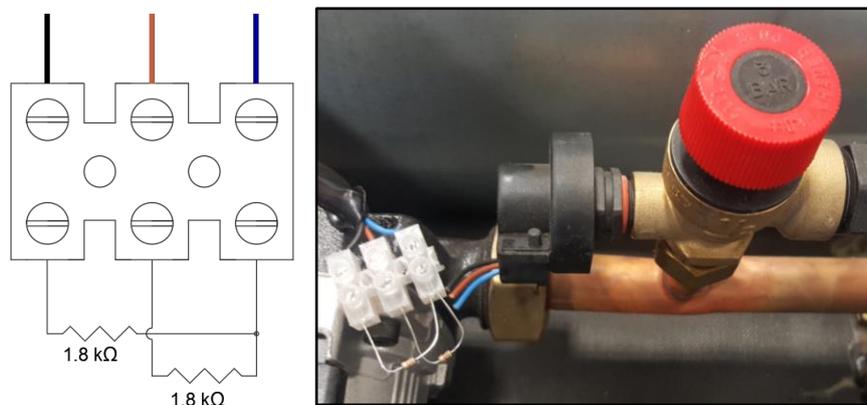


Figura 18. Instalación de resistencias

Se elimina la conexión con el sensor de presión ubicado sobre válvula de seguridad y se coloca un terminal de empalme con las resistencias de 1.8 kΩ situadas de la forma como se aprecia en la figura 18. Con esto se logra obtener una señal fija que permite arrancar y hacer funcionar la caldera como si estuviese trabajando el circuito de agua caliente sanitaria. También se consigue el mismo efecto colocando resistencias de 1.5 kΩ.

3.1.3. Instrumentación instalada en la caldera

Para la ejecución de la práctica es necesario contar con instrumentación específica que debe ser instalada en la caldera, lo que permite tomar los datos de los parámetros necesarios a medir para realizar los respectivos cálculos.

3.1.3.1. Tobera y columna de agua

Para determinar el gasto de aire en las diferentes regulaciones de la mezcla; se instala en el ducto de entrada sobre el acoplamiento construido, con las especificaciones que se detallaron anteriormente, una tobera con entrada cónica y garganta como en un tubo venturi.



Figura 19. Tobera de la caldera instalada

Sobre la tobera se monta un anillo piezométrico donde se instala una manguera que se comunica con la columna de agua en U que se encuentra marcada con una regla de resolución en milímetros. La columna se monta sobre un marco de aluminio a un costado de la caldera donde permite al estudiante el fácil acceso para la toma de lectura.

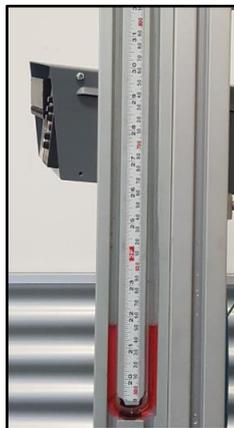


Figura 20. Columna de agua en U de la caldera

El gasto de aire se obtiene a partir de la lectura del salto de presión en m.m.c.a. mediante la curva de calibración de la tobera.

3.1.3.2. Medidor volumétrico

Para conocer el gasto de combustible que tiene la caldera, se instala un medidor volumétrico de tipo balón en la parte superior de la caldera. Este realiza la función de depósito de combustible para el funcionamiento de una determinada posición, ubicándose por encima de la línea de succión de la bomba del quemador.



Figura 21. Medidor volumétrico

Es fabricado con vidrio borosilicatado con una capacidad de 100 ml. Al final de la línea se coloca un depósito (1 litro de capacidad) que sirve de colector del combustible excedente que pasa a través de la tubería cuando la llave de paso no es cerrada a tiempo.

3.1.3.3. Medidor de caudal de agua

Para saber la medida del caudal de agua que ingresa a la caldera, se coloca un rotámetro que consiste en un tubo cónico de vidrio borosilicato y un flotador que trabaja según el principio del cuerpo en suspensión. El flotador es levantado por la inercia del propio fluido y la altura que alcanza depende del caudal.

Se instala en la línea de alimentación de agua de la caldera montado a un costado del marco de soporte, como se aprecia en la figura 22.



Figura 22. Rotámetro

El rotámetro cuenta con una escala en l/h, con un rango de medición de 400. La escala está grabada directamente sobre el vidrio con una resolución de medida de 10 l/h.

3.1.3.4. Termopares

La toma de medidas de temperatura se realiza con el uso de termopares, estos se componen de dos metales diferentes, unidos en un extremo. Cuando la unión de los dos metales se calienta o enfría, se produce una tensión que es proporcional a la temperatura. Los termopares empleados son del tipo K, estos tienen un conductor positivo de níquel-cromo y un conductor negativo de níquel-aluminio.

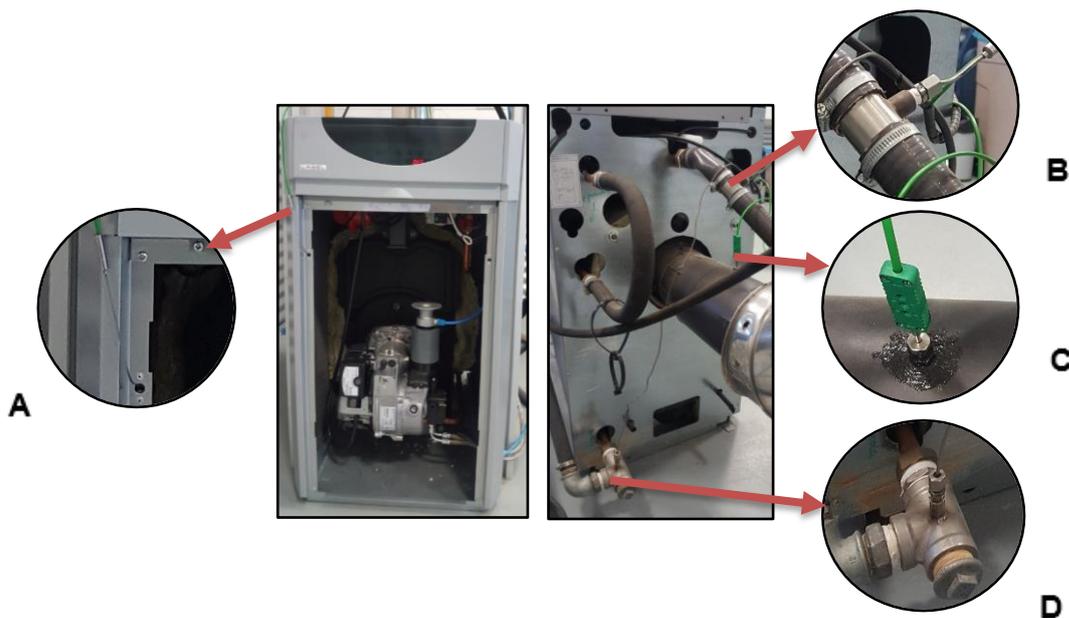


Figura 23. Ubicación de termopares

Las señales de temperatura tomadas corresponden a:

- Temperatura de aire de entrada al quemador (detalle A).
- Temperatura de agua de salida de la caldera (detalle B).
- Temperatura de gases de salida de la caldera (detalle C).
- Temperatura de agua de entrada de la caldera (detalle D).

3.1.3.5. Monitor de temperaturas

La tensión que emiten los termopares, en función de la temperatura con la que están en contacto, es tratada y acondicionada para que pueda ser visualizada en valores de temperatura a través de una pantalla.



Figura 24. Monitor de temperaturas

El monitor usado contiene 6 canales, de los cuales se usa únicamente 4 que corresponden a las conexiones con cada uno de los termopares señalados anteriormente. Este se encuentra ubicado sobre el marco de soporte en la parte superior de la caldera.

3.1.3.6. Analizador de gases de escape

Para medir la concentración de CO y NO en los gases de salida de la caldera, se usa un analizador de combustión para sistemas de calefacción Testo 330-2 LL. Con la ayuda de este instrumento se puede monitorizar la combustión y el rendimiento de la caldera, así como detectar posibles fugas de gases tóxicos. Este es generalmente usado en aplicaciones como:

- Medición del CO del ambiente en el entorno caliente.
- Medición de la presión en calderas (presión de la tobera, presión del caudal de gas, etc).

- Medición de los parámetros de gases productos de la combustión de la caldera (CO, O2, temperatura, etc.)
- Medición de las temperaturas en radiadores.

La sonda se coloca en un agujero realizado en el ducto de la chimenea para tomar los datos de las emisiones en cada uno de los ajustes de aire realizados, tal como se indica en la siguiente figura.



Figura 25. Analizador de gases de escape Testo 330-2 LL

3.1.4. Costes de caldera adaptada

Los costes que se detallan a continuación corresponden a los incurridos en la adquisición y adecuación de la caldera; que permiten conocer cuánto cuesta obtener un equipo apto para funcionar dentro de un laboratorio docente con los requerimientos que se imponen para cumplir con los objetivos de la práctica.

La siguiente tabla muestra los datos del coste de la mano de obra requeridos en la adecuación e instalación de la caldera. Como se puede apreciar, se considera el coste unitario de mano de obra de 30 €/h.

Descripción	Horas	Coste unitario (€/h)	Coste total (€)
Mano de obra eléctrico	1	30	30
Mano de obra tornero	2	30	60
Mano de obra instalador	48	30	1440
Total			1530

Tabla 6. Costes de mano de obra de la caldera

En el coste de mano de obra del instalador se toma en cuenta las horas en las que se realiza los trabajos de desmontaje de la caldera a reemplazar y la instalación del nuevo

equipo, ya que todas las estaciones del laboratorio cuentan con equipos. En ocasiones hace falta la intervención de dos personas, es por esta razón la que resulta un número alto de horas.

A continuación, en la siguiente tabla se muestra el coste del equipo comercial, instrumentación y accesorios en general utilizados en la adecuación.

Descripción	Cantidad	Coste unitario (€)	Coste total (€)
Caldera CABEL CLIMA TRONIC 30 A	1	2060	2060
Analizador de gases de escape Testo 330-2 LL	1	1960	1960
Tobera y columna de agua en U	1	45	45
Medidor volumétrico y botella	1	15	15
Termopar tipo K	4	25	100
Monitor de temperaturas	1	80	80
Rotámetro	1	120	120
Materiales eléctricos (cables-terminales)	-	-	15
Materiales hidráulicos (mangueras-acoplamientos-llaves)	-	-	45
Perfil de aluminio y anclajes	-	-	40
Suministros (papel-silicón-cinta-abrazaderas)	-	-	20
		Total	4500

Tabla 7. Costes de la caldera y accesorios

Se debe indicar que el analizador de gases es adquirido uno por cada dos calderas, debido a su alto coste y que además no es un instrumento que debe estar fijo en la caldera. Cuando se realiza cambios de calderas; con el objetivo de unificar las marcas y modelos, se utilizan los accesorios y la instrumentación de las calderas reemplazadas para reducir los costes.

El coste total señalado en la siguiente tabla es una referencia del que se tendría al adquirir todos los accesorios e instrumentación necesarias para tener un equipo a partir de cero.

Descripción	Coste total (€)
Coste mano de obra	1530
Coste de equipo de laboratorio	4500
Coste Total	6030

Tabla 8. Coste total equipo de laboratorio adaptado - caldera

El coste del equipo comercial representa el 34% del coste total del equipo de laboratorio, la figura 26 permite visualizar como afecta los costes de las adecuaciones en el coste total

del equipo. Cuando se pretenda realizar adquisición de nuevos equipos será necesario tomar en consideración que los costes de su adecuación son más importantes ya que representan la mayoría. Es por esta razón que los equipos deben ser correctamente usados y mantenidos para aprovechar al máximo su vida útil antes de su reemplazo.

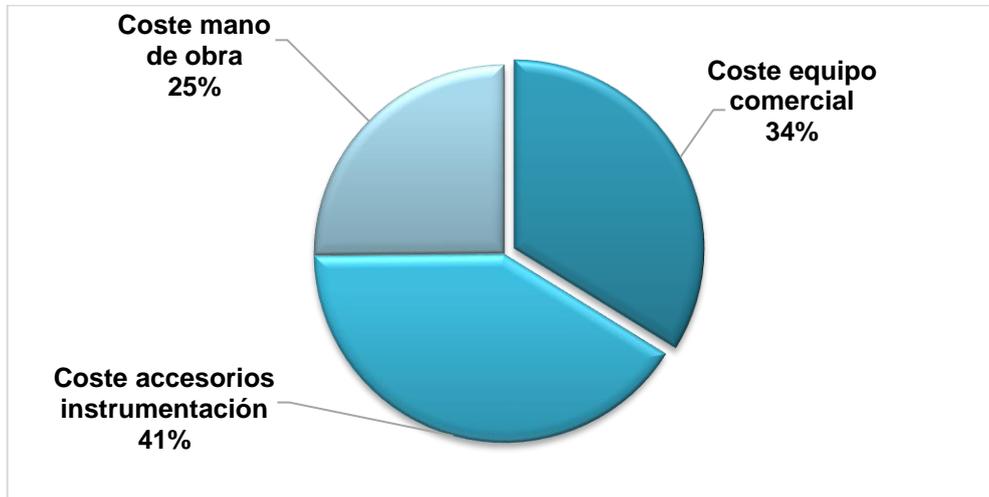


Figura 26. Coste total del equipo de laboratorio - caldera

3.2. COMPRESORES VOLUMÉTRICOS

Para la descripción de las modificaciones que se realizan para adaptar los compresores volumétricos, se toma como referencia el Compresor de Aire Alternativo Serie LINE Gama L20 de la marca ABAC. Ya que los compresores utilizados son, en su mayoría, de la marca señalada y los que posteriormente serán adquiridos se lo hará de la misma manera con la finalidad de mantener una marca y modelo unificado para todos los equipos.



Figura 27. Compresor de aire ABAC

Estos compresores permiten mayores relaciones de compresión y se usan para suministro de aire comprimido a una instalación donde se requiera de aire a elevada presión. En condiciones normales, el funcionamiento del compresor es el siguiente: el movimiento descendente del pistón abre la válvula de carga que permite el ingreso de aire al interior del cilindro; al realizar el movimiento ascendente del pistón, comprime el aire en el interior del cilindro hasta que la válvula de descarga se abre, liberándolo hacia el depósito donde se acumula el aire a presión para el posterior suministro de la instalación.

3.2.1. Detalle del Compresor de Aire

El compresor de aire ABAC Serie LINE Gama L20 es del tipo lubricado y accionado por un motor eléctrico con transmisión directa, la siguiente tabla muestra la información técnica con sus características:

Información técnica			
Tipo	-	Coaxial lubricado	
Modelo	-	POLE POSITION L20	
Potencia	hp	2	
	kW	1,5	
Velocidad de giro	rpm	2850	
Alimentación eléctrica	-	230 V / 50 Hz	
Grado de protección	-	IP 20	
Nivel de sonido	dB	94	
Caudal	l/min	220	
	cfm	7,8	
Presión máxima	bar	10	
	psi	145	
Volumen depósito	lt	24	
	gal	6,3	
Dimensiones	alto	mm	590
	ancho	mm	255
	longitud	mm	570
Peso	kg	25	

Tabla 9. Información técnica del compresor de aire ABAC

3.2.2. Descripción de modificaciones en el compresor

Para que el compresor de aire sea utilizado dentro del Laboratorio de Transferencia de Masa y Energía 2 se debe realizar algunas adecuaciones con el fin de que el funcionamiento se ajuste a los objetivos de la práctica.

Las modificaciones se realizan en dos puntos: una en el cabezal del compresor y otra en la salida de aire.

3.2.2.1. Cabezal del compresor

Para analizar el efecto que tiene el volumen muerto sobre el rendimiento, se instala en la culata del cabezal un pequeño depósito de hierro con una llave de paso que hace la función de una extensión de la cámara de compresión, permite adicionar un volumen de aire de 10 cm³, pudiendo variar de esta forma el volumen muerto.

La modificación requiere desmontar la culata y maquinar la superficie para disponer del espacio suficiente y poder soldar un acoplamiento en donde se ensambla la llave de paso junto con el depósito adicional.

El aire debe pasar desde el cilindro hasta parte externa de la culata; para esto se realiza un pequeño orificio de 2 mm de diámetro que atraviesa la culata y la placa de válvulas. Este orificio se taladra totalmente centrado, para que no exista comunicación entre los compartimientos correspondientes al ingreso y salida de aire.

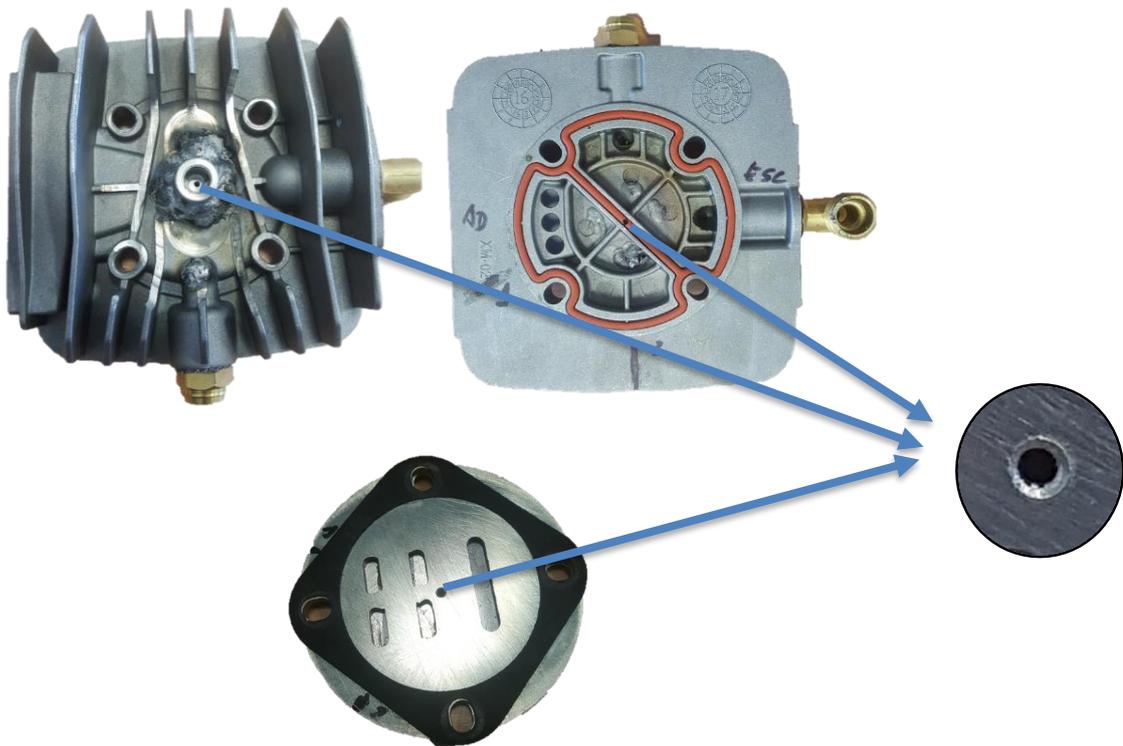


Figura 28. Detalle de perforación de culata y placa de válvulas

Esta modificación debe ser realizada con mucha precisión ya que debe quedar totalmente hermética y no debe existir fugas internas entre los compartimientos de entrada y salida de

aire, al tener un error en este procedimiento se dejaría sin uso la culata y la placa de válvulas lo supone una pérdida del equipo.

En la siguiente figura se muestra la culata con las modificaciones realizadas y con el depósito de volumen muerto ya instalado.



Figura 29. Depósito adicional de volumen muerto

3.2.2.2. Salida de aire

En la salida de aire del compresor se requiere medir la temperatura y el gasto, para lo cual se construye un cilindro considerado como volumen de remanso. En este se deben realizar los respectivos agujeros de entrada y salida de aire, en esta última se tienen que hacer perforaciones para la brida de montaje de la tobera que posteriormente se instala. Se colocan también acoplamientos; uno para el montaje del sensor de temperatura y otro para instalar el instrumento que mide el salto de presión.



Figura 30. Cilindro de volumen de remanso

Este cilindro se construye en acero inoxidable con una base para ser fijado al costado del depósito del compresor junto a la salida del aire comprimido.

3.2.3. Instrumentación instalada en el compresor

Para la ejecución de la práctica el equipo debe contar con instrumentación específica que permita tomar los datos de los parámetros necesarios a medir para realizar los respectivos cálculos.

3.2.3.1. Tobera y columna de agua

Con la finalidad de obtener los parámetros para el cálculo del rendimiento volumétrico del compresor, se utiliza una tobera a la cual se conecta una columna de agua en U para conocer el salto de presión que es uno de los datos para obtener la medida del gasto másico de aire.

La tobera es de entrada cónica y garganta como en un tubo venturi; esta se monta a manera de salida de aire del cilindro construido, tiene instalado un anillo piezométrico para tomar la presión en donde se conecta una de las mangueras que se comunican con la columna de agua.



Figura 31. Tobera del compresor instalada

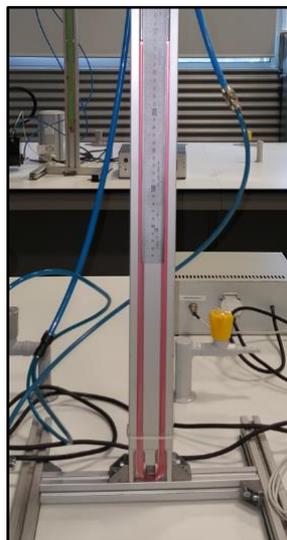


Figura 32. Columna de agua en U del compresor

La columna de agua cuenta con una regla marcada en milímetros que se monta sobre un marco de aluminio, aquí se conectan dos mangueras; una que toma la presión de la tobera y otra del cilindro, para de esta manera conocer el salto de presión. Para determinar la medida del gasto masico de aire es necesario aplicar la ecuación que viene definitiva por la tobera, para esto es necesario conocer la densidad del aire en la salida y el valor de la constate k de la tobera.

3.2.3.2. Manómetro

El compresor comercial lleva instalado de fabrica dos manómetros, uno de ellos es para medir la presión del depósito que justamente es el parámetro a conocer para determinar la relación de compresión.

Como los manómetros originales son de pequeño diámetro, se instala uno de tipo bourdon de 10 bar generalmente con relleno de glicerina de 4 pulgadas de diámetro, esto con la finalidad de que el estudiante tome las lecturas con mayor comodidad manteniendo cierta distancia de seguridad con el equipo en funcionamiento.



Figura 33. Manómetro instalado

3.2.3.3. Termorresistencia

Para conocer la densidad del aire en la salida del compresor y poder tener todos los parámetros requeridos para obtener el gasto masico, es necesario medir la temperatura del aire que sale por la tobera. Para tomar la señal se instala una termorresistencia en el cilindro de volumen de remanso donde se encuentra la tobera. Esta termorresistencia es del tipo PT100 que es un transductor de gran precisión y estabilidad, con lo cual se puede ajustar el cálculo de la densidad del aire con mayor exactitud.

La siguiente figura muestra la forma como queda montada la termorresistencia sobre el cilindro de volumen de remanso.



Figura 34. Termorresistencia instalada

3.2.3.4. Monitor de temperatura y corriente

Para procesar y visualizar la señal tomada por el transductor se usa un monitor que además cuenta con un medidor de corriente. La línea de alimentación de corriente del compresor se conecta en el monitor y este a su vez es el que se enlaza a la red eléctrica, consiguiéndose de esta forma una conexión en serie que permite obtener la medida de la corriente demandada por el motor eléctrico durante su funcionamiento.



Figura 35. Monitor de temperatura y corriente

El valor de la corriente es necesario conocer para obtener la potencia eléctrica que, luego con la aplicación de fórmulas, permitirá determinar el rendimiento isotérmico.

3.2.4. Costes de compresor adaptado

Los costes que se detallan a continuación corresponden a los incurridos en la adquisición y adecuación del compresor; que permiten conocer cuánto cuesta obtener un equipo apto para funcionar dentro de un laboratorio docente con los requerimientos que se imponen para cumplir con los objetivos de la práctica.

En la tabla 10 se muestran los costes de mano de obra que se emplea para realizar las modificaciones e instalación del equipo. Lo que corresponde a la mano de obra del instalador se toma en cuenta las horas que se utilizan para desarmar y armar los

componentes necesarios del compresor para hacer las modificaciones; así como también, para instalar la instrumentación. Es decir, aquí no se considera como instalación del equipo en un sitio fijo debido a que; como se mencionó en el apartado de la descripción del laboratorio, estos son montados en sus estaciones de acuerdo al requerimiento de las prácticas.

Descripción	Horas	Coste unitario (€/h)	Coste total (€)
Mano de obra soldador	2	30	60
Mano de obra tornero	3	30	90
Mano de obra instalador	6	30	180
Total			330

Tabla 10. Costes de mano de obra del compresor

A continuación, en la siguiente tabla se muestra el coste del equipo comercial, instrumentación y accesorios en general utilizados en la adecuación.

Descripción	Cantidad	Coste unitario (€)	Coste total (€)
Compresor de aire ABAC L20	1	200	200
Monitor de temperatura y corriente	1	80	80
Tobera y columna de agua en U	1	35	35
Manómetro tipo bourdon	1	30	30
Termorresistencia PT100	1	48	48
Materiales (latón-soldadura)	-	-	25
Materiales varios (mangueras-acoplamiento-llaves)	-	-	20
Perfil de aluminio y tornillería	-	-	20
Suministros (papel-cinta teflón-abrazaderas)	-	-	10
Total			468

Tabla 11. Costes del compresor y accesorios

Cuando se realiza cambios de compresores se utilizan los accesorios y la instrumentación de los compresores reemplazados lo que reduce los costes. El coste total señalado en la siguiente tabla es una referencia del que se tendría al adquirir todos los accesorios e instrumentación necesarias para tener un equipo a partir de cero.

Descripción	Coste total (€)
Coste mano de obra	330
Coste de equipo de laboratorio	468
Coste Total	798

Tabla 12. Coste total equipo de laboratorio adaptado - compresor

El coste del equipo comercial representa el 25% del coste total del equipo de laboratorio, la siguiente figura permite visualizar como afecta los costes de las adecuaciones en el coste total del equipo. Como se puede apreciar, el mayor porcentaje del coste corresponde a la mano de obra empleada. Es por esta razón que los equipos deben ser correctamente usados y mantenidos para aprovechar al máximo su vida útil antes de su reemplazo.

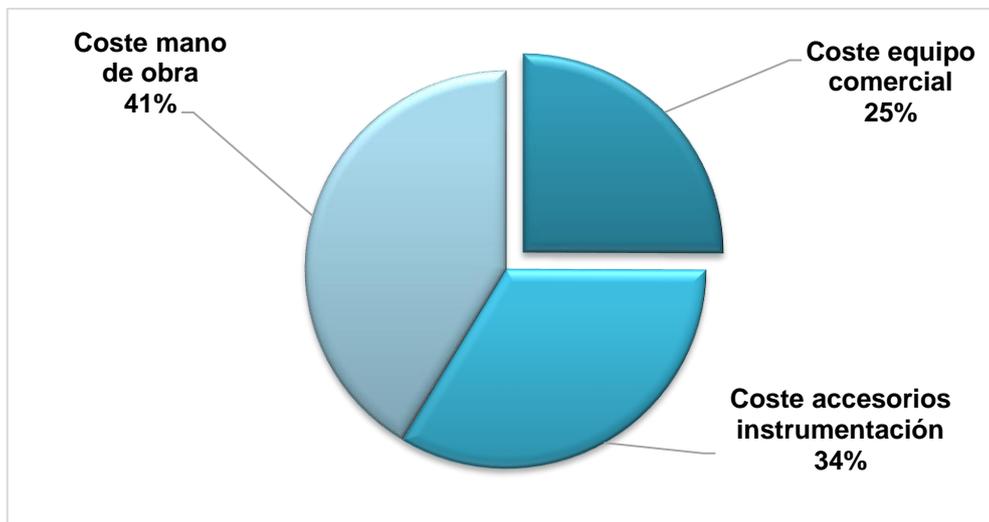


Figura 36. Coste total del equipo de laboratorio - compresor

4. SISTEMA DE MANTENIMIENTO DE LOS EQUIPOS

4.1. INTRODUCCIÓN

Los equipos utilizados dentro de los laboratorios no generan ingresos por producción; es decir, que si uno de ellos deja de funcionar no afecta económicamente su parada. Pero un equipo que no funcione dentro del laboratorio supone una alteración de los grupos de estudiantes, lo que conlleva a que la práctica no se realice de forma adecuada y no se cumpla a cabalidad los objetivos planteados. Por tal razón, pese a que no se obtiene ingresos económicos por su utilización, es importante realizar un mantenimiento adecuado con el propósito de:

- Conservar los equipos previniendo los fallos.
- Restablecer a su normal funcionamiento una vez que se presenten los fallos.
- Disponer de máxima seguridad para los estudiantes, profesores, técnicos, equipos e instalaciones que conforman los laboratorios.
- Asegurar la disponibilidad de los equipos para la realización de las prácticas.

Al no contar con un sistema de mantenimiento establecido, se deberá plantear las estrategias de mantenimiento, la planificación y los planes específicos de los equipos que permitan cumplir con los puntos señalados anteriormente. Así como también, establecer las instrucciones de trabajo respectivas que permitan al técnico encargado ejecutar el mantenimiento de una forma correcta.

En este apartado se abordará cada uno de los puntos que se deben desarrollar en la creación de un sistema de mantenimiento, los mismos que deben ser acondicionados a nuestra necesidad. Con esto se pretende dejar una estructura base en la que se pueda incluir nuevos equipos de acuerdo a la necesidad que se tenga en lo posterior, así como también, que sirva a manera como guía de consulta y sea tomada en cuenta para la creación de un sistema de mantenimiento en instalaciones de similares características.

4.2. ANÁLISIS DE LOS EQUIPOS

El primer trabajo que se debe realizar previo a la selección de las estrategias del sistema de mantenimiento y la elaboración de los respectivos planes, es el análisis de los equipos; es decir, estudiar cada uno de ellos con un cierto nivel de detalle con el propósito de facilitar la gestión del mantenimiento.

La primera parte que comprende este análisis, es una lista de equipos en forma de estructura arbórea o jerárquica; y la segunda es la identificación de los equipos mediante un código único.

4.2.1. Estructura jerárquica

La estructura jerárquica de los equipos se realiza en forma arbórea, en la que se indican las relaciones de dependencia de cada uno de los ítems que la conforman. Esta estructura se desarrolla en cuatro niveles con los términos que se definen a continuación:

- **Equipo:** cada una de las unidades objeto de estudio que se encuentran en los laboratorios.
- **Sistema:** conjunto de elementos que tienen una función común dentro del equipo.
- **Elemento:** cada una de las partes que integran un sistema.
- **Componentes:** partes en que pueden subdividirse un elemento.

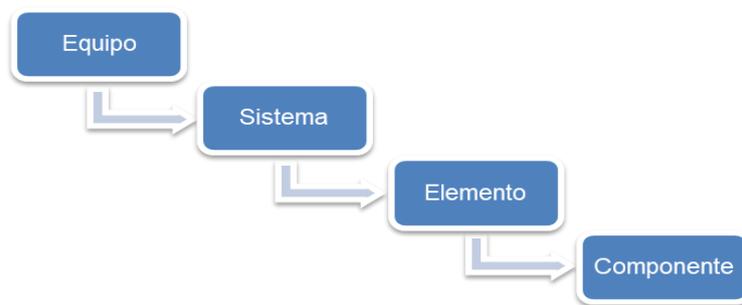


Figura 37. Estructura jerárquica

Es importante plantear esta estructura ya que facilita la gestión cuando esta sea asistida por ordenador, permite clasificar los históricos de fallos e intervenciones realizadas en los elementos y sistemas de los equipos, ayuda en la codificación y agrupación por familia de los repuestos. A continuación, se realiza una lista multinivel donde se tiene en cuenta la estructura señalada anteriormente:

- Para hacer referencia a los equipos se usan dos letras mayúsculas como iniciales, siendo CA para la Caldera y CO para los Compresor.
- Para los niveles que corresponden a los sistemas, elementos y componentes; se usan números.

CA. Caldera

CA.1. Control

CA.1.1. Cuadro de mandos

CA.1.1.1. Carcasa

CA.1.1.2. Placa electrónica

CA.1.1.3. Pulsador

CA.1.1.4. Termostato de seguridad

CA.1.2. Monitor de temperaturas

- CA.1.2.1. Carcasa
- CA.1.2.2. Placa electrónica
- CA.1.2.3. Pulsador

CA.2. Eléctrico

- CA.2.1. Cable de alimentación general
- CA.2.2. Cable de alimentación del cuadro de mandos
- CA.2.3. Cable de alimentación del monitor de temperaturas
- CA.2.4. Cable de alimentación del quemador
- CA.2.5. Cable de alimentación de la bomba
- CA.2.6. Cable del termopar
- CA.2.7. Cable del transductor
- CA.2.8. Terminal de empalme

CA.3. Admisión de aire

- CA.3.1. Tobera
- CA.3.2. Acoplamiento
- CA.3.3. Conducto de entrada de aire
- CA.3.4. Columna de agua en U
- CA.3.5. Termopar
- CA.3.6. Manguera plástica

CA.4. Combustible

- CA.4.1. Depósito
- CA.4.2. Manguera
- CA.4.3. Llave de paso
- CA.4.4. Medidor volumétrico
- CA.4.5. Filtro primario de gasoil

CA.5. Generación de calor

- CA.5.1. Cuerpo de caldera
 - CA.5.1.1. Tapa frontal cámara combustión
 - CA.5.1.2. Elemento de fundición frontal
 - CA.5.1.3. Elemento de fundición intermedio
 - CA.5.1.4. Elemento de fundición posterior
 - CA.5.1.5. Aislante
- CA.5.2. Quemador
 - CA.5.2.1. Plato de freno
 - CA.5.2.2. Boquilla
 - CA.5.2.3. Ventilador
 - CA.5.2.4. Transformador de ignición

- CA.5.2.5. Control del quemador
- CA.5.2.6. Caja de conexiones
- CA.5.2.7. Condensador eléctrico
- CA.5.2.8. Motor
- CA.5.2.9. Precalentador
- CA.5.2.10. Electrodo de ignición
- CA.5.2.11. Cable de ignición
- CA.5.2.12. Fotorresistencia
- CA.5.2.13. Tubo de explosión
- CA.5.2.14. Válvula solenoide
- CA.5.2.15. Bomba de gasoil
- CA.5.2.16. Filtro secundario de gasoil
- CA.5.2.17. Regulador de presión de gasoil
- CA.5.2.18. Regulador de aire

CA.6. Agua fría

- CA.6.1. Manguera
- CA.6.2. Acoplamiento
- CA.6.3. Llave de paso
- CA.6.4. Rotámetro
- CA.6.5. Termopar
- CA.6.6. Tubo de reenvío

CA.7. Agua caliente

- CA.7.1. Manguera
- CA.7.2. Acoplamiento
- CA.7.3. Termopar
- CA.7.4. Tubo de salida
- CA.7.5. Colector de salida
- CA.7.6. Purgador automático
- CA.7.7. Intercambiador horizontal
- CA.7.8. Bomba de agua
- CA.7.9. Vaso de expansión
- CA.7.10. Válvula de seguridad
- CA.7.11. Válvula de llenado
- CA.7.12. Interruptor de flujo
- CA.7.13. Válvula de retención

CA.8. Gases de escape

- CA.8.1. Boca de salida humos

CA.8.2. Conducto de chimenea

CA.8.3. Termopar

CO. Compresor

CO.1. Control

CA.1.1. Monitor de temperatura y corriente

CO.1.1.1. Carcasa

CO.1.1.2. Placa electrónica

CO.1.1.3. Pulsador

CO.1.2. Presostato

CO.2. Eléctrico

CA.2.1. Cable de alimentación del monitor

CA.2.2. Cable de alimentación del compresor

CA.2.3. Cable de la termorresistencia

CA.2.4. Botón de arranque y parada

CO.3. Admisión de aire

CO.3.1. Toma de aire

CO.3.2. Filtro de aire

CO.4. Grupo compresor

CO.4.1. Motor eléctrico

CO.4.1.1. Devanado de marcha

CO.4.1.2. Devanado auxiliar

CO.4.1.3. Condensador eléctrico

CO.4.1.4. Protección térmica automática

CO.4.1.5. Ventilador

CO.4.1.6. Eje de accionamiento

CO.4.1.7. Rodamiento

CO.4.1.8. Carcasa

CO.4.2. Cabezal

CO.4.2.1. Culata

CO.4.2.2. Cilindro

CO.4.2.3. Pistón

CO.4.2.4. Biela completa

CO.4.2.5. Segmentos

CO.4.2.6. Cigüeñal

CO.4.2.7. Tapa cárter

CO.4.2.8. Placa de válvulas

- CO.4.2.9. Acoplamiento
- CO.4.2.10. Cámara adicional
- CO.4.2.11. Aceite

CO.5. Depósito y salida de aire

- CO.5.1. Depósito
 - CO.5.1.1. Válvula de purga
 - CO.5.1.2. Válvula antirretorno
 - CO.5.1.3. Manómetro de depósito
 - CO.5.1.4. Ruedas / Silentblock
- CO.5.2. Tubo colector
- CO.5.3. Manómetro de salida
- CO.5.4. Regulador de presión
- CO.5.5. Tobera
- CO.5.6. Termorresistencia
- CO.5.7. Columna de agua en U
- CO.5.8. Llave de paso
- CO.5.9. Cilindro de volumen de remanso
- CO.5.10. Manguera plástica

4.2.2. Codificación de equipos

Es importante identificar cada uno de los equipos con un código único con el objetivo de referenciarlos en las órdenes de trabajo, registros, históricos de fallos, intervenciones, cálculo de indicadores y control de costes. Para esto se utiliza un sistema de codificación denominado no significativo por su simplicidad, asignando un código correlativo a cada equipo. Se usa este tipo de sistema ya que no existe un número elevado de equipos, por lo que la lista para poder relacionar cada equipo es manejable y no representa mayor complejidad a la hora de buscar un equipo a partir de su código.

Para la codificación se usa cuatro caracteres alfanuméricos, el tipo de equipo está definido por dos caracteres alfabéticos y el número correlativo por dos caracteres numéricos. La siguiente tabla indica los dos el código para identificar el tipo de equipo, el cual es similar el empleado en la estructura jerárquica:

Código	Tipo de equipo
CA	Generación de calor (Caldera)
CO	Compresor volumétrico (Compresor de aire)

Tabla 13. Código de identificación del tipo de equipo

Tipo	Nº de equipo	Descripción	Marca	Modelo	Nº de Serie	Quemador	Potencia nominal	Año de fabricación
CA	CA01	Caldera de agua caliente	CABEL	CLIMA TRONIC 30 A	1462-20066	LASIAN MAX 1 R TC (L+S)	28,9 kW	2009
CA	CA02	Caldera de agua caliente	CABEL	CLIMA TRONIC 30 A	1462-20139	LASIAN MAX 1 R TC (L+S)	28,9 kW	2010
CA	CA03	Caldera de agua caliente	CABEL	CLIMA TRONIC 30 A	1462-20449	BENTONE BF1 KA 76-22	27,1 kW	2017
CA	CA04	Caldera de agua caliente	CABEL	CLIMA TRONIC 30 A	1462-20453	BENTONE BF1 KA 76-22	27,1 kW	2017
CA	CA05	Caldera de agua caliente	CABEL	CLIMA TRONIC 30 A	1462-20476	BENTONE BF1 KA 76-22	27,1 kW	2018
CA	CA06	Caldera de agua caliente	CABEL	CLIMA TRONIC 30 A	1462-20499	BENTONE BF1 FU 63-16	27,1 kW	2019

Tabla 14. Lista de equipos - calderas

Tipo	Nº de equipo	Descripción	Marca	Modelo	Nº de Serie	Potencia nominal	Año de fabricación
CO	CO01	Compresor de aire	ABAC	POLE POSITION 220	708344	1,1 kW	1998
CO	CO02	Compresor de aire	ABAC	AF20E50	061890	1,5 kW	2010
CO	CO03	Compresor de aire	ATLAS COPCO	AF20E24	066162	1,5 kW	2010
CO	CO04	Compresor de aire	ABAC	POLE POSITION L20	328962	1,5 kW	2012
CO	CO05	Compresor de aire	ABAC	POLE POSITION L20	331242	1,5 kW	2012

Tabla 15. Lista de equipos - compresores

Utilizando la tabla 13, se complementa la codificación añadiendo los dos siguientes caracteres numéricos. En las tablas 14 y 15 se muestran la lista de los equipos a detalle; en donde, de acuerdo a la codificación alfanumérica se asignan números empezando por el equipo que más años tiene desde su fabricación. A medida que se vaya adquiriendo y reemplazando equipos se debe continuar la codificación en forma ascendente, manteniendo la estructura planteada.

4.3. ESTRATEGIAS DE MANTENIMIENTO

Cada instalación, dependiendo de la actividad de producción o servicio que realicen, requieren de diferentes estrategias de mantenimiento; es decir, que la decisión de la estrategia a adoptar dependerá de los objetivos y políticas que se pretenda cumplir.

Hoy en día existe una amplia clasificación de los tipos de estrategias de mantenimiento, pero se tomarán en cuenta las necesarias para cumplir nuestro modelo.

El modelo de mantenimiento debe acogerse a las necesidades de nuestros equipos en concreto; es por esto que se pretende emplear un modelo sistemático que es de gran aplicación en equipos de disponibilidad media y alta, con cierta importancia y cuyas averías causan algunos inconvenientes.

El modelo de mantenimiento sistemático comprende los siguientes puntos:

- Inspecciones visuales – lubricación.
- Mantenimiento preventivo sistemático.
- Mantenimiento preventivo predictivo (condicional).
- Mantenimiento correctivo (reparación de averías).

En los apartados siguientes se comentan las estrategias consideradas en base a los puntos del modelo que se pretende emplear.

4.3.1. Mantenimiento correctivo

De los dos niveles de aplicación que se consideran en el mantenimiento correctivo se plantea utilizar el nivel en el cual el mantenimiento correctivo se emplea como complemento del preventivo. Ya que pese a la ejecución del mantenimiento preventivo existirá una parte de fallos residuales y también aleatorios que requerirán de la aplicación de acciones correctivas.

Los puntos que conforman su estructura y los que se pretenden aplicar se pueden definir de la siguiente manera:

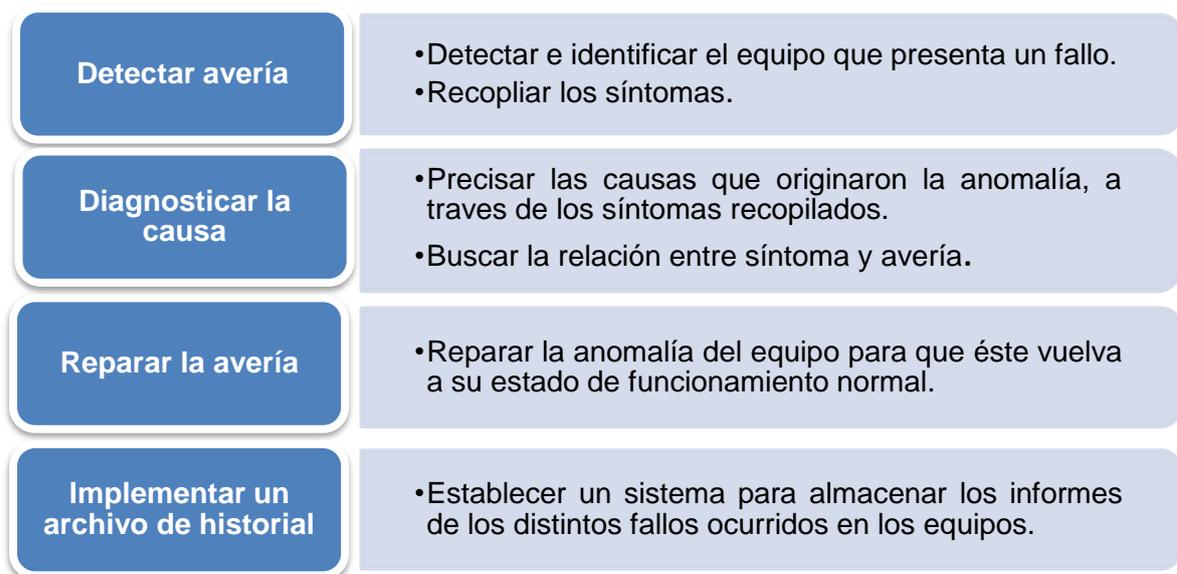


Figura 38. Estructura del mantenimiento correctivo

La implementación de un archivo de historial va de la mano con la elaboración de un sistema de gestión del mantenimiento, que puede ser manual o con el apoyo informático como el que se realizará en este proyecto. Esto se explicará con mayor detalle más adelante.

Generalmente cuando los equipos se encuentran funcionando durante las prácticas y se presentan inconvenientes, son informados por parte del profesor al encargado de mantenimiento para que puedan ser solucionados de forma inmediata y se pueda continuar con la práctica, o para programar la reparación al finalizar la jornada y queden operativos para la siguiente.

En esta estrategia de mantenimiento se deberá abrir una orden de trabajo para registrar: el equipo en el que se ha detectado el fallo, el aviso de anomalía, fecha y hora. Luego el personal encargado de realizar el mantenimiento debe efectuar el diagnóstico del fallo que presenta el equipo y resolverlo para que vuelva a su estado de funcionamiento normal.

Por último, se deberá cumplimentar la orden de trabajo con todos los datos requeridos en la misma, como lo son; tiempo empleado, repuestos, materiales y las actividades realizadas con la finalidad de alimentar un archivo de historial de los equipos.

A continuación, se muestra el diagrama de flujo correspondiente al mantenimiento correctivo:



Figura 39. Flujo del mantenimiento correctivo

4.3.2. Mantenimiento preventivo

Para realizar el mantenimiento preventivo de los equipos se considera las dos maneras de ejecutarlo: tanto las intervenciones en las que se realizan actividades en intervalos de tiempo fijos que requieren desmontar elementos para su limpieza, calibración, y/o reemplazo de piezas, lo que se considera como mantenimiento programado o sistemático;

así como también las inspecciones realizadas para comprobar el estado de los equipos, lo que se conoce como mantenimiento predictivo.

Los puntos que conforman su estructura y los que se pretende seguir se pueden definir de la siguiente manera:

Definir los equipos a mantener	<ul style="list-style-type: none"> • Identificar los equipos y componentes a mantener. • Definir cuales se incorporan al plan de mantenimiento.
Definir las operaciones de mantenimiento	<ul style="list-style-type: none"> • Precisar las operaciones a realizar a los equipos incorporados en el plan de mantenimiento.
Definir las frecuencias de mantenimiento	<ul style="list-style-type: none"> • Definir y asociar las operaciones de mantenimiento a una frecuencia determinada de tiempo en el que se efectuarán las operaciones.
Diseñar el plan de mantenimiento	<ul style="list-style-type: none"> • Agrupar las operaciones en función de las frecuencias (gamas). • Definir los recursos a utilizar en cada gama.
Definir el proceso de mantenimiento	<ul style="list-style-type: none"> • Definir la forma en que se llevará a cabo cada una de las intervenciones.
Disponer de los recursos	<ul style="list-style-type: none"> • Identificar los recursos necesarios para ejecutar las operaciones de mantenimiento .
Implantar un sistema de gestión de la información	<ul style="list-style-type: none"> • Establecer un sistema para gestionar la información referente al mantenimiento de los equipos.
Establecer un sistema de consulta	<ul style="list-style-type: none"> • Establecer un sistema manejable para realizar consultas. • Obtener indicadores de la gestión.

Figura 40. Estructura del mantenimiento preventivo

Una vez realizado la identificación de los equipos a mantener que serán incorporados en el plan de mantenimiento, se definirán en los siguientes apartados las operaciones e inspecciones correspondientes al mantenimiento sistemático y predictivo respectivamente.

El mantenimiento se ejecutará de acuerdo a la frecuencia que se establezca en la planificación. Una vez que se haya cumplido el período establecido se abrirá una orden de mantenimiento preventivo con las operaciones correspondientes y además se emitirá una hoja de inspección (check list) de acuerdo a la gama que se ejecute.

Con respecto al cierre de la orden, una vez que se haya culminado el trabajo, se realizará de igual forma como se indicó en la parte del mantenimiento correctivo.

A continuación, se muestra el diagrama de flujo correspondiente al mantenimiento preventivo:

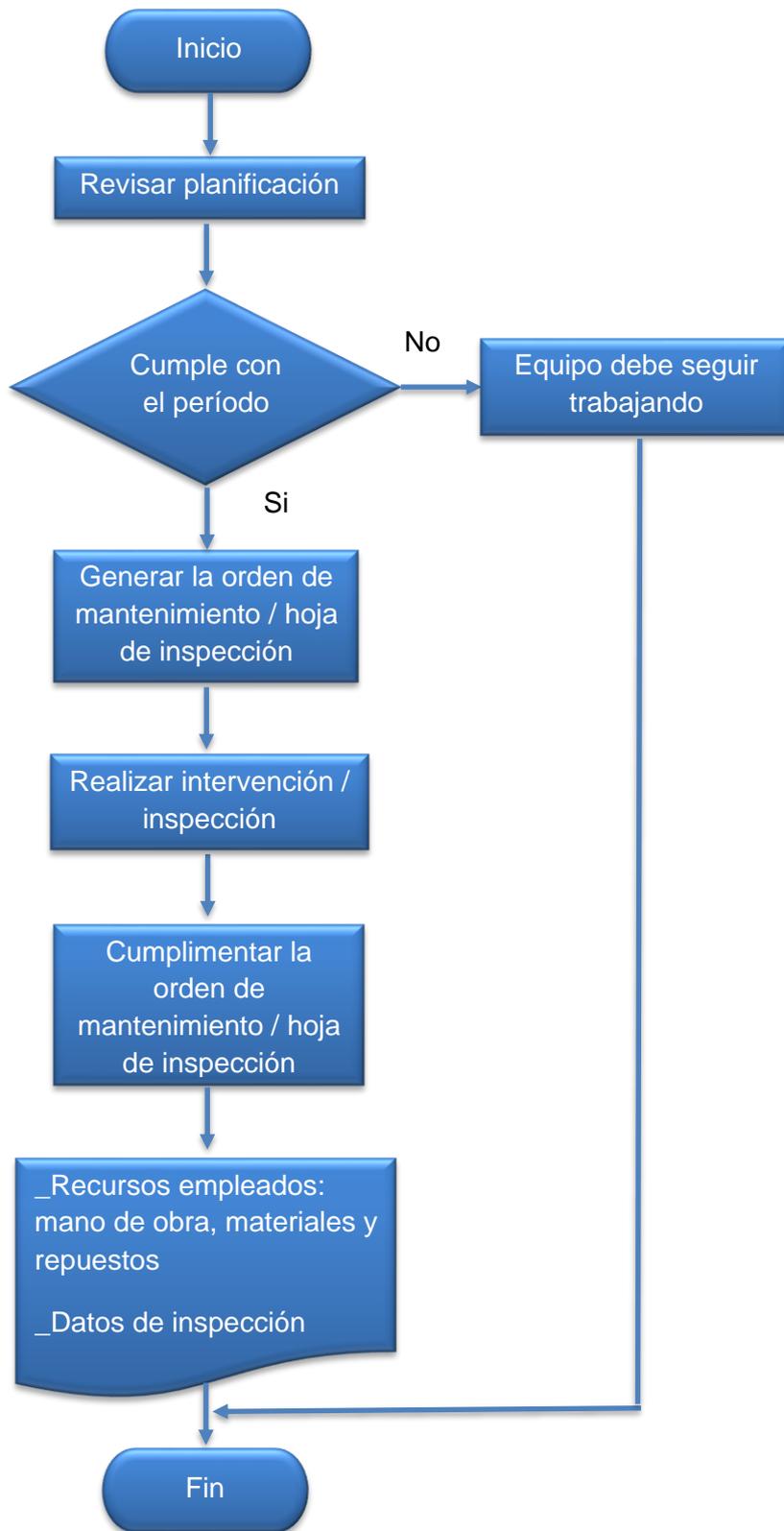


Figura 41. Flujo del mantenimiento preventivo

4.3.3. Mantenimiento modificativo

Este tipo de mantenimiento también se lleva a cabo y por ende se incluye como parte del sistema de mantenimiento. Ya que a los equipos antes de entrar en funcionamiento se realizan una serie de modificaciones y adecuaciones particulares propias de los laboratorios donde se los utiliza.

Las adecuaciones que se realizan se indicaron en el apartado del capítulo 3; en donde se hace referencia a los materiales, instrumentación y mano de obra empleada. En este punto no se considera la apertura de una orden de trabajo, sino que más bien se realiza el registro de todos los costes incurridos que será considerado como el coste de adquisición del equipo.

4.4. DIAGNÓSTICO DE AVERÍAS

En lo que respecta al mantenimiento correctivo, el tiempo que se usa para volver a un equipo a su estado de normal funcionamiento después de que se presenta una avería se distribuye en varias partes. Una de ellas es el tiempo que se consume en diagnosticar la avería y en algunas ocasiones puede ser significativo. Es por esto que resulta de gran ayuda recopilar la experiencia acumulada en las intervenciones correctivas con el uso de tablas que sirvan de apoyo para identificar rápidamente el fallo y dar solución en el menor tiempo posible. Para que de esta forma cualquier técnico de mantenimiento tenga a su alcance información que le aporte en la solución de anomalías.

4.4.1. Diagnóstico de averías de calderas

Para facilitar el diagnóstico de las averías de calderas se realiza una tabla en donde se consideran ciertas anomalías presentadas con frecuencia y que se conocen su causa, así como también la intervención correctiva a ejecutarse. Esta tabla debe ser alimentada de información a medida que se vayan presentando los problemas y dando solución, para ello se plantea el siguiente formato.

Diagnóstico de averías Calderas		
Anomalía	Causa	Intervención
El quemador no arranca	Termostato sin solicitud de calor	Comprobar funcionamiento Sustituir el termostato
	Control del quemador defectuoso	Comprobar funcionamiento Sustituir el control del quemador
	Conexiones de alimentación con interrupciones	Revisar conexiones de alimentación del quemador
	Precalentador defectuoso	Reemplazar precalentador

Diagnóstico de averías Calderas		
Anomalía	Causa	Intervención
El quemador se enciende al activarlo y se apaga en instantes	Llama parásita durante el tiempo de pre-encendido	Comprobar la chispa de encendido. Ajustar electrodo de ignición
	Falta de gasóleo para la combustión	Verificar líneas de alimentación de combustible Comprobar que la bomba se activa.
	Filtro de gasóleo obstruido	Comprobar y limpiar si es posible. Sustituir el filtro de gasóleo
	Tiro demasiado fuerte que evita la formación de la llama	Corregir el tiro de la caldera
Quemador bloqueado	Fallo de encendido del quemador	Retirar la puerta frontal de la caldera y pulsar el botón rojo de membrana en el quemador
	Sobret temperatura del termostato de seguridad mecánico	Retirar el tapón roscado y pulsar el botón interior
Llama inestable	Electrodo de ignición en cortocircuito	Ajustar o sustituir el electrodo de ignición
	Cable de ignición deteriorado	Sustituir el cable de ignición.
	Boquilla de inyección obstruida	Sustituir boquilla de inyección
	Fotorresistencia sucia	Limpiar fotorresistencia o sustituirla
Ruidos extraños (rozamiento)	Aspas de ventilador deterioradas	Cambiar ventilador
	Bomba de agua con avería	Comprobar el funcionamiento Sustituir la bomba de agua
Motor de ventilación no gira	Conector del motor mal insertado	Revisar conexiones de alimentación del motor.
	Problema interno del motor de ventilación	Reemplazar motor de ventilación
Advertencia de presión hidráulica	Presión baja en el circuito de calefacción	Comprobar la presión del vaso de expansión Revisar si existe fugas en la caldera
	Presión alta en el circuito de calefacción	Verificar que no exista obstrucciones en la salida Revisar funcionamiento de la válvula de seguridad
Monitor de temperaturas no muestra valores	Cable de termopar en mal estado	Verificar conexiones Sustituir cable de termopar
	Termopar en mal estado	Reemplazar termopar

Tabla 16. Diagnóstico de averías de calderas

4.4.2. Diagnóstico de averías de compresores de aire

Siguiendo la estructura presentada anteriormente se realiza una tabla de apoyo para el diagnóstico de los compresores de aire, que de igual manera debe ser complementada a medida que se vayan presentando los casos de avería.

Diagnóstico de averías Compresores de aire		
Anomalía	Causa	Intervención
Perdida de aire por el presostato	Válvula antirretorno sucia o desgastada, no cumple correctamente su función	Desmontar la cabeza hexagonal de la válvula antirretorno y limpiar el asiento Sustituir si presenta desgaste
	Demanda del sistema excediendo la capacidad del compresor	Colocar el compresor en reposo por unos minutos hasta que disminuya la temperatura
Sobrecalentamiento del bloque del compresor	Filtro de aire obstruido	Sustituir elemento filtrante
	Suciedad en la placa de válvulas	Desmontar la culata y limpiar la placa de válvulas
	Reducción de alimentación eléctrica	Comprobar tensión de alimentación
Sobrecalentamiento del motor eléctrico	Suciedad en devanados del motor	Limpiar devanados del motor
	Aspas del ventilador rotas	Cambiar ventilador
	Elevada resistencia en devanados del motor	Comprobar resistencia y reemplazar devanados
	Caída de tensión de la red eléctrica	Verificar la instalación eléctrica
Motor eléctrico no arranca	Botón de arranque averiado	Sustituir el botón de arranque
	Activación de la protección térmica por recalentamiento	Colocar el compresor en reposo por unos minutos
	Depósito lleno de aire	Consumir aire, el motor eléctrico arrancará cuando la presión disminuya hasta 4 bar (60 psi)
Ruidos anormales	Elementos de fijación sueltos	Reapretar tornillos de fijación.
	Aspas de ventilador rotas	Cambiar ventilador
	Desgaste de los componentes internos del cabezal	Desmontar y reparar cabezal
	Cable o conexión de termorresistencia en mal estado	Verificar conexiones Sustituir cable de termorresistencia
Monitor no muestra el valor de temperatura	Termorresistencia en mal estado	Reemplazar termorresistencia

Tabla 17. Diagnóstico de averías de compresores de aire

4.5. PLANIFICACIÓN DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO

Una vez que ya se ha elaborado la lista de los equipos debidamente codificados y planteado el modelo de mantenimiento a seguir, se debe definir el plan de mantenimiento preventivo. Para esto se debe realizar la selección del tiempo de actuación y la creación de rutinas o gamas de mantenimiento para la correspondiente programación. Es preciso señalar que el plan de mantenimiento es un documento dinámico, que sufre continuas modificaciones dependiendo del análisis de las incidencias que se van presentando

durante su aplicación. El plan de mantenimiento debe ser realizable, es por esto que no se elabora una lista extensa de operaciones que muchas veces no están agrupadas de forma práctica; sino más bien, se pretende que sea útil y se lleve a cabo dando resultados.

Como se indicó anteriormente, dentro del mantenimiento preventivo se tomará en consideración que; para las intervenciones se definirá el plan de mantenimiento preventivo sistemático y para las inspecciones se definirá el plan de mantenimiento predictivo. Para establecer las operaciones se toma en cuenta las recomendaciones proporcionadas por el fabricante del equipo y se complementan con otras que resultan de la experiencia, ya que el fabricante considera únicamente recomendaciones básicas referidas al equipo comercial.

Se realiza una agrupación de las operaciones en gamas con la finalidad de que las intervenciones por mantenimiento no generen mayores interrupciones. En la siguiente tabla se muestran las gamas que se usaran en los planes de mantenimiento.

Gama	Período
A	Cada día (diaria)
B	Cada 6 meses (semestral)
C	Cada año (anual)
D	Cada dos años (bienal)
E	Cada cuatro años (cuatrienal)

Tabla 18. Gamas de mantenimiento

En la gama A de período diario se hace referencia a los días en que se realizan las prácticas, mas no los días calendario. Es decir, que será dependiente del tipo de equipo. Los períodos que se plantean en el resto de gamas son prolongados tomando en cuenta que los equipos no funcionan de forma continua a lo largo de los días.

Para mostrar los planes de mantenimiento preventivo sistemático se realizan tablas en las que se detallan las operaciones de mantenimiento de los diferentes sistemas; indicando la gama a la que pertenecen, dándoles un código a cada una de ellas, detallando los recursos necesarios (repuesto, operario, tiempo asignado) para la ejecución y mostrando su coste aproximado. Así como también se realiza la codificación del procedimiento planteado para ejecutar la operación referenciada.

Para mostrar los planes de mantenimiento preventivo predictivo se realizan tablas en las que se detallan los síntomas a inspeccionar con sus respectivos límites cualitativos y en algunos casos cuantitativos; de igual forma indicando la gama asignándoles un código pertinente, detallando los recursos necesarios (operario, tiempo asignado) para la

ejecución lo que permite conocer el coste aproximado. Al igual que para el sistemático, aquí también se realiza la codificación del procedimiento planteado para realizar la inspección del síntoma referenciado. Para indicar los límites de los síntomas evaluados cuantitativamente se considera el criterio mostrado en la siguiente figura; en donde se indica cuando se considera un síntoma como “Bien”, “Regular” o “Mal” de acuerdo al valor que se toma, ya sea este el límite superior (S1-S2) o inferior (I1-I2).

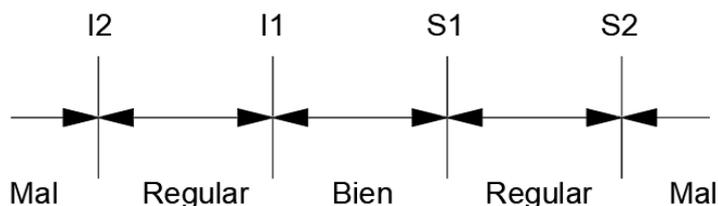


Figura 42. Límites de síntomas

4.5.1. Planes de mantenimiento preventivo de las calderas

En cuanto al mantenimiento preventivo sistemático que se debe realizar en las calderas, se pone mucho énfasis en las operaciones de limpieza debido a varios factores. Uno de ellos es que estos equipos realizan un proceso de combustión que además es manipulado, perjudicando la dosificación de aire-combustible lo que ocasiona acumulación de hollín; también al tener tiempos de inactividad en el circuito hidráulico se forman depósitos de cal e impurezas. Estas intervenciones además permitirán conocer el estado de los elementos internos y se podrán detectar posibles averías ocultas e identificar la presencia de desgastes prematuros.

En la tabla 19 se presenta el plan de mantenimiento preventivo sistemático en donde se detallan las operaciones a realizarse en las diferentes gamas; se debe señalar que, pese a que las calderas llevan diferentes modelos de quemador, los repuestos a sustituir que se indican en la tabla son comunes para todos los modelos.

En el mantenimiento preventivo predictivo que se llevará a cabo, en casi la totalidad de inspecciones del estado de los componentes, se da importancia al criterio de la experiencia del técnico que las realiza. Estas inspecciones se plantean para realizar antes de arrancar el equipo y también funcionando, pero sin la necesidad de intervenir sobre algún elemento; es decir, no se realiza desmontaje de ningún componente.

En la tabla 20 se muestra el plan de mantenimiento preventivo predictivo en donde se detallan las inspecciones a realizarse en las distintas gamas; cabe señalar en cuanto a las inspecciones que se refieren a la presencia de fugas, el criterio “Bien” del límite se debe aplicar cuando no existen fugas en el elemento que se está verificando.

SISTEMA	OPERACIÓN	CÓDIGO	GAMA	REPUESTO/ MATERIAL	Nº DE OPERARIOS	TIEMPO ASIGNADO (h)	COSTE REPUESTO / MATERIAL (€)	COSTE M.O. (€/h)	COSTE TOTAL (€)	PROCEDIMIENTO DE LA OPERACIÓN
Admisión de aire	Cambiar mangueras plásticas	SCA01	E	Manguera plástica de aire (3 metros)	1/Técnico	0,10	1,50	3,00	4,50	PRSCA01
Admisión de aire	Limpiar la entrada de aire al quemador	SCA02	B	Paño de limpieza	1/Técnico	0,08	0,95	2,40	3,35	PRSCA02
Generación de calor	Limpiar cuerpo externo de la caldera	SCA03	B	Paño de limpieza	1/Técnico	0,08	0,95	2,40	3,35	PRSCA03
Generación de calor	Limpiar la cámara de combustión de la caldera	SCA04	E	• Paño de limpieza • Limpiador de hollín (1 litro)	1/Técnico	3,00	6,20	90,00	96,20	PRSCA04
Generación de calor	Limpiar fotorresistencia del quemador	SCA05	D	Paño de limpieza	1/Técnico	0,10	0,95	3,00	3,95	PRSCA05
Generación de calor	Limpiar plato de freno	SCA06	D	Paño de limpieza	1/Técnico	0,10	0,95	3,00	3,95	PRSCA06
Generación de calor	Comprobar distancia entre boquilla y electrodos	SCA07	D	-	1/Técnico	0,10	-	3,00	3,00	PRSCA07
Generación de calor	Limpiar precalentador del quemador	SCA08	D	Paño de limpieza	1/Técnico	0,10	0,95	3,00	3,95	PRSCA08
Generación de calor	Cambiar boquilla de inyección	SCA09	E	Boquilla pulverización 0,65 W 60	1/Técnico	0,20	9,00	6,00	15,00	PRSCA09
Generación de calor	Cambiar electrodos de ignición	SCA10	E	Electrodo GR.EL.001 (2 piezas)	1/Técnico	0,20	14,00	6,00	20,00	PRSCA10

Continúa...

...Continuación

SISTEMA	OPERACIÓN	CÓDIGO	GAMA	REPUESTO/ MATERIAL	Nº DE OPERARIOS	TIEMPO ASIGNADO (h)	COSTE REPUESTO / MATERIAL (€)	COSTE M.O. (€/h)	COSTE TOTAL (€)	PROCEDIMIENTO DE LA OPERACIÓN
Generación de calor	Cambiar filtro secundario de gasóleo	SCA11	E	Filtro 991533 Suntec	1/Técnico	0,20	18,00	6,00	24,00	PRSCA11
Generación de calor	Limpiar ventilador del quemador	SCA12	E	Paño de limpieza	1/Técnico	0,20	0,95	6,00	6,95	PRSCA12
Generación de calor	Limpiar tubo de explosión del quemador	SCA13	D	• Paño de limpieza • Limpiador de hollín (1/2 litro)	1/Técnico	0,50	4,05	15,00	19,05	PRSCA13
Gases de escape	Limpiar boca de salida de humos	SCA14	D	• Paño de limpieza • Limpiador de hollín (1/2 litro)	1/Técnico	0,50	4,05	15,00	19,05	PRSCA14
Gases de escape	Limpiar termopar	SCA15	B	Paño de limpieza	1/Técnico	0,04	0,47	1,20	1,67	PRSCA15
Combustible	Limpiar filtro primario de gasóleo	SCA16	C	Paño de limpieza	1/Técnico	0,06	0,47	1,80	2,27	PRSCA16
Combustible	Cambiar elemento filtrante del filtro primario de gasóleo	SCA17	D	Cartucho de filtro de gasoil 3/8 20151/C1 40KG FAG	1/Técnico	0,06	5,95	1,80	7,75	PRSCA17
Combustible	Cambiar cinta teflón en acoplamientos de mangueras	SCA18	D	Cinta teflón	1/Técnico	0,10	0,47	3,00	3,47	PRSCA18
Agua fría	Limpiar termopar	SCA19	B	Paño de limpieza	1/Técnico	0,04	0,47	1,20	1,67	PRSCA19

Continúa...

...Continuación

SISTEMA	OPERACIÓN	CÓDIGO	GAMA	REPUESTO/ MATERIAL	Nº DE OPERARIOS	TIEMPO ASIGNADO (h)	COSTE REPUESTO / MATERIAL (€)	COSTE M.O. (€/h)	COSTE TOTAL (€)	PROCEDIMIENTO DE LA OPERACIÓN
Agua fría	Cambiar cinta teflón en acoplamientos de mangueras	SCA20	D	Cinta teflón	1/Técnico	0,40	0,95	12,00	12,95	PRSCA20
Agua caliente	Limpiar termopar	SCA21	B	Paño de limpieza	1/Técnico	0,04	0,47	1,20	1,67	PRSCA21
Agua caliente	Cambiar cinta teflón en acoplamientos de mangueras	SCA22	D	Cinta teflón	1/Técnico	0,50	0,95	15,00	15,95	PRSCA22

Tabla 19. Plan de mantenimiento preventivo sistemático de las calderas

SISTEMA	SÍNTOMA	CÓDIGO	GAMA	EQUIPO DE MEDIDA	Nº DE OPERARIOS	TIEMPO INSPECCIÓN (h)	COSTE M.O. (€/h)	UNIDADES SÍNTOMA	LÍMITES SÍNTOMA	CRITERIO DE VALORACIÓN	PROCEDIMIENTO DE LA INSPECCIÓN
Control	Estado de los pulsadores del cuadro de mandos	PCA01	A	Vista/Tacto	1/Técnico	0,01	0,30	-	Bien Regular Mal	Experiencia	PRPCA01
Control	Estado de los pulsadores del monitor de temperaturas	PCA02	A	Vista/Tacto	1/Técnico	0,01	0,30	-	Bien Regular Mal	Experiencia	PRPCA02
Eléctrico	Tensión de alimentación eléctrica	PCA03	B	Multímetro	1/Técnico	0,04	1,20	Voltio	I1<230 I2<220	Fabricante	PRPCA03
Eléctrico	Estado del cable de alimentación general y conexiones	PCA04	A	Vista	1/Técnico	0,01	0,30	-	Bien Regular Mal	Experiencia	PRPCA04
Eléctrico	Estado del cable de alimentación del cuadro de mandos y conexiones	PCA05	B	Vista	1/Técnico	0,01	0,30	-	Bien Regular Mal	Experiencia	PRPCA05

Continúa...

...Continuación

SISTEMA	SÍNTOMA	CÓDIGO	GAMA	EQUIPO DE MEDIDA	Nº DE OPERARIOS	TIEMPO INSPECCIÓN (h)	COSTE M.O. (€/h)	UNIDADES SÍNTOMA	LÍMITES SÍNTOMA	CRITERIO DE VALORACIÓN	PROCEDIMIENTO DE LA INSPECCIÓN
Eléctrico	Estado del cable de alimentación del monitor de temperaturas y conexiones	PCA06	A	Vista	1/Técnico	0,01	0,30	-	Bien Regular Mal	Experiencia	PRPCA06
Eléctrico	Estado del cable de alimentación del quemador	PCA07	B	Vista	1/Técnico	0,01	0,30	-	Bien Regular Mal	Experiencia	PRPCA07
Eléctrico	Estado del cable alimentación de la bomba	PCA08	B	Vista	1/Técnico	0,01	0,30	-	Bien Regular Mal	Experiencia	PRPCA08
Eléctrico	Estado del cable de los termopares	PCA09	A	Vista	1/Técnico	0,01	0,30	-	Bien Regular Mal	Experiencia	PRPCA09
Admisión de aire	Estado de la columna de agua en U	PCA10	A	Vista	1/Técnico	0,01	0,30	-	Bien Regular Mal	Experiencia	PRPCA10
Admisión de aire	Estado de las mangueras plásticas y conexiones de aire	PCA11	A	Vista	1/Técnico	0,01	0,30	-	Bien Regular Mal	Experiencia	PRPCA11
Admisión de aire	Resistencia del termopar	PCA12	B	Multímetro	1/Técnico	0,04	1,20	Ohmio	S1>1,5 S2>3	Fabricante	PRPCA12
Combustible	Fugas con goteo de combustible en llave de paso y acoplamientos	PCA13	A	Vista	1/Técnico	0,01	0,30	-	Bien Regular Mal	Experiencia	PRPCA13
Combustible	Fugas con goteo de combustible en mangueras y filtro primario	PCA14	A	Vista	1/Técnico	0,01	0,30	-	Bien Regular Mal	Experiencia	PRPCA14
Combustible	Estado del depósito y medidor volumétrico de combustible	PCA15	A	Vista	1/Técnico	0,01	0,30	-	Bien Regular Mal	Experiencia	PRPCA15
Generación de calor	Fugas con goteo de combustible en la bomba del quemador	PCA16	A	Vista	1/Técnico	0,01	0,30	-	Bien Regular Mal	Experiencia	PRPCA16

Continúa...

...Continuación

SISTEMA	SÍNTOMA	CÓDIGO	GAMA	EQUIPO DE MEDIDA	Nº DE OPERARIOS	TIEMPO INSPECCIÓN (h)	COSTE M.O. (€/h)	UNIDADES SÍNTOMA	LÍMITES SÍNTOMA	CRITERIO DE VALORACIÓN	PROCEDIMIENTO DE LA INSPECCIÓN
Generación de calor	Fugas de gases quemados en acoplamiento entre cuerpo de caldera y quemador	PCA17	C	Vista	1/Técnico	0,02	0,60	-	Bien Regular Mal	Experiencia	PRPCA17
Generación de calor	Fugas con goteo de agua en cuerpo de caldera	PCA18	C	Vista	1/Técnico	0,02	0,60	-	Bien Regular Mal	Experiencia	PRPCA18
Generación de calor	Ruido durante el funcionamiento del quemador	PCA19	B	Oído	1/Técnico	0,02	0,60	-	Bien Regular Mal	Experiencia	PRPCA19
Agua fría	Estado de mangueras, llave de paso y acoplamientos	PCA20	A	Vista	1/Técnico	0,01	0,30	-	Bien Regular Mal	Experiencia	PRPCA20
Agua fría	Fugas con goteo de agua en acoplamientos	PCA21	A	Vista	1/Técnico	0,01	0,30	-	Bien Regular Mal	Experiencia	PRPCA21
Agua fría	Estado del rotámetro	PCA22	B	Vista	1/Técnico	0,01	0,30	-	Bien Regular Mal	Experiencia	PRPCA22
Agua fría	Resistencia del termopar	PCA23	B	Multímetro	1/Técnico	0,04	1,20	Ohmio	S1>1,5 S2>3	Fabricante	PRPCA23
Agua caliente	Estado de mangueras y acoplamientos	PCA24	A	Vista	1/Técnico	0,01	0,30	-	Bien Regular Mal	Experiencia	PRPCA24
Agua caliente	Estado del vaso de expansión	PCA25	B	Vista	1/Técnico	0,01	0,30	-	Bien Regular Mal	Experiencia	PRPCA25
Agua caliente	Ruido en las bombas de agua	PCA26	B	Oído	1/Técnico	0,02	0,60	-	Bien Regular Mal	Experiencia	PRPCA26

Continúa...

...Continuación

SISTEMA	SÍNTOMA	CÓDIGO	GAMA	EQUIPO DE MEDIDA	Nº DE OPERARIOS	TIEMPO INSPECCIÓN (h)	COSTE M.O. (€/h)	UNIDADES SÍNTOMA	LÍMITES SÍNTOMA	CRITERIO DE VALORACIÓN	PROCEDIMIENTO DE LA INSPECCIÓN
Agua caliente	Resistencia del termopar	PCA27	B	Multímetro	1/Técnico	0,04	1,20	Ohmio	S1>1,5 S2>3	Fabricante	PRPCA27
Agua caliente	Fugas con goteo de agua en los acoplamientos	PCA28	A	Vista	1/Técnico	0,01	0,30	-	Bien Regular Mal	Experiencia	PRPCA28
Agua caliente	Fugas con goteo de agua en el intercambiador horizontal	PCA29	B	Vista	1/Técnico	0,01	0,30	-	Bien Regular Mal	Experiencia	PRPCA29
Gases de escape	Corrosión en la boca de salida de humos	PCA30	C	Vista	1/Técnico	0,01	0,30	-	Bien Regular Mal	Experiencia	PRPCA30
Gases de escape	Resistencia del termopar	PCA31	B	Multímetro	1/Técnico	0,04	1,20	Ohmio	S1>1,5 S2>3	Fabricante	PRPCA31
Gases de escape	Fugas de gases de escape por la chimenea	PCA32	B	Vista	1/Técnico	0,01	0,30	-	Bien Regular Mal	Experiencia	PRPCA32

Tabla 20. Plan de mantenimiento preventivo predictivo de las calderas

Para la estimación del coste de mano de obra se utiliza como referencia, al igual que en el aparatado de adaptación de los equipos, el valor de 30 €/h; tanto para el plan de mantenimiento preventivo sistemático como para el predictivo.

Al contar con los costes en las operaciones e inspecciones en los planes de mantenimiento nos permite realizar un análisis para conocer el coste detallado que tendrá cada gama.

En la siguiente tabla se agrupan todas las operaciones codificadas de cada gama con el respectivo coste, tanto de la mano de obra como también de los repuestos y materiales; correspondientes al mantenimiento preventivo sistemático.

GAMA	OPERACIONES	COSTE M.O. OPERACIONES (€)	COSTE REPUESTO / MATERIAL OPERACIONES (€)	COSTE M.O. GAMA (€)	COSTE REPUESTO / MATERIAL GAMA (€)	COSTE TOTAL GAMA (€)
B	SCA02	2,40	0,95	8,40	3,31	11,71
	SCA03	2,40	0,95			
	SCA15	1,20	0,47			
	SCA19	1,20	0,47			
	SCA21	1,20	0,47			
C	SCA16	1,80	0,47	1,80	0,47	2,27
	SCA05	3,00	0,95	73,80	19,27	93,07
D	SCA06	3,00	0,95			
	SCA07	3,00	-			
	SCA08	3,00	0,95			
	SCA13	15,00	4,05			
	SCA14	15,00	4,05			
	SCA17	1,80	5,95			
	SCA18	3,00	0,47			
	SCA20	12,00	0,95			
	SCA22	15,00	0,95			
	E	SCA01	3,00	1,50	123,20	49,65
SCA04		96,20	6,20			
SCA09		6,00	9,00			
SCA10		6,00	14,00			
SCA11		6,00	18,00			
SCA12		6,00	0,95			

Tabla 21. Relación de gamas preventivo sistemático de las calderas

Con los valores de los costes totales de cada gama se realiza el gráfico de barras que se muestra en la figura 43; en donde se puede apreciar que la gama E, correspondiente a las intervenciones que se realizan cada 4 años, representa el mayor coste. Así como también, se aprecia que en cada gama el coste referente a la mano de obra es mayor por mucho al de los repuestos y materiales utilizados en las operaciones.

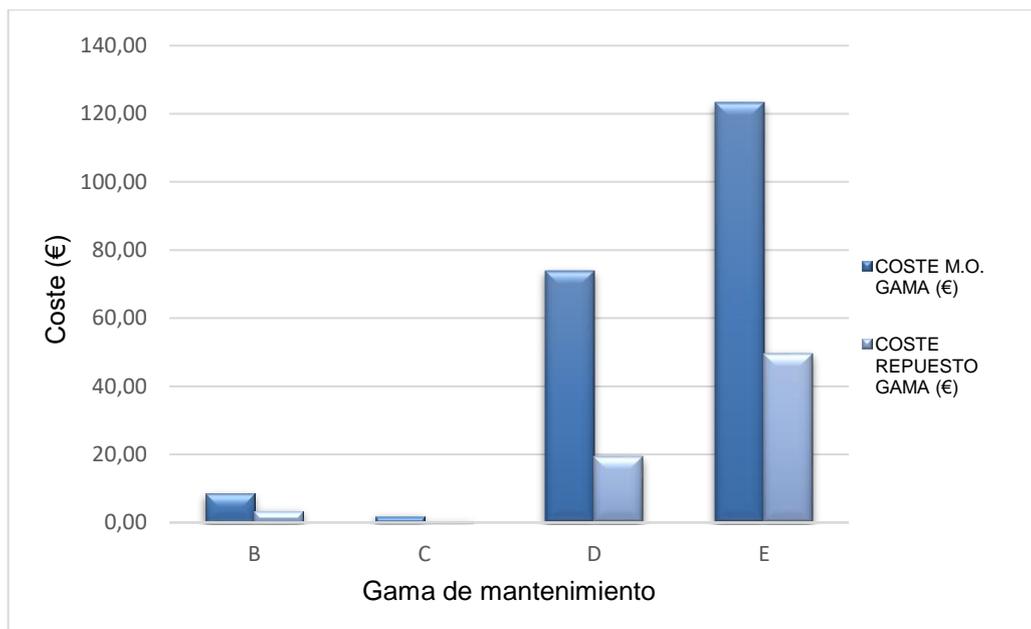


Figura 43. Costes de gamas de mantenimiento prev. sistemático de las calderas

En la siguiente tabla se agrupan todas las inspecciones codificadas en cada gama con el respectivo coste correspondiente al mantenimiento preventivo predictivo.

GAMA	INSPECCIONES	COSTE M.O. INSPECCIONES (€)	COSTE TOTAL GAMA (€)
A	PCA01	0,30	4,50
	PCA02	0,30	
	PCA04	0,30	
	PCA06	0,30	
	PCA09	0,30	
	PCA10	0,30	
	PCA11	0,30	
	PCA13	0,30	
	PCA14	0,30	
	PCA15	0,30	
	PCA16	0,30	
	PCA20	0,30	
	PCA21	0,30	
	PCA24	0,30	
	PCA28	0,30	
	B	PCA03	
PCA05		0,30	
PCA07		0,30	
PCA08		0,30	
PCA12		1,20	
PCA19		0,60	

GAMA	INSPECCIONES	COSTE M.O. INSPECCIONES (€)	COSTE TOTAL GAMA (€)
B	PCA22	0,30	9,30
	PCA23	1,20	
	PCA25	0,30	
	PCA26	0,60	
	PCA27	1,20	
	PCA29	0,30	
	PCA31	1,20	
	PCA32	0,30	
C	PCA17	0,60	1,50
	PCA18	0,60	
	PCA30	0,30	

Tabla 22. Relación de gamas preventivo predictivo de las calderas

Con los valores de los costes totales de cada gama se realiza la gráfica mostrada en la siguiente figura en donde se puede apreciar que la gama B que se ejecuta cada 6 meses representa el mayor coste, esto debido a que las inspecciones que se deben realizar requieren de más tiempo que las que se encuentran en la gama A y C.

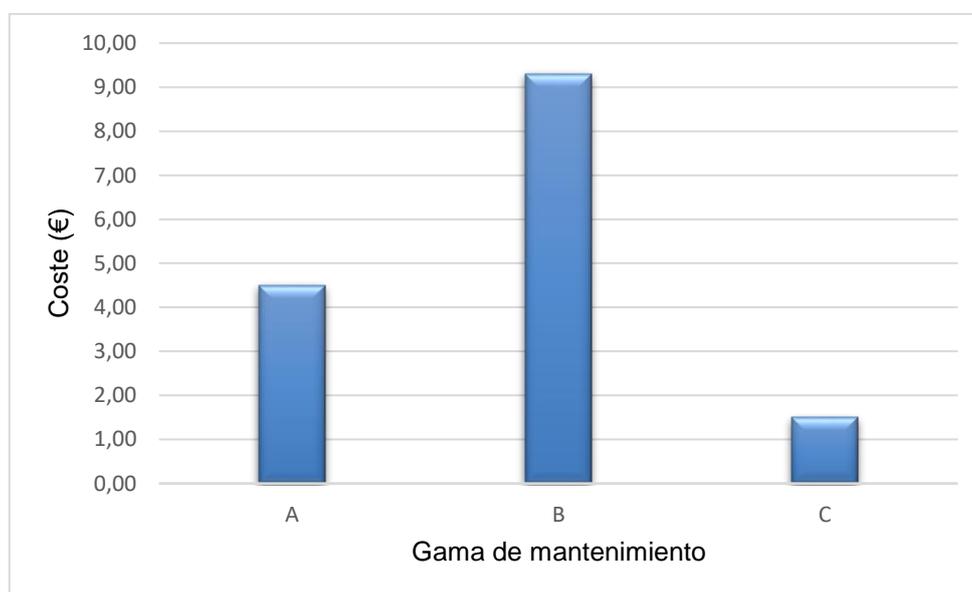


Figura 44. Costes de gamas de mantenimiento preventivo predictivo de las calderas

Una vez que se tienen los datos de los costes totales de cada gama; tanto del mantenimiento preventivo sistemático como del predictivo, se puede identificar en la figura 45 que los costes de las gamas del mantenimiento preventivo predictivo son menores en relación al sistemático; esto es debido al corto tiempo de mano de obra utilizado en las inspecciones que son en su mayoría de tipo visual.

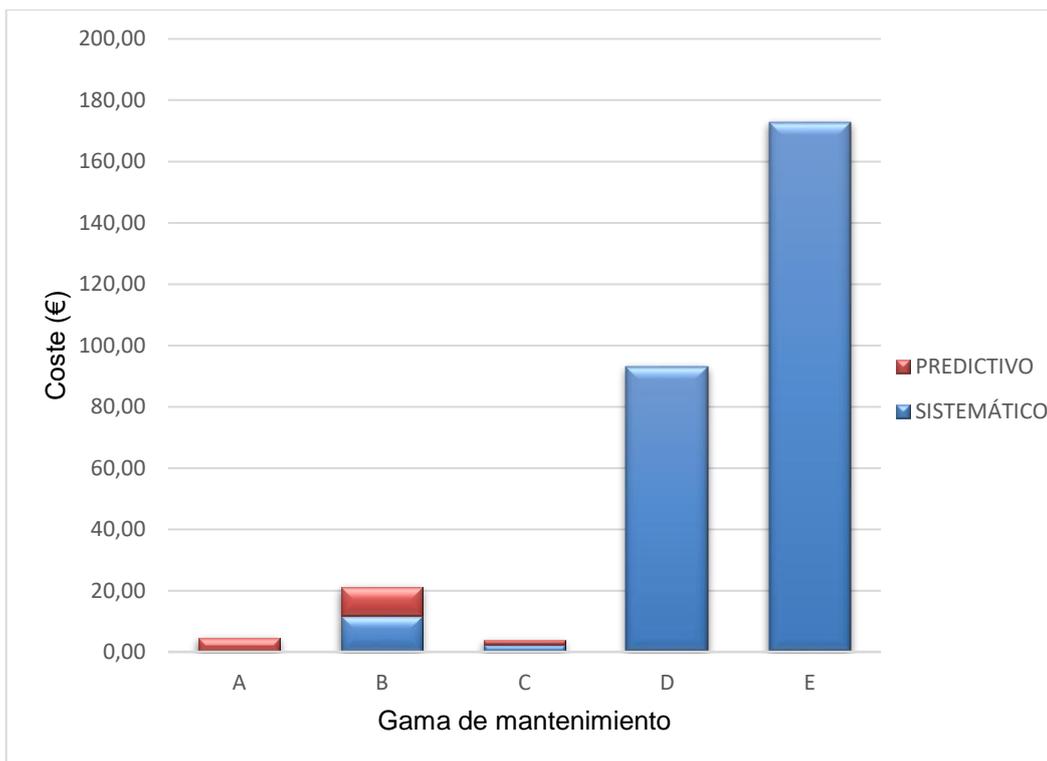


Figura 45. Costes de mantenimiento preventivo de las calderas

4.5.2. Planes de mantenimiento preventivo de los compresores

En lo que se refiere al mantenimiento preventivo sistemático de los compresores de aire, al igual que en el caso de las calderas, se pone énfasis en las operaciones de limpieza que ayuda a identificar anomalías ocultas que pueden ser corregidas preventivamente.

En la tabla 23 se presenta el plan de mantenimiento preventivo sistemático en donde se indican las operaciones a ejecutarse en las diferentes gamas; cabe señalar que, a pesar de contar con compresores fabricados en años diferentes, los repuestos que se plantean son comunes para todo el grupo.

En el mantenimiento preventivo predictivo se plantea, al igual que en los equipos anteriores, un plan en el que la mayoría de sus inspecciones son del tipo visual dando importancia al criterio por experiencia del técnico que las realiza. Son inspecciones en las que no existe la necesidad de realizar desmontajes, y unas cuantas en las que se aprovecha las intervenciones de limpieza para realizarlas.

En la tabla 24 se muestra el plan de mantenimiento predictivo, en donde las inspecciones que se refieren a la presencia de fugas, el criterio “Bien” del límite se debe aplicar cuando no existen fugas en el elemento que se está verificando.

SISTEMA	OPERACIÓN	CÓDIGO	GAMA	REPUESTO/ MATERIAL	Nº DE OPERARIOS	TIEMPO ASIGNADO (h)	COSTE REPUESTO / MATERIAL (€)	COSTE M.O. (€/h)	COSTE TOTAL (€)	PROCEDIMIENTO DE LA OPERACIÓN
Admisión de aire	Limpiar toma de aire	SCO01	C	Paño de limpieza	1/Técnico	0,05	0,47	1,50	1,97	PRSCO01
Admisión de aire	Cambiar filtro de aire	SCO02	D	Elemento filtrante de aire	1/Técnico	0,08	1,50	2,40	3,90	PRSCO02
Grupo compresor	Limpiar aspas del ventilador	SCO03	C	Paño de limpieza	1/Técnico	0,12	0,47	3,60	4,07	PRSCO03
Grupo compresor	Limpiar motor eléctrico	SCO04	C	Paño de limpieza	1/Técnico	0,10	0,47	3,00	3,47	PRSCO04
Grupo compresor	Cambiar aceite del cabezal	SCO05	D	Aceite SAE 40 - ISO VG 150 (1/2 litro)	1/Técnico	0,20	3,50	6,00	9,50	PRSCO05
Grupo compresor	Limpiar superficie externa de cabezal	SCO06	B	Paño de limpieza	1/Técnico	0,05	0,47	1,50	1,97	PRSCO06
Grupo compresor	Limpiar placa de válvulas del cabezal	SCO07	E	• Paño de limpieza • Aerosol cleaner	1/Técnico	3,00	8,50	90,00	3,00	PRSCO07
Depósito y salida de aire	Limpiar cilindro de volumen de remanso	SCO08	B	Paño de limpieza	1/Técnico	0,02	0,47	0,60	3,00	PRSCO08
Depósito y salida de aire	Cambiar mangueras plásticas	SCO09	E	Manguera plástica de aire (3 metros)	1/Técnico	0,10	0,50	3,00	3,50	PRSCO09

Tabla 23. Plan de mantenimiento preventivo sistemático de los compresores

SISTEMA	SÍNTOMA	CÓDIGO	GAMA	EQUIPO DE MEDIDA	Nº DE OPERARIOS	TIEMPO INSPECCIÓN (h)	COSTE M.O. (€/h)	UNIDADES SÍNTOMA	LÍMITES SÍNTOMA	CRITERIO DE VALORACIÓN	PROCEDIMIENTO DE LA INSPECCIÓN
Control	Estado del monitor de temperatura y corriente	PCO01	A	Vista/Tacto	1/Técnico	0,01	0,30	-	Bien Regular Mal	Experiencia	PRPCO01
Eléctrico	Tensión de alimentación eléctrica	PCO02	B	Multímetro	1/Técnico	0,04	1,20	Voltio	I1<230 I2<220	Fabricante	PRPCO02
Eléctrico	Estado del botón de arranque	PCO03	A	Vista/Tacto	1/Técnico	0,01	0,30	-	Bien Regular Mal	Experiencia	PRPCO03
Eléctrico	Estado del cable de alimentación del monitor de temperatura y corriente	PCO04	A	Vista	1/Técnico	0,01	0,30	-	Bien Regular Mal	Experiencia	PRPCO04
Eléctrico	Estado del cable de alimentación del compresor	PCO05	A	Vista	1/Técnico	0,01	0,30	-	Bien Regular Mal	Experiencia	PRPCO05
Eléctrico	Estado del cable de la termorresistencia	PCO06	A	Vista	1/Técnico	0,01	0,30	-	Bien Regular Mal	Experiencia	PRPCO06
Admisión de aire	Estado alojamiento del filtro de aire	PCO07	A	Vista	1/Técnico	0,01	0,30	-	Bien Regular Mal	Experiencia	PRPCO07
Grupo compresor	Resistencia de aislamiento a tierra de los devanados del motor eléctrico	PCO08	C	Megger	1/Técnico	0,2	6,00	Ohmio	I1<50 M I2<45 M	Fabricante	PRPCO08
Grupo compresor	Estado del ventilador	PCO09	C	Vista	1/Técnico	0,01	0,30	-	Bien Regular Mal	Experiencia	PRPCO09
Grupo compresor	Capacitancia del condensador	PCO10	C	Capacímetro	1/Técnico	0,02	0,60	Faradio	I1<23 µ I2<20 µ	Fabricante	PRPCO10
Grupo compresor	Fugas con goteo de aceite en la culata y cárter del cabezal	PCO11	A	Vista	1/Técnico	0,01	0,30	-	Bien Regular Mal	Experiencia	PRPCO11

Continúa...

...Continuación

SISTEMA	SÍNTOMA	CÓDIGO	GAMA	EQUIPO DE MEDIDA	Nº DE OPERARIOS	TIEMPO INSPECCIÓN (h)	COSTE M.O. (€/h)	UNIDADES SÍNTOMA	LÍMITES SÍNTOMA	CRITERIO DE VALORACIÓN	PROCEDIMIENTO DE LA INSPECCIÓN
Grupo compresor	Estado del deposito de cámara adicional	PCO12	A	Vista	1/Técnico	0,01	0,30	-	Bien Regular Mal	Experiencia	PRPCO12
Grupo compresor	Nivel de aceite	PCO13	B	Vista	1/Técnico	0,04	1,20	-	Bien Regular Mal	Fabricante	PRPCO13
Depósito y salida de aire	Estado del depósito	PCO14	A	Vista	1/Técnico	0,01	0,30	-	Bien Regular Mal	Experiencia	PRPCO14
Depósito y salida de aire	Estado de válvulas y llaves de paso	PCO15	A	Vista	1/Técnico	0,01	0,30	-	Bien Regular Mal	Experiencia	PRPCO15
Depósito y salida de aire	Estado de manómetros	PCO16	A	Vista	1/Técnico	0,01	0,30	-	Bien Regular Mal	Experiencia	PRPCO16
Depósito y salida de aire	Estado de la columna de agua en U	PCO17	A	Vista	1/Técnico	0,01	0,30	-	Bien Regular Mal	Experiencia	PRPCO17
Depósito y salida de aire	Estado de las mangueras plásticas y conexiones de aire	PCO18	A	Vista	1/Técnico	0,01	0,30	-	Bien Regular Mal	Experiencia	PRPCO18
Deposito y salida de aire	Estado de cilindro del volumen de remanso	PCO19	A	Vista	1/Técnico	0,01	0,30	-	Bien Regular Mal	Experiencia	PRPCO19
Depósito y salida de aire	Resistencia de termorresistencia a 20º	PCO20	B	Multímetro	1/Técnico	0,04	1,20	Ohmio	I1<106 I2<103 S1>111 S2>115	Fabricante	PRPCO20
Depósito y salida de aire	Estado de silentblock	PCO21	A	Vista	1/Técnico	0,01	0,30	-	Bien Regular Mal	Experiencia	PRPCO21

Tabla 24. Plan de mantenimiento preventivo predictivo de los compresores

Para la estimación del coste de mano de obra se utiliza como referencia, al igual que en los equipos anteriores, el valor de 30 €/h; tanto para el plan de mantenimiento preventivo sistemático como también con el predictivo.

En la siguiente tabla se realiza un análisis del coste del plan del mantenimiento preventivo sistemático en donde se agrupan todas las operaciones codificadas de cada gama con el respectivo coste, tanto de la mano de obra como también de los repuestos y materiales.

GAMA	OPERACIONES	COSTE M.O. OPERACIONES (€)	COSTE REPUESTO / MATERIAL OPERACIONES (€)	COSTE M.O. GAMA (€)	COSTE REPUESTO GAMA (€)	COSTE TOTAL GAMA (€)
B	SCO06	1,50	0,47	2,10	0,94	3,04
	SCO08	0,60	0,47			
C	SCO01	1,50	0,47	8,10	1,41	9,51
	SCO03	3,60	0,47			
	SCO04	3,00	0,47			
D	SCO02	2,40	1,50	8,40	5,00	13,40
	SCO05	6,00	3,50			
E	SCO07	90,00	8,50	93,00	9,00	102,00
	SCO09	3,00	0,50			

Tabla 25. Relación de gamas preventivo sistemático de los compresores

Con los costes totales de cada gama se puede apreciar en la siguiente figura que la gama E, que se realiza cada 4 años, es la que mayor coste representa. Siendo el coste de la mano de obra mucho mayor al de los repuestos y materiales a usar.

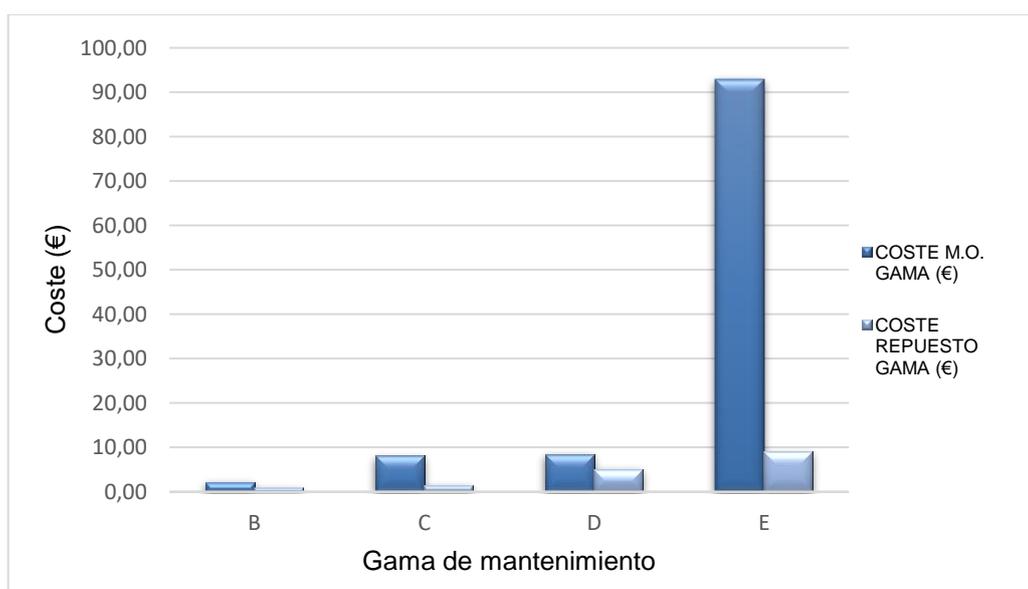


Figura 46. Costes de gamas de mantenimiento prev. sistemático de los compresores

En la siguiente tabla se agrupan todas las inspecciones codificadas en cada gama con el respectivo coste correspondiente al mantenimiento preventivo predictivo.

GAMA	INSPECCIONES	COSTE M.O. INSPECCIONES (€)	COSTE TOTAL GAMA (€)
A	PCO01	0,30	4,50
	PCO03	0,30	
	PCO04	0,30	
	PCO05	0,30	
	PCO06	0,30	
	PCO07	0,30	
	PCO11	0,30	
	PCO12	0,30	
	PCO14	0,30	
	PCO15	0,30	
	PCO16	0,30	
	PCO17	0,30	
	PCO18	0,30	
	PCO19	0,30	
PCO21	0,30		
B	PCO02	1,20	3,60
	PCO13	1,20	
	PCO20	1,20	
C	PCO08	6,00	6,90
	PCO09	0,30	
	PCO10	0,60	

Tabla 26. Relación de gamas preventivo predictivo de los compresores

En la figura 47 se muestra un gráfico de barras con los costes totales de cada gama en donde se puede apreciar que la gama C que se ejecuta cada año representa el mayor coste, esto debido a que las inspecciones que se deben realizar requieren de más tiempo que las que se encuentran en la gama A y B.

Una vez que se tienen los datos de los costes totales de cada gama; tanto del mantenimiento preventivo sistemático como del predictivo, se puede identificar en la figura 48 que los costes de las gamas del mantenimiento preventivo predictivo son menores en relación al sistemático; esto es debido al corto tiempo de mano de obra utilizado en las inspecciones que son en su mayoría de tipo visual.

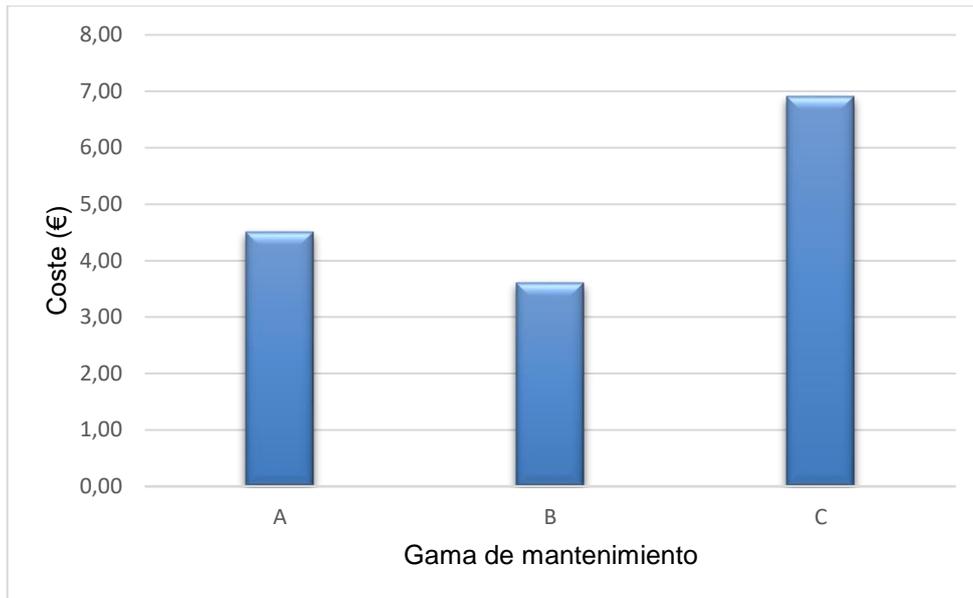


Figura 47. Costes de gamas de mantenimiento prev. predictivo de los compresores

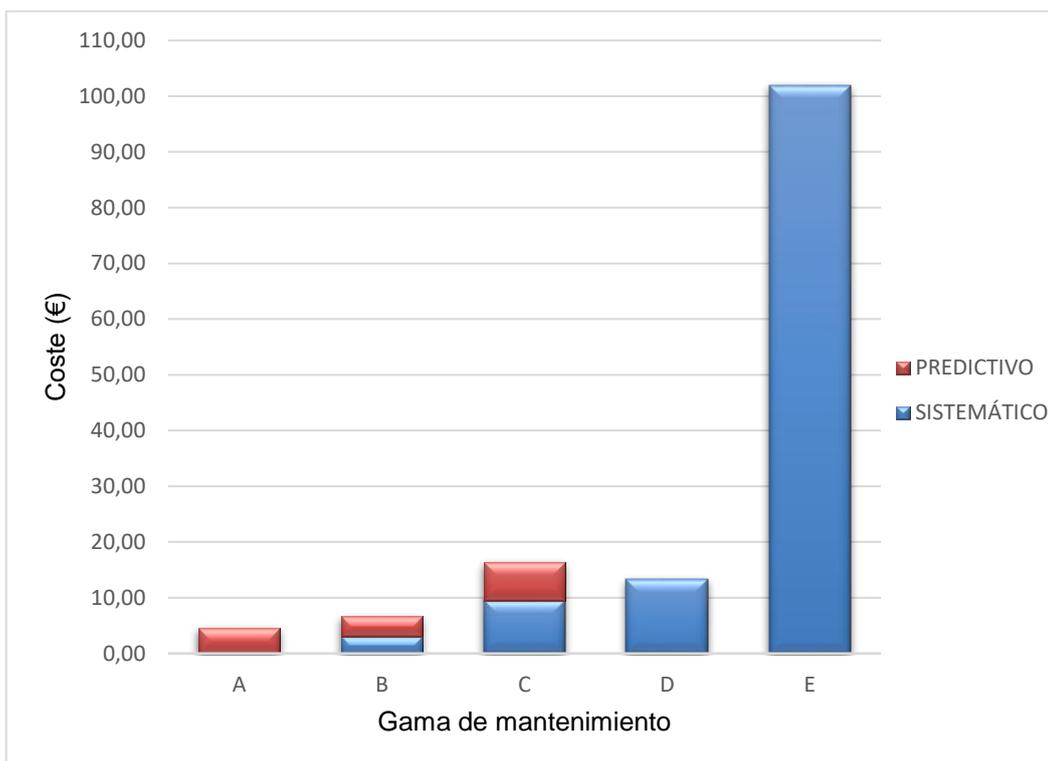


Figura 48. Costes de mantenimiento preventivo de compresores

4.5.3. Programación del mantenimiento preventivo de los equipos

Con los planes de mantenimiento de los equipos establecidos se puede realizar una programación de la ejecución del mantenimiento donde se muestren las rutinas de las gamas y los costes proyectados que se tendrán en cada año.

AÑO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
GAMAS S.	2B-C	2B-C-D	2B-C	2B-C-D-E	2B-C	2B-C-D	2B-C	2B-C-D-E	2B-C	2B-C-D
C. ANUAL S.	25,69	118,76	25,69	291,61	25,69	118,76	25,69	291,61	25,69	118,76
C. ACUM. S.	25,69	144,45	170,14	461,75	487,44	606,20	631,89	923,50	949,19	1067,95
GAMAS P.	35A-2B-C									
C. ANUAL P.	177,60	177,60	177,60	177,60	177,60	177,60	177,60	177,60	177,60	177,60
C. ACUM. P.	177,60	355,20	532,80	710,40	888,00	1065,60	1243,20	1420,80	1598,40	1776,00
C. ACUM. S&P	203,29	499,65	702,94	1172,15	1375,44	1671,80	1875,09	2344,30	2547,59	2843,95

Tabla 27. Programación del mantenimiento preventivo de la caldera

AÑO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
GAMAS S.	2B-C	2B-C-D	2B-C	2B-C-D-E	2B-C	2B-C-D	2B-C	2B-C-D-E	2B-C	2B-C-D
C. ANUAL S.	15,59	28,99	15,59	130,99	15,59	28,99	15,59	130,99	15,59	28,99
C. ACUM. S.	15,59	44,58	60,17	191,16	206,75	235,74	251,33	382,32	397,91	426,90
GAMAS P.	20A-2B-C									
C. ANUAL P.	104,10	104,10	104,10	104,10	104,10	104,10	104,10	104,10	104,10	104,10
C. ACUM. P.	104,10	208,20	312,30	416,40	520,50	624,60	728,70	832,80	936,90	1041,00
C. ACUM. S&P	119,69	252,78	372,47	607,56	727,25	860,34	980,03	1215,12	1334,81	1467,90

Tabla 28. Programación del mantenimiento preventivo del compresor

A continuación, se describe la rutina que se sigue en la programación del mantenimiento preventivo mostrada en las tablas anteriores:

- Diaria: Gama A (Solo en los días que se tenga prácticas).
- Semestral: Gama B
- Anual: Gama B-C
- Bienal: Gama B-C-D
- Cuatrienal: Gama B-C-D-E

En las tablas 27 y 28 se muestra la programación que se realiza a un período de 10 años para las caderas y compresores de aire respectivamente, tanto del mantenimiento preventivo sistemático como del predictivo. El número de prácticas realizadas con los equipos de generación de calor es de 35 mientras que las realizadas con los compresores de aire es de 20, es por esta razón que la diferencia en los costes de la ejecución de la gama A entre los dos equipos es considerable.

Las siguientes figuras representan las gráficas de los costes acumulados correspondientes al mantenimiento preventivo de los equipos, en las que se pueden apreciar que los costes acumulados del mantenimiento predictivo están por encima del sistemático. Esta superioridad se debe al mayor número de veces que se ejecuta la gama A correspondiente a las inspecciones que se realizan en los días de prácticas; lo que suma en el coste que corresponde a la mano de obra por el tiempo empleado.

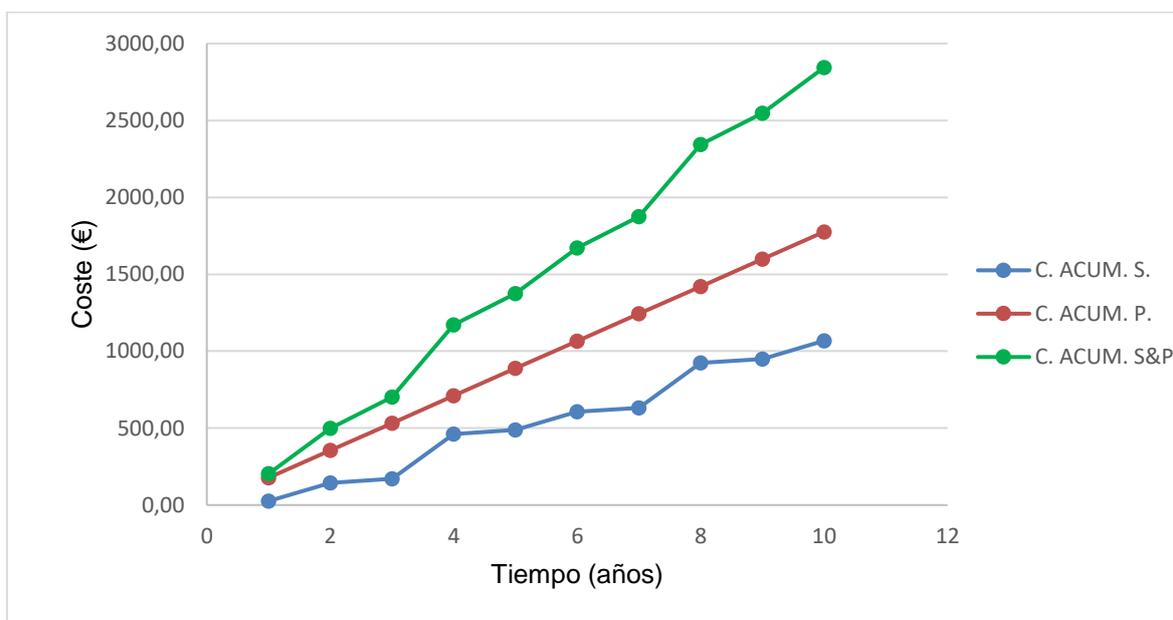


Figura 49. Costes de programación del mantenimiento preventivo de la caldera

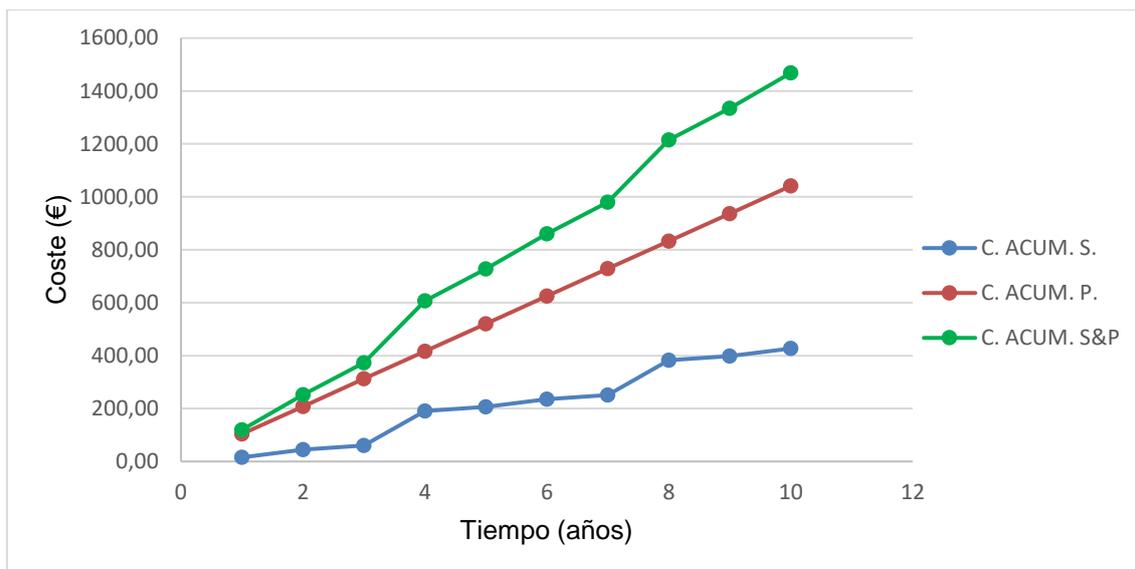


Figura 50. Costes de programación del mantenimiento preventivo del compresor

Se resalta también la presencia de unos picos en la curva que corresponde al mantenimiento preventivo sistemático, ya que cada 4 años se realiza la secuencia que contiene más gamas incluyendo la E, que es la intervención en la que se requiere mayor tiempo de mano de obra, materiales y repuestos; tanto para las calderas como para los compresores. Estos picos también influyen en la curva de los costes acumulados ya que la curva del coste de mantenimiento preventivo predictivo de los dos equipos corresponde a una recta; porque únicamente tiene hasta la gama C (anual), que es la escala que se está tomando para el análisis de la proyección de costes.

4.6. FORMATOS DE ÓRDENES DE TRABAJO Y HOJA DE INSPECCIÓN

Para el control de las actividades del mantenimiento; tanto de correctivo como preventivo, se realizan unos formatos para las órdenes de trabajo y para la hoja de inspección. Estos formatos permitirán el registro de una serie de datos que posteriormente serán guardados para el control de las actividades realizadas en cada uno de los equipos y para su análisis estadístico. Un conjunto de datos agrupados de manera apropiada conforma una información útil que permite tomar decisiones, por esta razón se plantean formatos de fácil uso y con los apartados necesarios para tomar los datos más relevantes y de interés de cada tipo de mantenimiento que se realice.

4.6.1. Orden de trabajo de mantenimiento correctivo

Para el mantenimiento correctivo, la orden de trabajo contiene zonas que se rellenan antes de imprimirla y zonas que se cumplimentan una vez que se haya culminado con el trabajo solicitado.

Antes de que se imprima la orden, esta deberá contener la siguiente información:

- **Número de orden:** sigue una secuencia ascendente e identifica a la orden para su posterior registro.
- **Fecha y hora de la solicitud:** para determinar posteriormente el tiempo de demora en la intervención y el tiempo del equipo fuera de servicio.
- **Nombre del solicitante:** la persona que identifica la anomalía y solicita el mantenimiento.
- **Equipo:** número y descripción del equipo al que se va a intervenir.
- **Sistema:** nombre y código del sistema sobre el cual se encuentra la anomalía, para determinar posteriormente cual es el que más daños acumula.
- **Trabajo solicitado:** descripción de la anomalía que se pretende dar solución.

Una vez realizado el trabajo y dado solución al problema se deberá rellenar la información de:

- **Trabajo realizado:** descripción de las intervenciones ejecutadas, que luego servirán de consulta para el diagnóstico de anomalías similares.
- **Materiales y repuestos:** detalle, unidad y cantidad de los materiales y/o repuestos utilizados.
- **Mano de obra:** número de operarios, especialidad, y cantidad de horas que se requirieron para realizar la intervención.
- **Causa del fallo:** seleccionar una opción de las causas comunes establecidas o añadir una si esta es diferente. Esta información servirá para ir alimentando la tabla de diagnóstico de averías.
- **Fecha y hora de inicio:** para determinar el tiempo de espera antes de dar atención a la orden.
- **Fecha y hora de culminación:** determinará el momento en que el equipo queda operativo.
- **Firma del encargado del Mantenimiento:** que avala el trabajo realizado.

En la figura 51 se muestra un ejemplo de una orden de mantenimiento correctivo para una caldera de agua caliente. Se aprecia la forma del impreso con los datos iniciales y los pendientes que deberán ser rellenados una vez que se haya culminado el trabajo.

ORDEN DE TRABAJO		Nº: <u>1</u>										
MANTENIMIENTO CORRECTIVO												
Nº de Equipo: CA02	Fecha: 24/10/2019	Hora: 9:45:00										
Descripción de equipo: Caldera de agua caliente	Solicitado por: Adolfo Guzmán											
Sistema: Generación de calor												
Código: CA.5.												
Trabajo solicitado:												
Revisar el quemador, la caldera no arranca												
Trabajo realizado:												
Repuestos y materiales												
Item	Descripción	Unidad	Cantidad									
1												
2												
3												
4												
5												
Mano de obra												
Item	Nº Operarios	Especialidad	Horas/Operario	Horas total								
1												
2												
				Horas								
Causa del fallo:												
Desgaste normal	<input type="checkbox"/>	Error de operación	<input type="checkbox"/>									
Desgaste prematuro	<input type="checkbox"/>	Error de mantenimiento	<input type="checkbox"/>									
Rotura	<input type="checkbox"/>	Otro	<input type="checkbox"/>									
Fatiga	<input type="checkbox"/>											
_____ Firma del encargado de Mantenimiento	<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 60%;"></td> <td style="width: 20%; text-align: center;">Fecha</td> <td style="width: 20%; text-align: center;">Hora</td> </tr> <tr> <td>Inicio del mantenimiento:</td> <td style="border: 1px solid black; width: 60px; height: 20px;"></td> <td style="border: 1px solid black; width: 60px; height: 20px;"></td> </tr> <tr> <td>Culminación del mantenimiento:</td> <td style="border: 1px solid black; width: 60px; height: 20px;"></td> <td style="border: 1px solid black; width: 60px; height: 20px;"></td> </tr> </table>				Fecha	Hora	Inicio del mantenimiento:			Culminación del mantenimiento:		
	Fecha	Hora										
Inicio del mantenimiento:												
Culminación del mantenimiento:												

SIVC-V1.0

Figura 51. Orden de trabajo de mantenimiento correctivo

4.6.2. Orden de trabajo de mantenimiento preventivo

Para el mantenimiento preventivo sistemático, la orden de trabajo contiene zonas que se rellenan antes de imprimirla y zonas que se cumplimentan una vez que se haya culminado con las operaciones programadas.

La información que se ingresa antes de imprimir la orden de trabajo es la siguiente:

- **Número de orden:** sigue una secuencia ascendente e identifica a la orden para su posterior registro.
- **Fecha y hora de la solicitud:** para determinar posteriormente el tiempo en que permanece la orden en tratamiento.
- **Equipo:** número y descripción del equipo al que se va a realizar el mantenimiento.
- **Rutina:** del mantenimiento que le corresponde con el período.
- **Intervenciones a realizar:** dependen de la rutina de mantenimiento a ejecutarse, aquí se detallan las operaciones con su respectivo código y el nombre del sistema al que corresponde.
- **Tiempo estimado:** que depende de la rutina programada.
- **Materiales y repuestos:** detalle, unidad y cantidad de los materiales y/o repuestos planificados a utilizarse.

Una vez ejecutado el mantenimiento se deberá rellenar la información siguiente:

- **Materiales y repuestos:** cantidad de los materiales y/o repuestos utilizados; y en caso de usar otros diferentes a los planificados se deberá incluirlos.
- **Mano de obra:** número de operarios, especialidad, y cantidad de horas que se requirieron para realizar el mantenimiento.
- **Observaciones:** en caso de que alguna operación quede pendiente o si existe anomalías que pueden ser reparadas en intervenciones posteriores.
- **Fecha y hora de inicio:** para determinar el tiempo de espera antes de dar atención a la orden.
- **Fecha y hora de culminación:** determinará el momento en que el equipo queda operativo.
- **Firma del encargado del Mantenimiento:** que avala el trabajo realizado.

A continuación; en la figura 52 y 53, se muestran dos ejemplos de órdenes de mantenimiento preventivo sistemático de calderas y compresores respectivamente. Se aprecian los datos iniciales con las operaciones de las rutinas que se ejecutan cada 4 años y los datos que deberán ser rellenos una vez que se realice el mantenimiento.

4.6.3. Hojas de inspección

Para el mantenimiento preventivo predictivo, se realizan hojas de inspección que contienen zonas que se deben cumplimentar antes de imprimirlas y zonas que serán rellenadas durante la inspección y al finalizar la misma.

La información que se ingresa antes de imprimir la hoja de inspección es la siguiente:

- **Número de hoja:** sigue una secuencia ascendente, tomando en cuenta las órdenes de trabajo creadas, e identifica a la hoja para su posterior registro.
- **Fecha y hora de la solicitud:** para determinar posteriormente el tiempo en que permanece la hoja de inspección en proceso.
- **Equipo:** número y descripción del equipo al que se va a realizar las inspecciones.
- **Rutina:** de la inspección que le corresponde realizar en el período establecido.
- **Inspecciones a realizar:** dependen de la rutina correspondiente, donde se detallan las inspecciones con su respectivo código y el nombre del sistema al que pertenece. Se colocan cuadrículas para señalar el resultado de acuerdo a los límites propuestos en el plan.
- **Tiempo estimado:** que depende de la rutina programada.

Durante la inspección se deberá marcar con una "X" en las cuadrículas de la hoja impresa dependiendo del estado en que se encuentre el elemento revisado, y en las inspecciones cuantitativas se tiene que colocar en la cuadrícula correspondiente el valor medido.

Una vez realizada la inspección se deberá rellenar la siguiente información:

- **Observaciones:** en caso de que alguna inspección quede pendiente o si existe anomalías que pueden ser reparadas en intervenciones posteriores.
- **Fecha y hora de inicio:** para determinar el tiempo de espera que transcurre desde que se imprime la hoja de inspección.
- **Fecha y hora de culminación:** determinará el tiempo que se consume en realizar la inspección.
- **Firma del encargado del Mantenimiento:** que avala los resultados de la inspección realizada.

En las figuras 54 y 55 se muestran ejemplos de hojas de inspección de las calderas; y en las figuras 56 y 57 ejemplos de hojas de inspección de los compresores de aire correspondientes a rutinas diarias y anuales respectivamente. Se aprecian los datos iniciales que se imprimen en las hojas y los que deben ser rellenados durante la inspección y luego de su culminación.

HOJA DE INSPECCIÓN				Nº: <u>4</u>							
MANTENIMIENTO PREVENTIVO PREDICTIVO											
Cada: Día de práctica											
Nº de Equipo: CA04		Fecha		Hora							
Descripción de equipo: Caldera de agua caliente		Solicitud: 24/10/2019		13:06:00							
Rutina: Diaria		Tiempo estimado: 0,15 h									
Inspecciones a realizar											
Código	Sistema	Inspección	Bien	Regular	Mal						
PCA01	Control	Estado de los pulsadores del cuadro de mandos	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>						
PCA02	Control	Estado de los pulsadores del monitor de temperaturas	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>						
PCA04	Eléctrico	Estado del cable de alimentación general y conexiones	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>						
PCA06	Eléctrico	Estado del cable de alimentación del monitor de temperaturas y conexiones	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>						
PCA09	Eléctrico	Estado del cable de los termopares	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>						
PCA10	Admisión de aire	Estado de la columna de agua en U	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>						
PCA11	Admisión de aire	Estado de las mangueras plásticas y conexiones de aire	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>						
PCA13	Combustible	Fugas con goteo de combustible en llave de paso y acoplamientos	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>						
PCA14	Combustible	Fugas con goteo de combustible en mangueras y filtro primario	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>						
PCA15	Combustible	Estado del depósito y medidor volumétrico de combustible	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>						
PCA16	Generación de calor	Fugas con goteo de combustible en la bomba del quemador	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>						
PCA20	Agua fría	Estado de mangueras, llave de paso y acoplamientos	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>						
PCA21	Agua fría	Fugas con goteo de agua en acoplamientos	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>						
PCA24	Agua caliente	Estado de mangueras y acoplamientos	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>						
PCA28	Agua caliente	Fugas con goteo de agua en los acoplamientos	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>						
Observaciones											
Firma del encargado de Mantenimiento			<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: right; padding-right: 10px;">Inicio del mantenimiento:</td> <td style="border: 1px solid black; width: 60px; height: 20px;"></td> <td style="border: 1px solid black; width: 60px; height: 20px;"></td> </tr> <tr> <td style="text-align: right; padding-right: 10px;">Culminación del mantenimiento:</td> <td style="border: 1px solid black; width: 60px; height: 20px;"></td> <td style="border: 1px solid black; width: 60px; height: 20px;"></td> </tr> </table>			Inicio del mantenimiento:			Culminación del mantenimiento:		
Inicio del mantenimiento:											
Culminación del mantenimiento:											

SVC-V1.0

Figura 54. Hoja de inspección diaria de la caldera

HOJA DE INSPECCIÓN				Nº: <u>5</u>							
MANTENIMIENTO PREVENTIVO PREDICTIVO											
Cada: Año											
Nº de Equipo: CA05		Fecha		Hora							
Descripción de equipo: Caldera de agua caliente		Solicitud: 24/10/2019		13:24:00							
Rutina: Anual		Tiempo estimado: 0,36 h									
Inspecciones a realizar											
Código	Sistema	Inspección	Bien	Regular	Mal	Valor					
PCA03	Eléctrico	Tensión de alimentación eléctrica	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	V					
PCA05	Eléctrico	Estado del cable de alimentación del cuadro de mandos y conexiones	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>						
PCA07	Eléctrico	Estado del cable de alimentación del quemador	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>						
PCA08	Eléctrico	Estado del cable alimentación de la bomba	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>						
PCA12	Admisión de aire	Resistencia del termopar	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Ω					
PCA19	Generación de calor	Ruido durante el funcionamiento del quemador	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>						
PCA22	Agua fría	Estado del rotámetro	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>						
PCA23	Agua fría	Resistencia del termopar	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Ω					
PCA25	Agua caliente	Estado del vaso de expansión	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>						
PCA26	Agua caliente	Ruido en las bombas de agua	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>						
PCA27	Agua caliente	Resistencia del termopar	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Ω					
PCA29	Agua caliente	Fugas con goteo de agua en el intercambiador horizontal	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>						
PCA31	Gases de escape	Resistencia del termopar	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Ω					
PCA32	Gases de escape	Fugas de gases de escape por la chimenea	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>						
PCA17	Generación de calor	Fugas de gases quemados en acoplamiento entre cuerpo de caldera y quemador	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>						
PCA18	Generación de calor	Fugas con goteo de agua en cuerpo de caldera	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>						
PCA30	Gases de escape	Corrosión en la boca de salida de humos	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>						
Observaciones											
Firma del encargado de Mantenimiento			<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: right; padding-right: 10px;">Inicio del mantenimiento:</td> <td style="border: 1px solid black; width: 60px; height: 20px;"></td> <td style="border: 1px solid black; width: 60px; height: 20px;"></td> </tr> <tr> <td style="text-align: right; padding-right: 10px;">Culminación del mantenimiento:</td> <td style="border: 1px solid black; width: 60px; height: 20px;"></td> <td style="border: 1px solid black; width: 60px; height: 20px;"></td> </tr> </table>			Inicio del mantenimiento:			Culminación del mantenimiento:		
Inicio del mantenimiento:											
Culminación del mantenimiento:											

SVC-V1.0

Figura 55. Hoja de inspección anual de la caldera

HOJA DE INSPECCIÓN			Nº: <u>6</u>		
MANTENIMIENTO PREVENTIVO PREDICTIVO					
Cada: Día de práctica					
Nº de Equipo: CO03			Fecha	Hora	
Descripción de equipo: Compresor de aire			Solicitud: 24/10/2019	13:38:00	
Rutina: Diaria			Tiempo estimado: 0,15 h		
Inspecciones a realizar					
Código	Sistema	Inspección	Bien	Regular	Mal
PCO01	Control	Estado del monitor de temperatura y corriente	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
PCO03	Eléctrico	Estado del botón de arranque	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
PCO04	Eléctrico	Estado del cable de alimentación del monitor de temperatura y corriente	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
PCO05	Eléctrico	Estado del cable de alimentación del compresor	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
PCO06	Eléctrico	Estado del cable de la termorresistencia	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
PCO07	Admisión de aire	Estado alojamiento del filtro de aire	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
PCO11	Grupo compresor	Fugas con goteo de aceite en la culata y cárter del cabezal	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
PCO12	Grupo compresor	Estado del deposito de cámara adicional	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
PCO13	Depósito y salida de aire	Estado del depósito	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
PCO14	Depósito y salida de aire	Estado de válvulas y llaves de paso	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
PCO15	Depósito y salida de aire	Estado de manómetros	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
PCO16	Depósito y salida de aire	Estado de la columna de agua en U	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
PCO17	Depósito y salida de aire	Estado de las mangueras plásticas y conexiones de aire	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
PCO18	Deposito y salida de aire	Estado de cilindro del volumen de remanso	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
PCO20	Deposito y salida de aire	Estado de silentblock	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Observaciones					
<div style="text-align: center;"> _____ Firma del encargado de Mantenimiento </div>			<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="text-align: center;"> Inicio del mantenimiento: </div> <div style="text-align: center;"> Fecha </div> <div style="text-align: center;"> Hora </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between; margin-top: 5px;"> <div style="text-align: center;"> Culminación del mantenimiento: </div> <div style="text-align: center;"> <input type="text"/> </div> <div style="text-align: center;"> <input type="text"/> </div> </div>		

SVC-V1.0

Figura 56. Hoja de inspección diaria del compresor

HOJA DE INSPECCIÓN				Nº: <u>7</u>		
MANTENIMIENTO PREVENTIVO PREDICTIVO						
Cada: Año						
Nº de Equipo: CO05			Fecha		Hora	
Descripción de equipo: Compresor de aire			Solicitud: 24/10/2019		12:07:00	
Rutina: Anual			Tiempo estimado: 0,31 h			
Inspecciones a realizar						
Código	Sistema	Inspección	Bien	Regular	Mal	Valor
PCO02	Eléctrico	Tensión de alimentación eléctrica	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	V
PCO19	Deposito y salida de aire	Resistencia de termorresistencia a 20º	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Ω
PCO08	Grupo compresor	Resistencia de aislamiento a tierra de los devanados del motor eléctrico	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	MΩ
PCO09	Grupo compresor	Estado del ventilador	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
PCO10	Grupo compresor	Capacitancia del condensador	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	μF
Observaciones						
<div style="border-bottom: 1px solid black; width: 100%; text-align: center; padding-bottom: 5px;">Firma del encargado de Mantenimiento</div>			<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="text-align: center;"> Inicio del mantenimiento: </div> <div style="text-align: center;"> Fecha </div> <div style="text-align: center;"> Hora </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between; margin-top: 5px;"> <div style="text-align: center;"> Culminación del mantenimiento: </div> <div style="text-align: center;"> <input style="width: 50px; height: 20px;" type="text"/> </div> <div style="text-align: center;"> <input style="width: 50px; height: 20px;" type="text"/> </div> </div>			

SVC-V1.0

Figura 57. Hoja de inspección anual del compresor

4.7. PROCEDIMIENTOS DE TRABAJO

En el apartado correspondiente a la planificación del mantenimiento se puso un código de procedimiento a cada una de las operaciones e inspecciones con el fin de tener una referencia identificativa. Se crean procedimientos de trabajo con el objetivo de asegurar que las operaciones e inspecciones de mantenimiento se realicen siempre de la misma forma, de manera correcta; y que además puedan ser ejecutadas fácilmente por el personal de mantenimiento así estos no tengan una vasta experiencia con los equipos.

En estos procedimientos técnicos de trabajo se describen de forma detallada los pasos para llevar a cabo una operación o inspección de mantenimiento específica, definiendo los recursos que se deben disponer y las precauciones que se deben tomar. Parte de la información proviene del fabricante, pero no con el detalle necesario; por tal razón para realizar esta documentación también se hace uso de la experiencia del mantenimiento ejecutado.

La estructura del documento de estos procedimientos contiene lo siguiente:

- **Código del procedimiento:** que indica la referencia del documento y corresponde al código establecido en los planes de mantenimiento.
- **Equipo:** descripción del equipo al cual es aplicable el procedimiento señalado.
- **Sistema:** nombre del sistema sobre el cual se va a ejecutar el mantenimiento.
- **Operación/Inspección:** la descripción de la operación o inspección con su respectivo código de la cual se va a realizar el procedimiento; tal cual como se indica en el plan de mantenimiento.
- **Página:** se indica el número página actual con respecto al total que conforman el documento.
- **Consejos de seguridad:** se describen algunas normas básicas de seguridad que se deben tomar en cuenta para la ejecución del mantenimiento.
- **Recursos necesarios:** detalle del tiempo de mano de obra estimado, repuestos y materiales en caso de requerirlos; y de las herramientas a utilizar.
- **Procedimiento:** contiene los pasos que se deben seguir para la ejecución del mantenimiento, con un lenguaje sencillo de fácil comprensión.

A continuación, se muestran algunos procedimientos de trabajo que corresponden a las operaciones tanto para las calderas de agua caliente como para los compresores de aire. Con esto se deja establecido el formato que se debe considerar al momento de realizar los procedimientos de las operaciones que quedarían pendientes desarrollar, considerando que algunas operaciones no requieren de mucho detalle por la sencillez de llevarlas a cabo.

PROCEDIMIENTO DE TRABAJO

PRSCA03

Equipo: Caldera de agua caliente	Sistema: Generación de calor	Página
Operación: Limpiar la cámara de combustión de la caldera	Código: SCA03	1/4

Consejos de seguridad

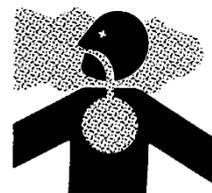
Mantenimiento seguro

No llevar bufandas ni ropa suelta o collares. Quitarse anillos u otras joyas para evitar cortocircuitos o el peligro de engancharse. Familiarizarse con los procedimientos de mantenimiento antes de efectuar los trabajos.



Trabajar en lugares ventilados

Los gases del sistema de escape pueden causar malestares físicos, se recomienda abrir las puertas y ventanas para que se renueve el aire.



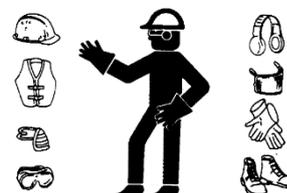
Evitar el contacto con superficies peligrosas

Evitar el contacto de la piel con los componentes calientes del sistema de gases de escape. Evitar el contacto con elementos del sistema eléctrico que pueden provocar descarga eléctrica.



Usar ropa adecuada

Utilizar equipos de seguridad adecuados según el tipo de trabajo.



Recursos necesarios

Para la ejecución de la operación SCA03 se requiere de lo siguiente:

Nº de operarios	Tiempo estimado
1 Técnico	3 horas

Materiales	
Paño de limpieza	
Limpiador de hollín	

PROCEDIMIENTO DE TRABAJO

PRSCA03

Equipo: Caldera de agua caliente

Sistema: Generación de calor

Página

Operación: Limpiar la cámara de combustión de la caldera

Código: SCA03

2/4

Herramientas	
Cepillo triangular	
Llave hexagonal en T de 4 mm	
Palanca ratchet 1/2"	
Extensión mediana 1/2"	
Dado de 12 puntos 13mm (mando 1/2")	
Destornillador plano	
Llave combinada de 17 mm	

Procedimiento

Para la limpieza de la cámara de combustión y cuerpo interno de la caldera se procede de la siguiente forma:

Pasos previos

1. Desconectar la alimentación eléctrica de la caldera.
2. Verificar que las llaves de paso de agua y combustible hacia la caldera estén totalmente cerradas.

Desmontaje

3. Retirar los cables de alimentación eléctrica del quemador, la manguera de aire que está en la tobera de entrada de aire y las mangueras de alimentación de combustible. Con la finalidad despejar el área y hacer más cómoda la labor de limpieza.
4. Aflojar el tornillo A, con la llave hexagonal; que sujeta al quemador hacia el acoplamiento que ingresa en la brida de la caldera.

PROCEDIMIENTO DE TRABAJO

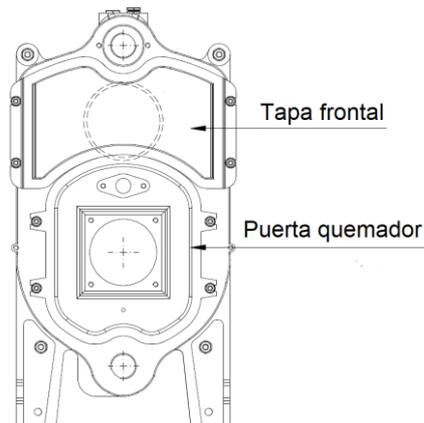
PRSCA03

Equipo: Caldera de agua caliente	Sistema: Generación de calor	Página
Operación: Limpiar la cámara de combustión de la caldera	Código: SCA03	3/4

5. Desmontar el quemador de gasóleo de su acoplamiento a la caldera.

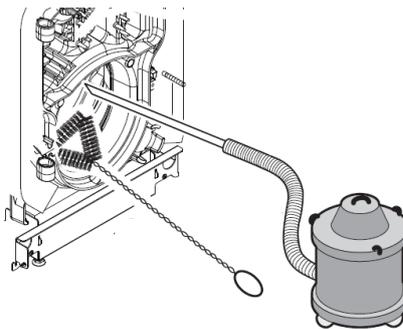


6. Desmontar la puerta del quemador (cuerpo de caldera) que da acceso a la cámara de combustión, y la tapa frontal de limpieza para el paso de los humos. Usar la palanca rachet con la extensión y el dado 13 mm para aflojar las tuercas correspondientes.



8. Sacar cuidadosamente los dos aislantes que realizan la función de retenedores de los pasos de humos.

9. Limpiar el interior de la cámara de combustión de la caldera y el paso de humos con el líquido y el cepillo triangular. Usar una aspiradora en caso de ser necesario.



PROCEDIMIENTO DE TRABAJO

PRSCA03

Equipo: Caldera de agua caliente	Sistema: Generación de calor	Página 4/4
Operación: Limpiar la cámara de combustión de la caldera	Código: SCA03	

9. Limpiar los retenedores y comprobar su estado.

Montaje

10. Colocar los retenedores en los pasos de humos y ajustarlos correctamente.

11. Montar la puerta del quemador, la tapa de limpieza y ajustar con la palanca ratchet, la extensión y el dado 13 mm las tuercas correspondientes.

12. Montar el quemador de gasóleo y ajustar el tornillo de fijación con la llave hexagonal de 4 mm.

13. Conectar los cables de alimentación eléctrica del quemador y ajustarlos con el destornillador plano, conectar las mangueras de combustible hacia la bomba y ajustarlas con la llave combinada de 17 mm; y por último conectar la manguera de aire en la tobera.



14. Reiniciar la caldera y comprobar su correcto funcionamiento.

PROCEDIMIENTO DE TRABAJO

PRSCA10

Equipo: Caldera de agua caliente

Sistema: Generación de calor

Página

Operación: Cambiar electrodos de ignición

Código: SCA10

1/4

Consejos de seguridad

Mantenimiento seguro

No llevar bufandas ni ropa suelta o collares. Quitarse anillos u otras joyas para evitar cortocircuitos o el peligro de engancharse. Familiarizarse con los procedimientos de mantenimiento antes de efectuar los trabajos.



Trabajar en lugares ventilados

Los gases del sistema de escape pueden causar malestares físicos, se recomienda abrir las puertas y ventanas para que se renueve el aire.



Evitar el contacto con superficies peligrosas

Evitar el contacto de la piel con los componentes calientes del sistema de gases de escape. Evitar el contacto con elementos del sistema eléctrico que pueden provocar descarga eléctrica.



Usar ropa adecuada

Utilizar equipos de seguridad adecuados según el tipo de trabajo.



Recursos necesarios

Para la ejecución de la operación SCA10 se requiere de lo siguiente:

Nº de operarios	Tiempo estimado
1 Técnico	0,2 horas

Repuesto	
Electrodo GR.EL.001	

PROCEDIMIENTO DE TRABAJO

PRSCA10

Equipo: Caldera de agua caliente

Sistema: Generación de calor

Página

Operación: Cambiar electrodos de ignición

Código: SCA10

2/4

Herramientas

Llave hexagonal en T de 4 mm	
Destornillador plano	
Llave combinada de 17 mm	

Procedimiento

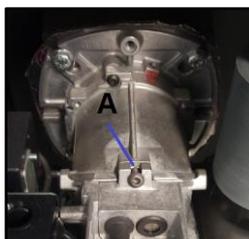
Para el cambio de los electrodos de ignición del quemador se procede de la siguiente forma:

Pasos previos

1. Desconectar la alimentación eléctrica de la caldera.
2. Verificar que las llaves de paso de agua y combustible hacia la caldera estén totalmente cerradas.

Desmontaje

3. Retirar la manguera de aire, que se encuentra en la tobera de la entrada de aire, para poder maniobrar con mayor comodidad.
4. Retirar los cables de alimentación del quemador haciendo uso del destornillador plano, y sacar las mangueras de combustible con la llave combinada de 17 mm. Esto en el caso de que se quiera realizar el cambio en un sitio más cómodo.
5. Aflojar el tornillo A, con la llave hexagonal; que sujeta al quemador hacia el acoplamiento que ingresa en la brida de la caldera.



PROCEDIMIENTO DE TRABAJO

PRSCA10

Equipo: Caldera de agua caliente

Sistema: Generación de calor

Página

Operación: Cambiar electrodos de ignición

Código: SCA10

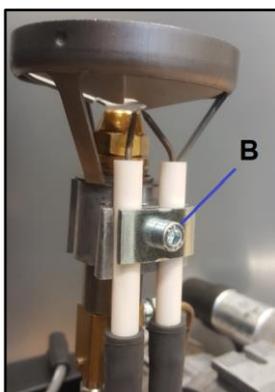
3/4

6. Desmontar el quemador de gasóleo de su acoplamiento a la caladera.



7. Desconectar los cables de ignición de los electrodos.

8. Aflojar el tornillo B con la llave hexagonal de 4 mm y retirar los electrodos de ignición.



Montaje

9. Tomar los electrodos nuevos y asegurarse que sean los correctos antes de montarlos.

10. Ubicar los electrodos en su posición y asegurarse que la distancia entre los electrodos y la boquilla sea la correcta antes de ajustar el perno de sujeción.



PROCEDIMIENTO DE TRABAJO

PRSCA10

Equipo: Caldera de agua caliente

Sistema: Generación de calor

Página

Operación: Cambiar electrodos de ignición

Código: SCA10

4/4

11. Colocar los cables de ignición a los electrodos.

12. Montar el quemador de gasóleo y ajustar el tornillo de fijación con la llave hexagonal de 4 mm.

13. Conectar los cables de alimentación eléctrica del quemador y ajustarlos con el destornillador plano, conectar las mangueras de combustible hacia la bomba y ajustarlas con la llave combinada de 17 mm; y por último conectar la manguera de aire en la tobera.



14. Reiniciar la caldera y comprobar su correcto funcionamiento.

PROCEDIMIENTO DE TRABAJO

PRSCO05

Equipo: Compresor de aire

Sistema: Grupo compresor

Página

Operación: Cambiar aceite del cabezal

Código: SCO05

1/3

Consejos de seguridad

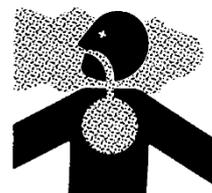
Mantenimiento seguro

No llevar bufandas ni ropa suelta o collares. Quitarse anillos u otras joyas para evitar cortocircuitos o el peligro de engancharse. Familiarizarse con los procedimientos de mantenimiento antes de efectuar los trabajos.



Trabajar en lugares ventilados

El aire mezclado con aceite que emite el compresor puede causar malestares físicos, se recomienda abrir las puertas y ventanas para que se renueve el aire.



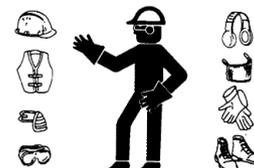
Evitar el contacto con superficies peligrosas

Evitar el contacto con el ventilador y elementos giratorios que pueden causar lesiones. Evitar el contacto con elementos del sistema eléctrico que pueden provocar descarga eléctrica.



Usar ropa adecuada

Utilizar equipos de seguridad adecuados según el tipo de trabajo



Recursos necesarios

Para la ejecución de la operación SCO05 se requiere de lo siguiente:

Nº de operarios	Tiempo estimado
1 Técnico	0,2 horas

Repuesto

Aceite SAE
40 - ISO VG
150



PROCEDIMIENTO DE TRABAJO

PRSCO05

Equipo: Compresor de aire

Sistema: Grupo compresor

Página

Operación: Cambiar aceite del cabezal

Código: SCO05

2/3

Herramientas

Llave hexagonal de 5 mm	
Embudo	

Procedimiento

Para el cambio de aceite del cabezal del compresor se procede de la siguiente forma:

Pasos previos

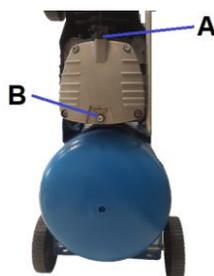
1. Desconectar la alimentación eléctrica del compresor.
2. Verificar que el manómetro de presión del tanque marque 0. Caso contrario abrir la llave para vaciarlo.

Desmontaje

3. Colocar el compresor con una pequeña inclinación para facilitar el vaciado del cárter.



4. Retirar el tapón A, que también es la varilla para medir el nivel.
5. Aflojar el tapón del cárter B con la llave hexagonal de 5 mm.



PROCEDIMIENTO DE TRABAJO

PRSCO05

Equipo: Compresor de aire

Sistema: Grupo compresor

Página

Operación: Cambiar aceite del cabezal

Código: SCO05

3/3

6. Dejar caer el aceite sobre un recipiente y esperar que se vacíe por completo.



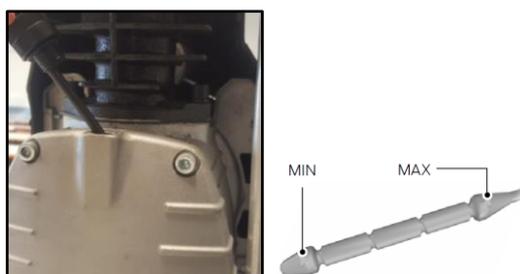
Montaje

7. Colocar el tapón B y ajustarlo con la llave hexagonal de 5 mm.

8. Colocar ½ litro de aceite por el tapón B con la ayuda del embudo.



10. Verificar que el nivel sea el correcto a través de la varilla, constatando que se encuentre entre el mínimo y máximo.



11. Ajustar el tapón de llenado.

12. Conectar el compresor y comprobar su correcto funcionamiento.

PROCEDIMIENTO DE TRABAJO

PRPCO20

Equipo: Compresor de aire	Sistema: Depósito y salida de aire	Página 1/2
Inspección: Resistencia de termorresistencia a 20°	Código: PCO20	

Consejos de seguridad

Mantenimiento seguro

No llevar bufandas ni ropa suelta o collares. Quitarse anillos u otras joyas para evitar cortocircuitos o el peligro de engancharse. Familiarizarse con los procedimientos de mantenimiento antes de efectuar los trabajos.



Trabajar en lugares ventilados

El aire mezclado con aceite que emite el compresor puede causar malestares físicos, se recomienda abrir las puertas y ventanas para que se renueve el aire.



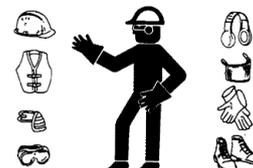
Evitar el contacto con superficies peligrosas

Evitar el contacto con el ventilador y elementos giratorios que pueden causar lesiones. Evitar el contacto con elementos del sistema eléctrico que pueden provocar descarga eléctrica.



Usar ropa adecuada

Utilizar equipos de seguridad adecuados según el tipo de trabajo.



Recursos necesarios

Para la ejecución de la operación PCO20 se requiere de lo siguiente:

Nº de operarios	Tiempo estimado
1 Técnico	0,04 horas

Herramienta	
Multímetro	

PROCEDIMIENTO DE TRABAJO

PRPCO20

Equipo: Compresor de aire	Sistema: Depósito y salida de aire	Página
Inspección: Resistencia de termorresistencia a 20°	Código: PCO20	2/2

Procedimiento

Para medir la resistencia de la termorresistencia que mide la temperatura del aire a la salida del compresor se procede de la siguiente forma:

Pasos previos

1. Desconectar la alimentación eléctrica del compresor.
2. Verificar que el manómetro de presión del tanque marque 0. Caso contrario abrir la llave para vaciarlo.
3. Asegurarse que el aula se encuentre climatizada a 20° para que la lectura se tome de manera adecuada.

Inspección

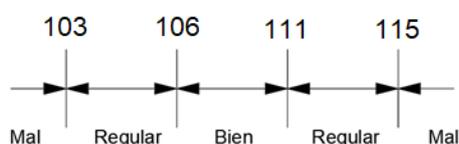
4. Desconectar el socket del monitor de temperatura y corriente.



5. Colocar el multímetro en escala de resistencia de 200 ohmios.
6. Colocar los terminales del multímetro en los puntos 1 y 3 o 2 y 4 del socket de la termorresistencia. La lectura debe ser la misma de las dos formas.



7. Anotar en la hoja de inspección el valor mostrado y colocar el estado considerando los límites. El valor de la resistencia que debe marcar a 20° es de 107.39 ohmios.



5. GESTIÓN DE LA INFORMACIÓN DEL MANTENIMIENTO

5.1. INTRODUCCIÓN

Una vez definido el modelo de mantenimiento con las estrategias a emplear como parte del sistema de mantenimiento, es necesario establecer la gestión de la información del mantenimiento que permita garantizar la continuidad operativa de los equipos, optimizar los recursos y reducir costes. Se plantea una gestión que a más de incluir lo básico; como el registro de la documentación con la información generada, contenga aspectos importantes como la planificación de las labores de mantenimiento, detalle de los costes generados en cada intervención durante un cierto período y el manejo de indicadores que permitan medir los resultados.

Uno de los pasos que ya se desarrolló en el capítulo anterior, para la gestión de la información, fue la creación de formatos de órdenes trabajo de los diferentes mantenimientos y las hojas de inspección; con esto se facilita el registro de historiales de fallos para obtener, a través de tablas de control e informes básicos de gestión, la información necesaria que permita tomar acciones.

Así pues, resulta necesario recurrir al uso de herramientas informáticas destinadas al control y que faciliten esta gestión; por tal razón se realiza un archivo con programación en una hoja de cálculo con la utilización de Microsoft Office Excel 2016 que servirá de ayuda para el registro y control del mantenimiento.

En este apartado se describirá las partes que contiene este Libro de Excel y los indicadores que se pretenden llevar a cabo, todo esto como parte de las herramientas de gestión del mantenimiento.

5.2. SISTEMA DE INFORMACIÓN

Una vez que se cuenta con los formatos establecidos para la emisión de órdenes de trabajo y hojas de inspección, estos generan muchos datos que se convierten en información, para tener una ayuda en la gestión de esta información se utiliza Microsoft Office Excel 2016 para realizar un Libro de manejo sencillo que permita mantener un registro adecuado.

El Libro de Excel realizado contiene varias hojas (pestañas) y cada una de ellas con una función determinada que se detalla a continuación:

Base de equipos: se muestra una lista detallada de los equipos sobre los cuales se gestiona el mantenimiento, mostrándose como primera pestaña del Libro para que sea consultada en caso de tener alguna duda sobre el código de algún equipo. Esta lista incluye todos los puntos de codificación descritas en el capítulo anterior, tal y como se muestra en la siguiente figura.

Base de equipos

Código	Tipo de equipo
CA	Generación de calor (Caldera)
CO	Compresor volumetrico(Compresor de aire)




Tipo	N° de equipo	Descripción	Marca	Modelo	N° de Serie	Quemador	Potencia nominal	Año de fabricación
CA	CA01	Caldera de agua caliente	CABEL	CLIMA TRONIC 30 A	1462-20066	LASIAN MAX 1 R TC (L+S)	28,9 kW	2009
CA	CA02	Caldera de agua caliente	CABEL	CLIMA TRONIC 30 A	1462-20139	LASIAN MAX 1 R TC (L+S)	28,9 kW	2010
CA	CA03	Caldera de agua caliente	CABEL	CLIMA TRONIC 30 A	1462-20449	BENTONE BF1 KA 76-22	27,1 kW	2017
CA	CA04	Caldera de agua caliente	CABEL	CLIMA TRONIC 30 A	1462-20453	BENTONE BF1 KA 76-22	27,1 kW	2017
CA	CA05	Caldera de agua caliente	CABEL	CLIMA TRONIC 30 A	1462-20476	BENTONE BF1 KA 76-22	27,1 kW	2018
CA	CA06	Caldera de agua caliente	CABEL	CLIMA TRONIC 30 A	1462-20499	BENTONE BF1 FU 63-16	27,1 kW	2019

Tipo	N° de equipo	Descripción	Marca	Modelo	N° de Serie	Potencia nominal	Año de fabricación
CO	CO01	Compresor de aire	ABAC	POLE POSITION 220	708344	1,5 kW	1998
CO	CO02	Compresor de aire	ABAC	AF20E50	061890	1,5 kW	2010
CO	CO03	Compresor de aire	ATLAS COPCO	AF20E24	066162	1,5 kW	2010
CO	CO04	Compresor de aire	ABAC	POLE POSITION L20	328962	1,5 kW	2012
CO	CO05	Compresor de aire	ABAC	POLE POSITION L20	331242	1,5 kW	2012

BASE EQUIPOS

Figura 58. Pestaña Base de equipos

Programación del mantenimiento preventivo: esta pestaña muestra la programación realizada para un período de 10 años en la que se detallan las gamas de mantenimiento preventivo sistemático y predictivo que se deben ejecutar a los diferentes equipos durante cada año. Esta pestaña contiene información fija y su finalidad es de consulta para conocer las rutinas de mantenimiento que se deben realizar.

Calderas de agua caliente

AÑO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
GAMAS S.	2B-C	2B-C-D	2B-C	2B-C-D-E	2B-C	2B-C-D	2B-C	2B-C-D-E	2B-C	2B-C-D
C. ANUAL S.	29,70	124,70	29,70	351,35	29,70	124,70	29,70	351,35	29,70	124,70
C. ACUM. S.	29,70	154,40	184,10	535,45	565,15	689,85	719,55	1070,90	1100,60	1225,30
GAMAS P.	35A-2B-C									
C. ANUAL P.	177,60	177,60	177,60	177,60	177,60	177,60	177,60	177,60	177,60	177,60
C. ACUM. P.	177,60	355,20	532,80	710,40	888,00	1065,60	1243,20	1420,80	1598,40	1776,00
C. ACUM. S&P	207,30	509,60	716,90	1245,85	1453,15	1755,45	1962,75	2491,70	2699,00	3001,30

A	Diaria
B	Semestral
C	Anual
D	Bienal
E	Cuatrienal

Compresores de aire

AÑO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
GAMAS S.	2B-C	2B-C-D	2B-C	2B-C-D-E	2B-C	2B-C-D	2B-C	2B-C-D-E	2B-C	2B-C-D
C. ANUAL S.	15,59	28,99	15,59	130,99	15,59	28,99	15,59	130,99	15,59	28,99
C. ACUM. S.	15,59	44,58	60,17	191,16	206,75	235,74	251,33	382,32	397,91	426,90
GAMAS P.	20A-2B-C									
C. ANUAL P.	101,70	101,70	101,70	101,70	101,70	101,70	101,70	101,70	101,70	101,70
C. ACUM. P.	101,70	203,40	305,10	406,80	508,50	610,20	711,90	813,60	915,30	1017,00
C. ACUM. S&P	117,29	247,98	365,27	597,96	715,25	845,94	963,23	1195,92	1313,21	1443,90

PROGRAMACIÓN PREVENTIVO

Figura 59. Pestaña Programación preventiva

Generación de órdenes de trabajo: en esta pestaña se realiza la creación de órdenes de trabajo de mantenimiento y las hojas de inspección; consta de una tabla en donde se ingresan los datos iniciales que se mostrarán en los impresos.

Se incluyen botones de vínculos hacia otras pestañas; así como también, botones para realizar la impresión de los diferentes formatos. Además, se muestra un tablero de control

de órdenes de trabajo y hojas de inspección que permite tener información general de la gestión del mantenimiento.



Figura 60. Pestaña Generación órdenes

Formatos: hay tres pestañas con los formatos que corresponden a: las órdenes de mantenimiento correctivo, mantenimiento preventivo sistemático; y hojas de inspección correspondientes al mantenimiento preventivo predictivo. Estos formatos son rellenados automáticamente con los datos ingresados en la pestaña “Generación órdenes” para luego ser imprimidos.

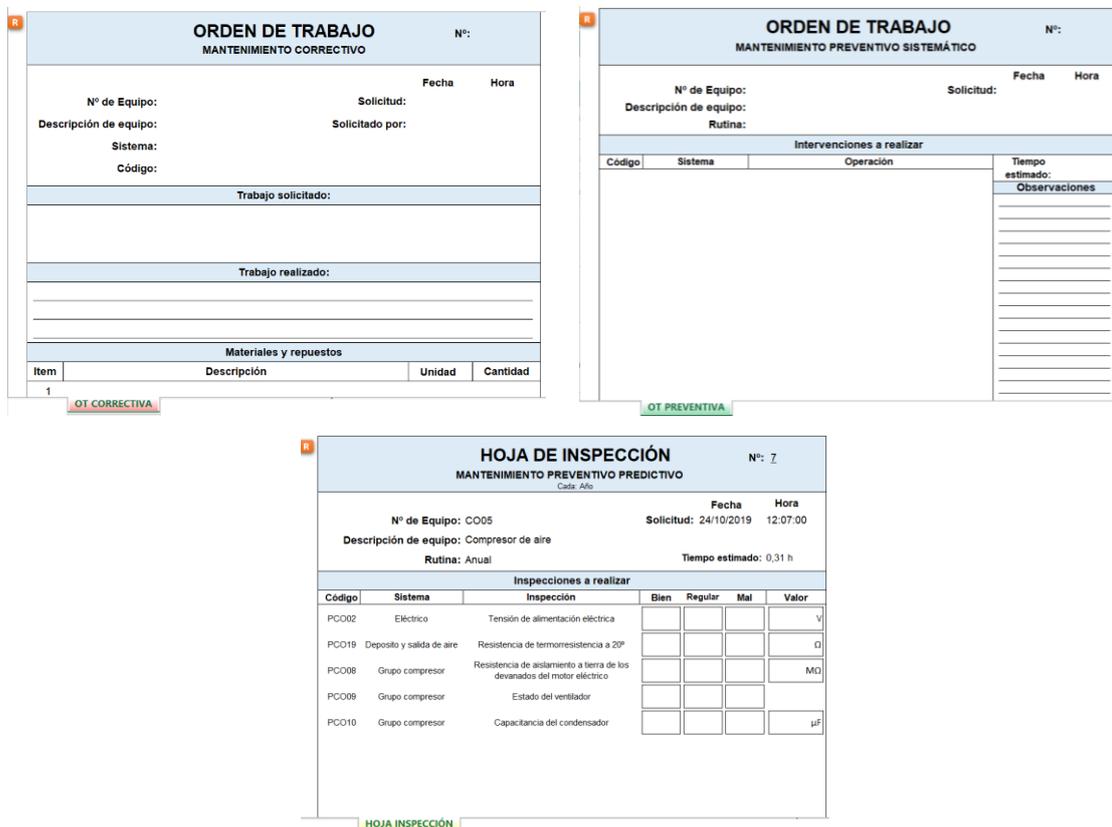


Figura 61. Pestañas: OT Correctiva, OT Preventiva y Hoja inspección

Ingreso de información: para cuando el mantenimiento haya culminado se dispone de pestañas con tablas que permiten ingresar los datos de cada uno de los formatos. Luego del ingreso, esta información es almacenada de forma organizada para su posterior análisis y consulta.



Figura 62. Pestañas: Ingreso correctivo, Ingreso preventivo e Ingreso inspección

Registro de información: una vez que se presiona sobre el botón “GUARDAR” toda la información ingresada en las tablas indicadas anteriormente, se registran de forma automática en estas pestañas que contienen tablas que servirán para el análisis y consulta de lo registrado. La información que se registra en cada una de ellas es la que corresponde a cada tipo de formato que se detalló en el apartado del capítulo anterior.



Figura 63. Encabezado de tablas de pestañas de Registro

Instructivo: se destina una pestaña para incluir las instrucciones que se deben seguir para el manejo del Libro de Excel realizado.

Instrucciones

Para generar órdenes de trabajo u hojas de inspección de los equipos es necesario seguir los siguientes pasos:

_Ubicarse en una fila vacía en la primera columna.

_Seleccionar en la lista desplegable el tipo de impreso que se va a generar.

HOJA INSPECCIÓN
OT CORRECTIVA
OT PREVENTIVA
HOJA INSPECCIÓN

_Esta información deberá estar únicamente en la fila donde se va a rellenar los datos iniciales.

Instructivo

Referencia de celdas
Seleccionar
Ingresar
No modificar

OT Correctiva
OT Preventiva
Hoja Inspección

TABLERO DE CONTROL DE ORDENES DE TRABAJO Y HOJAS DE INSPECCIÓN

Número de Items (OTIH)	7	Tiempo medio de OTIH realizadas (h)		Número de OT Correctivas	1
Número de OTIH realizadas		Tiempo medio de OTIH proceso (h)	92,67	Número de OT Prev. Sistemático	2
Número de OTIH en proceso				Número de HI Prev. Predictivo	4

INSTRUCTIVO

Figura 64: Pestaña Instructivo

Todo esto permite realizar la gestión de la información que se genera cuando se recogen los datos planteados en las órdenes de trabajo y hojas de inspección; considerándose como un gran apoyo ya que el archivo informático creado es de fácil acceso y manejo sencillo. De esta forma se establece un sistema de información que ayuda a tomar decisiones como:

- En que equipos se debe intervenir.
- Si se requiere programar reparaciones.
- Modificación de gamas de mantenimiento.
- Creación de nuevas operaciones.
- De cuando es el momento para realizar el cambio de equipo.

5.3. INDICADORES DE MANTENIMIENTO

Los indicadores de mantenimiento son imprescindibles y es necesario elaborarlos acorde a nuestra necesidad; ya que con estos se logran medir los resultados y comprobar la evolución del área. Esto constituye una información procesada a partir de los datos almacenados en la aplicación que se detalló anteriormente, en la que el encargado del área debe basarse para tomar una decisión sobre la evolución del mantenimiento.

De la diversidad existente de indicadores elaborados y recomendados; se seleccionan los más usuales que se acoplan a nuestro caso, cumpliendo con el objetivo de aportar información útil. Estos indicadores están enmarcados en tres grupos que son: económicos, técnicos y organizativos.

5.3.1. Indicadores económicos

En muchos de los casos estos indicadores son los considerados en el nivel jerárquico más alto; ya que permiten conocer a detalle cuánto se gasta y la tendencia de los costes del mantenimiento de los equipos para poder decidir sobre: la planificación, las estrategias empleadas y la renovación de equipos.

Es determinante llevar el control de los costes que se tiene por la ejecución de cada una de las estrategias de mantenimiento que conforman el coste total del mantenimiento. Al no tener producción se consideran únicamente los costes directos, teniéndose lo siguiente:

- Coste de mantenimiento correctivo

$$C_C = C_{MO} + C_{RM} + C_{SE}$$

C_{MO} : Coste de mano de obra

C_{RM} : Coste de repuestos y materiales

C_{SE} : Coste por servicios externos

- Coste de mantenimiento preventivo

$$C_P = C_{PS} + C_{PP}$$

C_{PS} : Coste de preventivo sistemático

C_{PP} : Coste de preventivo predictivo

$$C_{PS} = C_{MO} + C_{RM}$$

$$C_{PP} = C_{MO}$$

- Coste de total de mantenimiento

$$CM = C_C + C_P$$

Con los resultados de las operaciones anteriores, se plantea presentar como indicadores económicos los siguientes:

Índice del coste de mantenimiento correctivo

Muestra el porcentaje del coste de mantenimiento correctivo frente al coste total de mantenimiento.

$$\% \text{ Coste correctivo} = \frac{\text{Coste de mantenimiento correctivo}}{\text{Coste total de mantenimiento}} \times 100$$

Índice del coste de mano de obra

Permite saber el porcentaje del coste de mano de obra de mantenimiento sobre el coste total de mantenimiento.

$$\% \text{ Coste mano de obra} = \frac{\text{Coste de mano de obra total}}{\text{Coste total de mantenimiento}} \times 100$$

5.3.2. Indicadores técnicos

Estos indicadores tienen el objetivo de medir el desempeño de los equipos y están relacionados con la eficacia de las actividades de mantenimiento. Se plantean como indicadores técnicos los siguientes:

MTBF (Mean Time Between Failures)

El tiempo medio entre fallos permite saber la frecuencia con que suceden los fallos; es decir, es el tiempo promedio en que un equipo funciona sin la interrupción por averías.

$$MTBF = \frac{\text{Tiempo total de funcionamiento}}{\text{Número de fallos}}$$

MTTR (Mean Time To Repair)

El tiempo medio de reparación permite saber el tiempo necesario para poner el equipo averiado en funcionamiento. Está asociado a la mantenibilidad, es decir, a la ejecución del mantenimiento.

$$MTTR = \frac{\text{Tiempo total de reparación}}{\text{Número de fallos}}$$

Disponibilidad

Es la probabilidad de que un equipo funcione cuando se requiera de su uso.

$$\text{Disponibilidad} = \frac{\text{Tiempo total de funcionamiento}}{\text{Tiempo total de funcionamiento} + \text{Tiempo de inactividad por Mtto.}} \times 100$$

5.3.3. Indicadores organizacionales

En cuanto a los indicadores organizacionales estos se centran en su mayoría a medir las horas hombre empleadas en las actividades de mantenimiento; y unos pocos referentes a cantidad de órdenes y número de piezas de repuesto suministradas. Se plantean como indicadores organizacionales los siguientes:

Índice de mano de obra de mantenimiento correctivo

Permite saber el porcentaje de horas invertidas en ejecución de mantenimiento correctivo sobre las horas totales dedicadas a mantenimiento.

$$\% \text{ Mano de obra correctivo} = \frac{\text{Horas de mano de obra de mantenimiento correctivo}}{\text{Horas totales de mano de obra de mantenimiento}} \times 100$$

Cumplimiento de órdenes de trabajo programadas

Muestra el porcentaje del cumplimiento de ejecución de órdenes de trabajo sobre las programadas.

$$\% \text{ Cumplimiento de programación} = \frac{\text{Número de OT realizadas según programación}}{\text{Número total de OT programadas.}} \times 100$$

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. CONCLUSIONES

Para realizar la adaptación de un equipo comercial y que este sea utilizado dentro de un laboratorio docente, se deben incurrir en varios costes como mano de obra, materiales e instrumentación específica; lo que representa del valor de inversión, un 66% para el caso de las calderas de agua caliente y un 75% para los compresores de aire.

Es muy importante ejecutar el mantenimiento a los equipos para obtener el máximo beneficio en cuanto a la vida útil con el menor coste posible y alcanzar un alto índice de disponibilidad.

La propuesta del sistema de mantenimiento desarrollada se ajusta a un modelo sistemático en el que se incluyen las estrategias de mantenimiento correctivo y mantenimiento preventivo, tanto sistemático como predictivo. Estableciéndose los puntos de partida y la estructura base que puede ser ampliada sin la necesidad de realizar grandes cambios, pudiendo ser considerada como referencia para la aplicación en otras áreas.

Los planes de mantenimiento preventivo elaborados resultan ser muy completos ya que en estos se incluye el detalle de los repuestos, materiales y mano de obra relacionados a cada una de las operaciones e inspecciones. Esto permite tener identificado lo que se va a utilizar y el coste que ello representa, obteniéndose con esto el coste de ejecución de cada gama de mantenimiento definida.

Tener identificados los límites de las inspecciones nos permite realizar las correspondientes acciones antes de que el equipo presente una avería que ocasione su parada o un funcionamiento inadecuado.

La programación del mantenimiento refleja la proyección del coste que se tiene con respecto al tiempo, que luego puede ser contrastado con el coste real que se vaya obteniendo a medida que pasen los años, con el fin de tomar decisiones para reducirlos.

Los formatos realizados para las diferentes estrategias están estructurados de manera que sea sencillo el tratamiento de los datos recogidos en los mismos. Así como los procedimientos de trabajo elaborados contienen de forma detallada los pasos a realizar en las operaciones, con la finalidad de que puedan ser ejecutadas de manera correcta.

El sistema de información propuesto es una herramienta sencilla de utilizar y de gran ayuda para el tratamiento de los datos registrados en los formatos que permite transformarlos en información útil.

Los indicadores de mantenimiento formulados constituyen una herramienta importante que permite conocer de primera mano los resultados de la gestión, aportando información útil con la que el encargado del mantenimiento puede tomar decisiones desde el punto de vista económico, técnico y organizacional.

6.2. RECOMENDACIONES

Revisar los planes de mantenimiento después de que se haya ejecutado la rutina de mantenimiento con la gama E (cada 4 años) y realizar las debidas modificaciones que resulten del análisis de los indicadores de gestión.

Para determinar si es necesario incluir nuevas operaciones al plan de mantenimiento preventivo se debe realizar un análisis de los fallos presentados, que puede ser la utilización del método ABC conocido como el diagrama de Pareto. Con la ayuda de este método de análisis podremos determinar cuál es el 20% de los sistemas en los que se presentan el 80% de las averías, para actuar sobre ellos.

Para modificar los tiempos de cambio de los repuestos con el fin de aprovechar al máximo la vida útil de estos, o para cuando se agreguen nuevas operaciones que incluyan cambio de repuestos; es necesario obtener la ley de degradación, por lo que se debe registrar los tiempos de buen funcionamiento (TBF) y ajustarlos con la Ley de Weibull. Se podría determinar el tiempo de tal forma que la fiabilidad no baje del 90%.

Usar el criterio del coste medio anual para determinar el tiempo de renovación de los equipos, que será cuando el coste por unidad de tiempo sea mínimo.

Cuando se realice el cambio por envejecimiento u obsolescencia, tratar de adquirir equipos de la misma marca y modelo que se disponen. Esto con la finalidad de continuar manteniendo un grupo homogéneo de equipos y no hacer modificaciones considerables en los planes de mantenimiento.

Actualizar periódicamente los indicadores de mantenimiento y registrar de forma correcta los datos para que la información obtenida de los mismos sea confiable y se puedan tomar decisiones acertadas.

BIBLIOGRAFÍA

MACIÁN, V.; TORMOS, B.; OLMEDA, P. (1999). *Fundamentos de Ingeniería del Mantenimiento*. Valencia: Editorial UPV.

MACIÁN, V.; TORMOS, B.; LERMA, M. J.; SALAVERT, J. M. (2010). *Sistemas de gestión de mantenimiento asistido por ordenador (GMAO). Requerimientos y funcionalidades*. Valencia: Editorial UPV.

GARCÍA GARRIDO, S. (2003). *Organización y gestión integral de mantenimiento*. Madrid: Ediciones Díaz de Santos, S. A.

GONZÁLEZ FERNÁNDEZ, F. J. (2010). *Reducción de costes y mejora de resultados en mantenimiento. La gestión mediante indicadores*. Madrid: Fundación CONFEMETAL.

DEPARTAMENTO DE MÁQUINAS Y MOTORES TÉRMICOS. (2011). *Laboratorio del Departamento de Máquinas y Motores Térmicos*. [Folleto].

CABEL. (2018). *Caldera de Hierro Fundido a Gasóleo para Calefacción y Agua Caliente*. [Manual].

ABAC AIR COMPRESSORS. *Compresores lubricados con transmisión directa*. <<https://www.abacaircompressors.com/es/our-products/piston/line/l20>> [Consulta: 11 de septiembre de 2019].