



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

**“MANTENIMIENTO CORRECTIVO Y PUESTA EN OPERACIÓN
DE UN CALDERO DE 2 BHP DE LA FACULTAD DE CIENCIAS
DE LA ESPOCH”**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO EN MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

AUTORES:

FAUSTO ALFREDO COLCHA GAGÑAY

JHONNY ANDRÉS TONATO SORIA

Riobamba – Ecuador

2023



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

**“MANTENIMIENTO CORRECTIVO Y PUESTA EN OPERACIÓN
DE UN CALDERO DE 2 BHP DE LA FACULTAD DE CIENCIAS
DE LA ESPOCH”**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO EN MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

AUTORES: FAUSTO ALFREDO COLCHA GAGÑAY

JHONNY ANDRÉS TONATO SORIA

DIRECTOR: Ing. EDWIN ÁNGEL JÁCOME DOMÍNGUEZ

Riobamba – Ecuador

2023

© 2023, Fausto Alfredo Colcha Gagñay & Jhonny Andrés Tonato Soria

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

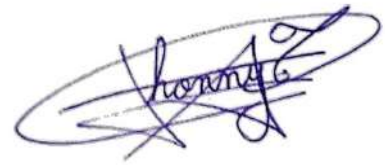
Nosotros, Fausto Alfredo Colcha Gagñay y Jhonny Andrés Tonato Soria, declaramos que el presente Trabajo de Integración Curricular es de nuestra autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autores asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 07 de diciembre de 2023






Fausto Alfredo Colcha Gagñay
C. I: 060567135-3



Jhonny Andrés Tonato Soria
C. I: 050363787-8

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto Técnico, “**MANTENIMIENTO CORRECTIVO Y PUESTA EN OPERACIÓN DE UN CALDERO DE 2 BHP DE LA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA ESPOCH**”, realizado por los señores: **FAUSTO ALFREDO COLCHA GAGÑAY** y **JHONNY ANDRÉS TONATO SORIA**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Marco Homero Almendariz Puente PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2023-12-07
Ing. Edwin Ángel Jácome Domínguez DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2023-12-07
Ing. Marco Antonio Ordóñez Viñán ASESOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2023-12-07

DEDICATORIA

El presente proyecto se lo dedico a mis padres: Fausto y Olga, a mi esposa Nataly y mi hijo Gabriel por el apoyo y confianza brindada en esta linda etapa universitaria, siempre fueron mi fortaleza y mi inspiración, gracias a mis hermanos Edison y Maria Elena que fueron un ejemplo a seguir para la culminación de mi estudio, a mis sobrinas Andrea y Sofía que siempre me sacaron una sonrisa, gracias a mis tíos, Martha, Rocío, Lourdes, Luis Miguel por la paciencia y siempre darme ánimos, a mi abuelita Angelita que tuvo la voz de aliento y de confianza, y a todos mis primos, amigos, y a mis suegros.

Fausto

A mis padres, Aida Soria y José Tonato cuyo amor incondicional y sacrificios han sido mi ancla en este viaje. La seguridad en mí me ha impulsado a alcanzar metas que nunca imaginé posibles. Cada logro y esfuerzo académico es el resultado de un viaje lleno de desafíos, aprendizajes y crecimiento personal.

Jhonny

AGRADECIMIENTO

El más sincero agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en especial a la Carrera de Ingeniería de Mantenimiento Industrial, por brindarme la oportunidad de obtener una profesión y ser personas útiles a la sociedad.

A los docentes de la Escuela de Ingeniería de Mantenimiento Industrial, en especial a los Ingenieros: Marco Ordoñez y Edwin Jácome por sus conocimientos impartidos los cuales nos ayudaron a desarrollar la tesis y por guiarme en uno de los más importantes logros académicos, como también a nuestros padres y mi esposa quienes me apoyaron tanto en sentido emocional como económicamente para la construcción del proyecto, y en especial para todos los amigos, compañeros y personas que me apoyaron de una u otra manera para culminar con éxito una etapa más en la vida.

Fausto

En el culmen de este viaje académico, deseo expresar mi profundo agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica De Chimborazo por proporcionar el ambiente propicio para nuestra formación, a mis asesores de tesis, Ángel Jácome y Marco Ordoñez. Su orientación experta, paciencia y dedicación para dar forma a este trabajo.

A mis seres queridos y amigos, les agradezco por su comprensión, aliento y paciencia durante este proceso. las palabras de estímulo y apoyo moral fueron un faro que iluminó los momentos más desafiantes.

Jhonny

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xii
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	xiv
ÍNDICE DE ANEXOS	xvi
ÍNDICE DE ABREVIATURAS	xvii
RESUMEN	xviii
SUMMARY	xix
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA.....	2
1.1. Planteamiento del problema.....	2
1.2. Justificación.....	2
1.3. Objetivos.....	3
1.3.1. <i>Objetivo general</i>	3
1.3.2. <i>Objetivos específicos</i>	3

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO	4
2.1. Caldero	4
2.2. Tipos de calderos.....	5
2.2.1. <i>Calderos de tubos de agua o acuotubulares</i>	5
2.2.2. <i>Caldero pirotubular</i>	6
2.2.2.1. <i>Ventajas del caldero pirotubular:</i>	7
2.2.2.2. <i>Desventajas del caldero pirotubular:</i>	7
2.3. Partes de los calderos pirotubulares.....	7
2.3.1. <i>Cuerpo del caldero pirotubular.</i>	7
2.3.2. <i>Hogar:</i>	8
2.3.3. <i>Manómetro:</i>	8
2.3.4. <i>Indicador de nivel de agua:</i>	8
2.3.5. <i>Válvula de seguridad:</i>	8
2.3.6. <i>Válvula de parada de vapor:</i>	8
2.3.7. <i>Válvula de retención de alimentación:</i>	8

2.3.8.	<i>Caja de humos:</i>	8
2.3.9.	<i>Chimenea:</i>	8
2.3.10.	<i>Cámara de vapor:</i>	9
2.4.	Generador de vapor	9
2.5.	Parámetros para la selección de calderos	9
2.5.1.	<i>Carga térmica (Q)</i>	9
2.5.2.	<i>Vapor normal (Vn)</i>	10
2.5.3.	<i>Capacidad de vaporización de una caldera</i>	10
2.5.4.	<i>HP de la caldera</i>	10
2.5.5.	<i>Eficiencia térmica de una caldera</i>	11
2.5.6.	<i>Superficie de calefacción</i>	11
2.6.	Mantenimiento	11
2.6.1.	<i>Tipos de mantenimiento</i>	11
2.6.2.	<i>Objetivos del mantenimiento</i>	12
2.7.	Mantenimiento correctivo	12
2.8.	Eficiencia energética	12
2.8.1.	<i>Factores que pueden incidir en la eficiencia energética</i>	13
2.8.1.1.	<i>Eficiencia térmica</i>	13
2.8.1.2.	<i>Eficiencia de un generador de vapor</i>	15
2.8.1.3.	<i>Eficiencia de combustibles</i>	17
2.9.	Norma	17
2.9.1.	<i>ASME</i>	17
2.9.1.1.	<i>ASME SCD-1</i>	18
2.9.1.2.	<i>ASME PTC 4</i>	18

CAPÍTULO III

3.	MANTENIMIENTO Y PUESTA EN OPERACIÓN DEL CALDERO PIROTUBULAR	19
3.1.	Diagnóstico técnico	19
3.1.1.	<i>Estado técnico inicial del sistema mecánico</i>	19
3.1.1.1.	<i>Bomba de agua</i>	20
3.1.1.2.	<i>Tuberías</i>	21
3.1.1.3.	<i>Tubos de calor</i>	22
3.1.1.4.	<i>Quemador</i>	22
3.1.1.5.	<i>Carcasa</i>	23
3.1.1.6.	<i>Hogar</i>	23

3.1.1.7.	<i>Aislamiento térmico</i>	24
3.1.2.	<i>Estado técnico inicial del sistema eléctrico</i>	24
3.1.2.1.	<i>Controlador lógico programable (PLC) SIMATIC S7-1200</i>	25
3.1.2.2.	<i>Simatic HMI KTP600 BASIC PN</i>	26
3.1.2.3.	<i>Sensores</i>	26
3.1.2.4.	<i>Transmisor de temperatura DAT2065.</i>	27
3.1.2.5.	<i>Sistema de ignición</i>	27
3.1.2.6.	<i>Pulsador</i>	28
3.1.2.7.	<i>Luz piloto</i>	28
3.1.2.8.	<i>Selector</i>	28
3.1.2.9.	<i>Breaker</i>	28
3.1.2.10.	<i>Relé térmico</i>	29
3.1.2.11.	<i>Relé electromecánico</i>	29
3.1.2.12.	<i>Fuente de poder</i>	29
3.1.2.13.	<i>Conductores</i>	29
3.1.3.	<i>Diagnóstico técnico del sistema de mando y control</i>	29
3.1.3.1.	<i>Manómetro de presión</i>	29
3.1.3.2.	<i>Pressuretrol</i>	30
3.1.3.3.	<i>McDonnell</i>	31
3.1.3.4.	<i>Válvulas de seguridad</i>	31
3.1.3.5.	<i>Válvula check</i>	32
3.2.	<i>Selección de técnicas, procedimientos, equipos y materiales para el mantenimiento del caldero</i>	32
3.2.1.	<i>Inspección visual</i>	32
3.2.2.	<i>Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM)</i>	33
3.2.2.1.	<i>Identificación los principales sistemas del caldero y definir funciones</i>	33
3.2.2.2.	<i>Falla:</i>	37
3.3.	<i>Implementación del mantenimiento correctivo</i>	43
3.3.1.	<i>Mantenimiento correctivo</i>	43
3.3.1.1.	<i>Cambió de tubería:</i>	43
3.3.1.2.	<i>Cambio del McDonnell</i>	44
3.3.1.3.	<i>Cambio del quemador industrial</i>	45
3.3.1.4.	<i>Reprogramación de PLC</i>	46
3.3.1.5.	<i>Cambio del visor del nivel agua</i>	49
3.3.1.6.	<i>HMI Simatic Basic Panel KTP700</i>	50
3.3.1.7.	<i>Cambio de bomba de agua</i>	51
3.4.	<i>Pruebas de funcionamiento y ajustes en la operación</i>	52

3.4.1.	Prueba hidrostática	52
3.4.1.1.	<i>Preparación</i>	52
3.4.1.2.	<i>Llenado</i>	53
3.4.1.3.	<i>Drenaje</i>	54
3.4.2.	Pruebas de funcionamiento del caldero	54
3.4.2.1.	<i>Encendido del caldero</i>	55
3.4.2.2.	<i>Ubicación del caldero de 2 BHP en la Facultad de Mecánica</i>	59
3.4.2.3.	<i>Instalación del tanque cisterna y la línea de succión de agua</i>	60
3.4.2.4.	<i>Instalación del perímetro de seguridad en el caldero</i>	63
3.4.2.5.	<i>Prueba 1 válvula de vapor abierta totalmente</i>	65
3.4.2.6.	<i>Prueba 2 válvula de desfogue de vapor 1/2 abierta</i>	66
3.4.2.7.	<i>Prueba 3 válvula de desfogue vapor 1/4 abierta</i>	67
3.5.	Manual de operación para el caldero:	68
3.5.1.	Información general	68
3.5.1.1.	<i>Introducción</i>	68
3.5.2.	Seguridad	70
3.5.3.	Instrucciones para el correcto uso del caldero	70
3.5.4.	Instrucciones previas a la operación de equipo	71
3.5.5.	Instrucciones para el control de nivel de agua (McDonnell)	71
3.5.6.	Instrucciones de operación de la pantalla Touch	71
3.5.7.	Instrucciones para el sistema de ignición del caldero	73
3.5.8.	Procedimiento para arranque seguro del caldero:	73
3.5.9.	Procedimiento para operar el caldero:	73
3.5.10.	Apagado del equipo:	74
3.5.11.	Limpieza del equipo:	74
3.5.11.1.	<i>La purga:</i>	74
3.5.11.2.	<i>Limpieza química de calderos:</i>	74
3.5.11.3.	<i>Limpieza de los tubos:</i>	75
3.6.	Plan de mantenimiento del caldero de 2 BHP	75
3.6.1.	Estrategias para la elaboración del plan de mantenimiento	75
3.6.2.	Cronograma de mantenimiento	76
3.6.3.	Logística de mantenimiento	76
3.6.4.	Documentación de mantenimiento	77
3.6.4.1.	<i>Documentación de la fase operativa</i>	77
3.6.4.2.	<i>Histórico de mantenimiento</i>	78
3.6.4.3.	<i>Ficha técnica</i>	78
3.6.4.4.	<i>Orden de trabajo</i>	78

3.6.5.	<i>Plan de mantenimiento</i>	78
3.6.6.	<i>Cronograma de mantenimiento</i>	79

CAPÍTULO IV

4.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	83
4.1.	Resultados del análisis técnico inicial	83
4.2.	Inspecciones de mantenimiento	90
4.3.	Resultado de la instalación de agua	90
4.4.	Resultado del mantenimiento correctivo	96
4.5.	Resultado de las pruebas de funcionamiento del caldero	98
4.5.1.	<i>Volumen de agua del caldero</i>	98
4.5.2.	<i>Válvula de desfogue totalmente abierta</i>	99
4.5.3.	<i>Válvula de desfogue de vapor abierta ½</i>	100
4.5.4.	<i>Válvula de desfogue de vapor abierta ¼</i>	101
4.5.5.	<i>Resultados de cálculo de la calidad de vapor</i>	102
4.6.	Costos	104

CAPÍTULO V

5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	106
5.1.	Conclusiones	106
5.2.	Recomendaciones	107

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1:	Características de los calderos	9
Tabla 3-1:	Especificaciones de bomba de agua.....	20
Tabla 3-2:	Código de área del Laboratorio de Procesos Industriales.....	33
Tabla 3-3:	Codificación de área de generación de vapor.....	33
Tabla 3-4:	Ficha técnica del caldero pirotubular vertical	34
Tabla 3-5:	Contexto operacional del caldero pirotubular	35
Tabla 3-6:	Hoja de información del caldero	38
Tabla 3-7:	Hoja de criticidad del caldero	41
Tabla 3-8:	Lista de resultados de criticidad de componentes	42
Tabla 3-9:	Código de personal especialista	42
Tabla 3-10:	Accesorios para la instalación del tanque cisterna	60
Tabla 3-11:	Materiales y equipos para la instalación de la cámara de protección	64
Tabla 3-12:	Datos de prueba 1 válvula de vapor totalmente abierta	65
Tabla 3-13:	Datos de prueba 2 válvulas de vapor mitad abierta	66
Tabla 3-14:	Datos de prueba 3 válvulas de vapor un cuarto abierto	67
Tabla 3-15:	Datos técnicos caldero	69
Tabla 3-16:	Formato de la tabla para actividades de mantenimiento.....	75
Tabla 3-17:	Formato de la tabla para el cronograma de actividades de mantenimiento.....	76
Tabla 3-18:	Formato de la tabla para la logística del mantenimiento	77
Tabla 3-19:	Plan de mantenimiento del caldero	79
Tabla 3-20:	Cronograma de mantenimiento del caldero.....	80
Tabla 3-21:	Logística de mantenimiento del caldero.....	81
Tabla 4-1:	Frecuencia de fallas	83
Tabla 4-2:	Impacto operacional.....	84
Tabla 4-3:	Flexibilidad operacional.....	84
Tabla 4-4:	Costo de mantenimiento	84
Tabla 4-5:	Impacto seguridad, ambiente e higiene	84
Tabla 4-6:	Gravedad.....	85
Tabla 4-7:	Ocurrencia	85
Tabla 4-8:	Rango de criticidad	86
Tabla 4-9:	Resultados de componentes críticos en el sistema mecánico	87
Tabla 4-10:	Resultado de componentes críticos en el sistema eléctrico	89
Tabla 4-11:	Resultado de componentes críticos en el sistema de control	90
Tabla 4-12:	Lista de componentes para inspeccionar	90

Tabla 4-13:	Lista de accesorios de ingreso para la bomba de agua	91
Tabla 4-14:	Lista de accesorios a la salida de la bomba de agua.....	91
Tabla 4-15:	Resultado del cálculo de pérdidas en la tubería y accesorios al ingreso	93
Tabla 4-16:	Resultado del cálculo de pérdidas en la tubería y accesorios a la salida.....	95
Tabla 4-17:	Listado de componentes y accesorios reemplazados en el caldero.....	96
Tabla 4-18:	Resultados de pruebas funcionamiento válvula de vapor totalmente abierta.....	99
Tabla 4-19:	Resultados de consumo en pruebas con válvula de vapor totalmente abierta....	99
Tabla 4-20:	Resultados de pruebas de funcionamiento válvula de vapor abierta la mitad..	100
Tabla 4-21:	Resultados de consumo en pruebas con válvula de vapor abierta la mitad.....	100
Tabla 4-22:	Resultados de pruebas de funcionamiento válvula de vapor abierta un cuarto	101
Tabla 4-23:	Resultados de consumo en pruebas con válvula de vapor abierta un cuarto....	101
Tabla 4-24:	Estado de volumen específico.....	103
Tabla 4-25:	Costo de mantenimiento Correctivo.....	104
Tabla 4-26:	Costo de instalación del agua.....	105
Tabla 4-27:	Costo de instalación de valla de seguridad y salida de vapor	105
Tabla 4-28:	Costo total de puesta en marcha del caldero	105

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 2-1:	Caldero vertical.....	4
Ilustración 2-2:	Caldera acuotubular	6
Ilustración 2-3:	Caldera pirotubular	7
Ilustración 2-4:	Esquema de representación de eficiencia térmica	15
Ilustración 3-1:	Caldero pirotubular.....	19
Ilustración 3-2:	Especificación de bomba de agua	20
Ilustración 3-3:	Rodete de la bomba de agua	21
Ilustración 3-4:	Control de nivel de agua	21
Ilustración 3-5:	Tubería de entada de agua.....	22
Ilustración 3-6:	Tubos de calor	22
Ilustración 3-7:	Quemador	23
Ilustración 3-8:	Cuerpo del caldero.....	23
Ilustración 3-9:	Hogar del caldero.....	24
Ilustración 3-10:	Panel de control	24
Ilustración 3-11:	PLC SIMATIC S7-1200	25
Ilustración 3-12:	Pantalla HMI KTP600	26
Ilustración 3-13:	Pt 100.....	26
Ilustración 3-14:	Transmisor de temperatura DAT2065.....	27
Ilustración 3-15:	Sistema de ignición.....	27
Ilustración 3-16:	Botoneras de trabajo	28
Ilustración 3-17:	Manómetro	30
Ilustración 3-18:	Pressuretrol	30
Ilustración 3-19:	McDonnell.....	31
Ilustración 3-20:	Válvula de alivio de presión	31
Ilustración 3-21:	Válvula check	32
Ilustración 3-22:	Caldero pirotubular.....	32
Ilustración 3-23:	Accesorios	43
Ilustración 3-24:	McDonnell nuevo	44
Ilustración 3-25:	Quemador industrial de 3 llaves.....	45
Ilustración 3-26:	PLC reprogramado.....	46
Ilustración 3-27:	Secuencia de encendido	46
Ilustración 3-28:	Secuencia de proceso	47
Ilustración 3-29:	Tabla de valores de trabajo	47
Ilustración 3-30:	Tabla de variables de trabajo	48

Ilustración 3-31:	Entorno de trabajo de pantalla	48
Ilustración 3-32:	Visor de nivel de agua	49
Ilustración 3-33:	Nueva interfaz de usuario	50
Ilustración 3-34:	Especificaciones de bomba de agua reemplazada	51
Ilustración 3-35:	Preparación del caldero.....	52
Ilustración 3-36:	Llenado de agua al caldero	53
Ilustración 3-37:	Revisión de nivel de agua	53
Ilustración 3-38:	Vaciado del hogar del caldero.....	54
Ilustración 3-39:	Pantalla inicial de la pantalla Siemens	55
Ilustración 3-40:	Interfaz de control del caldero	55
Ilustración 3-41:	Verificación de funcionamiento de bomba de agua	56
Ilustración 3-42:	Interfaz en funcionamiento de pantalla de control del caldero	56
Ilustración 3-43:	Funcionamiento del quemador de gas.....	57
Ilustración 3-44:	Presión de funcionamiento del manómetro	57
Ilustración 3-45:	Indicador de presión de trabajo en la pantalla	58
Ilustración 3-46:	Control de presión de trabajo.....	58
Ilustración 3-47:	Generación de vapor de trabajo en el caldero	59
Ilustración 3-48:	Ubicación del caldero junto al Gasificador	60
Ilustración 3-49:	Diagrama de instalación de cisterna de agua.....	63
Ilustración 3-50:	Instalación de carama de protección del caldero	65
Ilustración 3-51:	Prueba 1 válvula de vapor totalmente abierta	66
Ilustración 3-52:	Prueba 2 válvula de vapor abierta a la mitad	67
Ilustración 3-53:	Prueba 3 válvulas de vapor un cuarto abierto.....	68
Ilustración 3-54:	Partes del control de nivel de agua del caldero	71
Ilustración 3-55:	Control inicial llenado de agua del caldero	72
Ilustración 3-56:	Control inicial de funcionamiento de bomba de agua	72
Ilustración 4-1:	Esquema de acometida de ingreso de agua a cisterna	91
Ilustración 4-2:	Dimensiones de cámara de agua del caldero.....	98
Ilustración 4-3:	Resultado de pruebas con válvula totalmente abierto.....	100
Ilustración 4-4:	Resultado de pruebas con válvula abierta la mitad.....	101
Ilustración 4-5:	Resultados de pruebas con válvula a un cuarto de apertura	102
Ilustración 4-6:	Tabla de presiones - agua saturada.....	103

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: FICHA TÉCNICA DE MCDONNELL SERIE 64

ANEXO B: FICHA TÉCNICA DE VÁLVULA DE SEGURIDAD S10 DE MEDIA
PULGADA

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

ASME: American Society of Mechanical Engineers

UNE: Una Norma Española

EPP: Equipo de protección personal

RESUMEN

En el presente trabajo de integración curricular, se realizó la puesta en operación de un caldero de 2 BHP de la Facultad de Ciencias, determinando el estado técnico y funcionamiento del equipo antes de la reparación, se realiza un análisis a las fallas en cada componente, lo que llevó a la mejora de generación de vapor. Para monitorear al activo se elaboró un plan de mantenimiento basado en el RCM, metodología que se utiliza para mejorar la confiabilidad y el rendimiento del equipo industrial, y juntamente con las recomendaciones y estandarizaciones de la norma SAE JA1011 para optimizar la gestión del mantenimiento y aumentar la eficiencia operativa. Se determinaron los componentes críticos, incluyen la producción de vapor a una presión y temperatura específicas, como la prevención de fallas que pudieran causar paradas no planificadas a través de una matriz de criticidad, se determinaron las tareas de mantenimiento que debían llevarse a cabo para prevenir fallas identificadas. Estas tareas incluyeron inspecciones periódicas, reemplazo de componentes desgastados y ajustes de parámetros operativos. El proceso de reparación se realizaron ensayos de funcionamiento y pruebas de presión de trabajo, las pruebas definidas dentro el código ASME B31.3 para tuberías a presión que encuentran las especificaciones para pruebas no destructivas para garantizar la función requerida y asegurar el cumplimiento de los estándares de seguridad y rendimiento. Los resultados obtenidos se los puede evidenciar en el estado físico de cada elemento que conforma el caldero, pues en calidad de vapor se genera un 99%. El plan mantenimiento realizado han permitido obtener un análisis más exacto del comportamiento del equipo. Se recomienda efectuar las tareas de mantenimiento propuestas para mantener la función requerida de los sistemas y subsistemas del caldero y leer su manual de operación antes y durante de cada práctica.

Palabras clave: <CALDERO PIROTUBULAR> <ANÁLISIS DE LOS MODOS DE FALLA> <PLAN DE MANTENIMIENTO> <ANÁLISIS DE CRITICIDAD> <GESTIÓN DE MANTENIMIENTO>



SUMMARY

In the present work of curricular integration, the commissioning of a 2 BHP boiler the Science Faculty was carried out, determining the technical state and operation of the equipment before the repair, an analysis of the failures in each component was carried out, which led to the improvement of steam generation. A maintenance plan was developed based on the RCM to monitor the asset. This methodology is used to improve the reliability and performance of industrial equipment, together with the recommendations and standardizations of the SAE JA1011 standard, to optimize maintenance management and increase operational efficiency. The critical components were determined, including the production of steam at a specific pressure and temperature, preventing failures that could cause unplanned stops through a criticality matrix, and the maintenance tasks that had to be carried out to prevent identified failures. These tasks included periodic inspections, replacement of worn components, and adjustments of operating parameters. The repair process included functional tests and working pressure tests, defined within the ASME B31.3 code for pressure pipes that meet the specifications for non-destructive testing to guarantee the required function and ensure compliance with safety and performance standards. The results can be seen in the physical state of each element that makes up the cauldron since 99% is generated as steam. The maintenance plan has allowed us to obtain a more exact analysis of the equipment's behavior. It is recommended that the proposed maintenance tasks be carried out to maintain the required function of the boiler systems and subsystems and read the operation manual before and during each practice.

Keywords: <PIROTUBULAR BOILER> <FAULT MODE ANALYSIS> <MAINTENANCE PAN> <CRITICALITY ANALYSIS> <MAINTENANCE MANAGEMENT>



Lic. Sandra Leticia Guijarro Paguay

C.I.: 0603366113

INTRODUCCIÓN

Un caldero es una máquina diseñada que genera vapor, mismo que se produce por la transferencia de calor a presión constante, dónde el fluido en estado líquido se calienta y su estado cambia. Dentro de la industria el vapor tiene múltiples aplicaciones: la esterilización, calentamiento de fluidos, generación eléctrica, entre otros (Castillo & Chimbo, 2018).

Los calderos pirotubulares aparecen en la industria hace más de un siglo, y su evolución ha ido constante al desarrollo técnico. Las primeras consistían en simples recipientes cilíndricos remachados y hermetizados, a los cuáles se insertaban las tuberías de suministro de agua y extracción de vapor, el calentamiento se efectuaba externamente mediante la quema de carbón o leña situados debajo de éstos (Lapido & Vidal, 2015).

La operación que tiene el caldero no debe presentar fallas debido a que es una máquina muy empleada dentro de la industria, por lo tanto, el mantenimiento debe ser una actividad permanente y bien controlada que al desarrollar el plan de mantenimiento permita que el caldero funcione con un mínimo de paradas en producción, que los costos de operación sean mínimos y su funcionamiento sea seguro.

La función del caldero es la transferencia de calor, producida generalmente al quemarse un combustible, misma que se entrega al agua contenida o que circula dentro de un recipiente metálico para generar vapor o agua caliente a determinada presión y temperatura (Severns, Degler, & Miles, 1975).

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

1.1. Planteamiento del problema

Entre los requerimientos de formación de los estudiantes de la Facultad de Ciencias están los conocimientos de generación de vapor y los principios termodinámicos, los cuáles se vienen impartiendo de forma teórica. En el Laboratorio de Procesos Industriales dónde existe un caldero que por diversas razones no se encuentra en condiciones operativas, por lo que se requiere un diagnóstico del estado técnico actual, para plantear un proceso de recuperación para alcanzar condiciones óptimas y seguras de funcionamiento e integrarse como parte de las prácticas del sector de estudiantes de la facultad. Teniendo en cuenta la necesidad que en la Facultad de Ciencias se cuente con un caldero en óptimas condiciones para que el aprendizaje de los estudiantes no sea sólo de manera teórica, sino que sean prácticos.

1.2. Justificación

Comprendiendo que la educación se enfrenta a múltiples avances tecnológicos es inevitable que la Facultad de Ciencias delimite diferentes tipos de aprendizaje ya que es de gran importancia en la formación de los estudiantes en el ámbito profesional.

El desarrollo del proyecto de rehabilitación del caldero de 2 BHP de la Facultad de Ciencias busca abastecer las demandas de vapor que requiere el laboratorio, mejorando el proceso de generación del mismo de tal manera que permita llevar a cabo las pruebas para los cuales está destinado y brinde la posibilidad de realizar experimentos que se proyecten en el futuro, permitiendo realizar los ensayos de manera eficiente y eficaz, mejorando así el proceso enseñanza aprendizaje.

El mantenimiento desarrolla una serie de acciones programadas que se establecen en el tiempo de vida de servicio del equipo, estas acciones se realizan para revelar, evitar o debilitar la degradación y extender la vida del equipo. Muchos de los factores de calidad en la industria están sostenidos y respaldados por el buen funcionamiento de sus equipos y sistemas; al reducir los riesgos de falla en la maquinaria y riesgos laborales; elevando la eficiencia en su proceso y por ende el tiempo que se mantendrá fuera de servicio del equipo.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Realizar el mantenimiento correctivo y poner en operación el caldero de 2 BHP de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH.

1.3.2. Objetivos específicos

- Realizar el diagnóstico técnico actual del caldero del Laboratorio de Procesos Industriales.
- Seleccionar técnicas, procedimientos, equipos y materiales para el mantenimiento del caldero de 2BHP.
- Implementar el mantenimiento correctivo del caldero de 2BHP.
- Realizar pruebas de funcionamiento y ajustes en la operación del caldero de 2BHP.
- Elaborar un manual de operación y mantenimiento.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Caldero

Los calderos son equipos cerrados compuestos por una cámara de agua y una cámara de vapor, diseñados para generar vapor a presión y son ampliamente utilizados en procesos industriales o de calefacción y de generación de energía. El vapor generado en una caldera puede ser utilizado para calentar edificios, generar electricidad, producir vapor para procesos técnicos, entre otras aplicaciones.

Los calderos funcionan en base a la transferencia de calor mediante la combustión de gas, el petróleo o el carbón, que liberan energía térmica y hacen que el agua se caliente y se convierta en vapor. Los calderos pueden ser de diferentes tipos, tamaños y capacidades, y se clasifican según su diseño y características de operación. Es importante que el líquido contenido en la caldera debe cumplir ciertas condiciones de operación para que la entrega del vapor o agua caliente cumplan ciertas condiciones específicas de temperatura, presión y calidad (Lapido & Vidal, 2015).



Ilustración 2-1: Caldero vertical

Fuente: Calderas, 2023.

Estos calderos son de acero laminado debido a que realizan su trabajo a baja presión y que especialmente son intercambiadores de calor donde el líquido tiene diferentes estados o fases.

2.2. Tipos de calderos

Los calderos se las pueden clasificar por el contenido de los tubos y la forma de ingreso de calor a ellos, éstas son: piro tubulares o acuotubulares. Sin embargo, también se pueden clasificar según su uso, siendo portátiles o estáticas, o según la presión que generan, que puede ser mínima, baja o para generación de fuerza (Lapido & Vidal, 2015).

Además, existen varios tipos de calderos, entre ellos se encuentran:

- Calderos de tubos de humo: son las más comunes y se utilizan en aplicaciones comerciales e industriales. Consisten en un recipiente de metal con tubos que se calientan con el fuego y producen vapor:
- Calderos acuotubulares: son similares a las calderas de tubos de humo, pero los tubos están llenos de agua en lugar de gases calientes. Estos tipos de calderas se utilizan a menudo en plantas de energía y aplicaciones industriales.
- Calderos de recuperación de calor: aprovechan el calor residual de otros procesos industriales para generar vapor. Se utilizan comúnmente en la industria química y petroquímica.
- Calderos eléctricos: utilizan electricidad en lugar de combustibles fósiles para producir vapor. Son más limpias y fáciles de operar, pero también pueden ser más costosas de operar.
- Calderos de biomasa: utilizan materiales orgánicos renovables como madera, paja o desechos agrícolas como combustible para producir vapor. Estas calderas son cada vez más populares debido a su bajo impacto ambiental y a la creciente demanda de energía renovable.

Para el estudio del proyecto se basa fundamentalmente en el principio de funcionamiento, entonces tenemos dos tipos de calderos:

2.2.1. Calderos de tubos de agua o acuotubulares

Son calderos en la que los gases de combustión circulan por el exterior de tubos llenos de agua que se encuentran dentro de la caldera, la cantidad y disposición de los mismos varían según el diseño, el agua se calienta a medida que circula a través de los tubos que se encuentran dentro de la caldera, y se convierte en vapor. Este vapor se utiliza para generar energía eléctrica o para proporcionar calor en procesos industriales.

Las calderas acuotubulares, se utilizan comúnmente en la industria química, petroquímica, papelera y alimentaria, entre otras.



Ilustración 2-2: Caldera acuotubular

Fuente: Calderas, 2023.

El caldero en general tiene grandes dimensiones para que logre absorber más cantidad de calor y esta capacidad está determinada por el largo y el ancho de la cámara de combustión. Debido al poco contenido de agua en relación con la superficie de calefacción y la circulación eficiente del líquido, estos calderos alcanzan rápidamente las condiciones normales de funcionamiento.

La ventaja que tiene el caldero acuotubular es que está diseñado para producir grandes cantidades de vapor que son expuestas a altas presiones y el vapor generado por estos equipos son utilizados básicamente para potencia como el movimiento de máquinas y turbinas.

2.2.2. Caldero piro-tubular

Debido a que los calderos antiguos necesitaban refuerzos muy grandes se construyen los calderos piro-tubulares para que el caudal de los gases residuos por la combustión se reparta en gran número de tubos de limitado diámetro por el que pasan el agua del caldero. Las composiciones de estas máquinas son influidas por menester de transferencia térmica para extraer del combustible la gran parte del calor.

Tienen un diseño en el que los gases de combustión son forzados a circular por el interior de unos tubos inmersos en una cantidad de agua, que a su vez está contenida en una carcasa exterior. Durante su recorrido por los tubos, los gases ceden calor al agua, transfiriéndolo a través de los tubos para su uso en diversos procesos industriales.



Ilustración 2-3: Caldera pirotubular

Fuente: Calderas, 2023.

2.2.2.1. Ventajas del caldero pirotubular:

- Menor costo inicial debido a su simplicidad de diseño.
- Mayor flexibilidad de operación
- Menores exigencias de pureza en el agua de alimentación.

2.2.2.2. Desventajas del caldero pirotubular:

- Mayor tamaño y peso.
- Mayor tiempo para subir presión y entrar en funcionamiento.
- No son empleados en altas presiones.

2.3. Partes de los calderos pirotubulares

Los calderos pirotubulares están compuestas:

- Cuerpo del caldero
- Quemador
- Accesorios de control
- Accesorios de seguridad y equipos auxiliares

2.3.1. Cuerpo del caldero pirotubular.

Es la estructura externa de la caldera que contiene el tanque de agua y el hogar.

2.3.2. Hogar:

Es la zona donde ocurre la combustión.

2.3.3. Manómetro:

Es un instrumento de medición de presión que se ubica generalmente en la parte superior de la carcasa.

2.3.4. Indicador de nivel de agua:

Permite verificar el nivel de agua dentro del tanque de la caldera y se ubica en la parte superior de la carcasa.

2.3.5. Válvula de seguridad:

Se abre cuando la presión dentro de la caldera excede su límite y evita que la caldera estalle por exceso de presión. Las calderas pirotubulares suelen contar con dos válvulas de seguridad.

2.3.6. Válvula de parada de vapor:

Permite controlar el vapor para mantenerlo en los límites deseados.

2.3.7. Válvula de retención de alimentación:

Permite la alimentación de agua a la caldera y evita que el agua salga del tanque de la caldera.

2.3.8. Caja de humos:

Es la zona donde se encuentran los tubos por los que pasan los gases de combustión que luego son dirigidos a la chimenea.

2.3.9. Chimenea:

Es el conducto por donde salen los gases de combustión de la caldera.

2.3.10. Cámara de vapor:

Es donde se almacena el vapor de agua que es dirigido por tuberías fuera de la caldera (Lapido & Vidal, 2015).

Tabla 2-1: Características de los calderos

Tipo de caldero		Presión Máxima (psi)	Producción Max. Nominal Vapor (Kg/h)	Superficie de Calefacción (m ²)	Coefficiente de evaporación (Kg/h m ²)
PIROTUBULAR	Hogar exterior	10	3500	22-30	dic-15
	Escocesa	18	15000	10-600	18-25
	Tambores	15	2500	10-120	17-22
	Mixta	10	20000	700	30-32
	Tambores	10 15	1600	4-100	15
ACUOTUBULAR	Tubos rectos	100	230000	25-23000	20-100
	Tubos curvos	225	2000000	mayor a 100	20-600
	Cir. forzada	225	225000 y más		hasta 300

Fuente: (Castillo & Chimbo, 2018).

Realizado por: Colcha, F., Tonato, J., 2023.

2.4. Generador de vapor

Equipo utilizado como intercambiador de calor que almacena un fluido de trabajo presurizado. En general, el uso de vapor como fluido térmico presenta varias ventajas, tales como su fácil disponibilidad en entornos industriales y bajo costo. Además, el vapor tiene una alta capacidad calorífica por unidad de masa, lo que lo hace muy eficiente para su uso en diversas aplicaciones. Gracias a los avances tecnológicos, se ha logrado obtener una amplia gama de temperaturas y presiones para su uso en diversos procesos industriales, que van desde el calentamiento de agua a 40 °C hasta la generación de vapor sobrecalentado a más de 370 °C (Bizzo, 2003).

2.5. Parámetros para la selección de calderos

2.5.1. Carga térmica (Q)

La carga térmica aprovechada por el agua para lograr su evaporación y sobrecalentamiento a una temperatura específica se puede evaluar con precisión utilizando el diagrama T-s, considerando la condición inicial y final del agua. La entalpía es la medida práctica para evaluar la carga térmica de la caldera, y se determina a través de la diferencia de entalpía entre el estado final e inicial del agua.

2.5.2. Vapor normal (Vn)

Es la cantidad de masa de vapor que se obtiene a partir de la vaporización de agua a 100°C y su posterior elevación de temperatura en condiciones de saturación a nivel del mar. Es importante destacar que para producir un kilogramo de vapor normal se requiere una cantidad de calor latente de vaporización de agua de 2.257 kJ/Kg.

2.5.3. Capacidad de vaporización de una caldera

Es la capacidad de un generador de vapor en Kg/hr (lb/hr) indicando la presión de trabajo y la temperatura de ingreso del agua. Pero como las calderas trabajan a presiones diferentes unas con otras, así como temperaturas de ingreso de agua, surge como una forma de expresar la energía del equipo en HP de Caldero (Borroto & Rubio, 2007).

2.5.4. HP de la caldera

Según la ASME (American Society of Mechanical Engineers), es la cantidad de calor necesaria para evaporar 34.5 libras (15.65 Kg) de agua por hora, partiendo de una temperatura de 212°F (100°C) a presión atmosférica.

En términos numéricos, esto equivale a:

$$1 \text{ BHP} = 34\,475 \text{ BTU/hr.}$$

$$1 \text{ BHP} = 9.81 \text{ kW.}$$

Es una unidad de medida que indica la cantidad de calor necesaria para evaporar 34.5 libras de agua por hora a partir de 212°F. Es importante tener en cuenta que esta unidad de medida puede variar según la capacidad de la caldera, ya que depende de la presión y temperatura del agua al ingreso.

Se utiliza el BHP de caldera para designar el tamaño de una caldera según su superficie de calefacción, ASME estable que la superficie de calefacción de 5 pies cuadrados generaba 34.5 lb/h de vapor en las calderas.

En resumen, el HP de caldera es una medida útil para comparar diferentes calderas y determinar su capacidad de generación de vapor.

2.5.5. Eficiencia térmica de una caldera

Es el porcentaje de calor total suministrado por el combustible que es cedido al agua, esto es: beneficio / gasto.

2.5.6. Superficie de calefacción

Según el reglamento oficial alemán, la superficie de calefacción de una caldera es el área de la superficie medida del lado del fuego de las paredes expuestas a los gases de combustión y del lado en contacto con el agua. Por su parte, la ASME define la superficie de calefacción como la parte expuesta a los gases por un lado y al líquido calentado por otro, dentro de la superficie de transmisión de calor del generador de vapor.

En la actualidad, se emplea un valor de entre 3.5 y 5 pies cuadrados por BHP como medida de la superficie de calefacción. En el caso de calderas verticales, se usa un valor de 3.5 pies cuadrados por BHP, mientras que para calderas horizontales se usa un valor de 5 pies cuadrados por BHP. Este último valor se ha adoptado debido a que permite lograr una vida útil prolongada en proporción a la capacidad de transferencia de calor de la superficie (Borroto & Rubio, 2007).

2.6. Mantenimiento

El mantenimiento se define como la combinación de acciones técnicas, administrativas y de gestión realizadas a lo largo del ciclo de vida de un elemento con el objetivo de conservarlo o restaurarlo a un estado en el que pueda desempeñar su función requerida, según la norma UNE-EN 13306 de 2018. Debido a la naturaleza de los fallos, el mantenimiento puede resultar difícil de programar y las actividades pueden presentar complejidad en la elaboración de estándares de trabajo y medición de tiempos.

Además, las tareas pueden variar en función de pocas variables, lo que hace necesaria la aplicación de nuevos métodos y cambios en el tiempo de trabajo. A pesar de estas particularidades, el mantenimiento sigue siendo crucial en la gestión empresarial.

2.6.1. Tipos de mantenimiento

En calderos el mantenimiento puede ser de tres tipos: Predictivo, preventivo, correctivo. La norma EN 13306:2018 establece una división del mantenimiento en dos categorías principales:

- **Mantenimiento preventivo:** Esta categoría de mantenimiento se realiza a intervalos predeterminados o según criterios específicos, con el fin de reducir la probabilidad de fallas o la degradación del funcionamiento de un elemento.
- **Mantenimiento correctivo:** Este tipo de mantenimiento se realiza después de detectar una avería y tiene como objetivo dejar un elemento en un estado en el que pueda cumplir con la función requerida.

2.6.2. *Objetivos del mantenimiento*

El mantenimiento tiene como objetivos principales reducir los costos y el tiempo ocioso de los trabajadores de mantenimiento y trabajadores generales, causados por las paradas, además de mejorar la utilización de los recursos para las actividades de mantenimiento, como herramientas y mano de obra, y permitir una correcta coordinación y supervisión de las actividades planificadas. También se busca mejorar la capacidad de cumplimiento de la empresa, logrando un alto índice, que es la razón entre el volumen de producción práctica en calidad y plazo, y la capacidad de producción teórica (Rey, 2002).

2.7. *Mantenimiento correctivo*

El mantenimiento correctivo es un conjunto de acciones dirigidas a corregir una falla en un equipo después de que ha ocurrido o al menos después de que se ha iniciado el proceso que conducirá a la falla. Este tipo de mantenimiento conlleva costos no presupuestados por reparaciones y reemplazo de piezas del equipo, ya que no se pueden planificar con anticipación debido a la naturaleza imprevisible de las fallas.

El objetivo principal del mantenimiento correctivo es restaurar el funcionamiento normal del equipo y reducir al mínimo el tiempo de inactividad. A diferencia del mantenimiento preventivo, el mantenimiento correctivo no se realiza de forma programada y puede generar costos imprevistos en reparaciones y repuestos.

2.8. *Eficiencia energética*

La eficiencia no se limita únicamente al ámbito de la ingeniería, sino que se utiliza frecuentemente en la construcción de edificios, el desarrollo de productos, la gestión empresarial, la economía y otros campos. En cada uno de estos campos, la noción de eficiencia puede ser interpretada de manera diferente, pero en la evaluación del rendimiento de calentadores de agua, las personas y

empresas adoptan soluciones eficientes, que están relacionados con factores como el aislamiento, el control de sistemas y la eficiencia de los sistemas de calefacción y refrigeración.

Además, se interpreta como la relación del rendimiento con la cantidad de energía que se consume en su producción. Para evaluarla, es importante contar con datos precisos sobre la cantidad de energía que entra y sale del sistema, lo que implica que estos valores deben ser cuantificables. En condiciones generales, la eficiencia energética implica a determinadas acciones que posibiliten la reducción de consumo de energía sin privarse del bienestar o función económica (Shove, 2017).

2.8.1. Factores que pueden incidir en la eficiencia energética

La humedad afecta la transferencia de calor tanto en forma sensible como latente, así como a través de la transferencia de masa. El efecto del contenido de agua depende del tipo de material aislante, la temperatura del material aislante y los entornos interiores y exteriores, el desempeño térmico del material aislante. La evaporación en el lado cálido y la condensación o adsorción en el lado frío añaden importantes componentes de calor latente al flujo de calor. Es importante tener en cuenta estos factores al seleccionar y aplicar materiales aislantes a fin de maximizar su rendimiento térmico y garantizar la eficiencia energética a largo plazo.

En situaciones en las que los gradientes de presión del vapor de agua cambian lentamente o en las que la capa de aislamiento tiene una permeabilidad al vapor de agua extremadamente baja, el transporte de vapor de agua es limitado. Sin embargo, incluso en estos casos, la humedad puede afectar la transferencia de calor sensible en los componentes de la coraza de la caldera.

El aumento del contenido de humedad en los aislamientos resulta en un aumento casi lineal de la transferencia de calor sensible, de aproximadamente 3 a 5% por cada porcentaje de aumento en volumen en el contenido de humedad. Por ejemplo, un material aislante con aproximadamente un 5% de contenido de humedad por volumen puede tener entre un 15 y un 25% más de transferencia de calor que cuando está seco (Owen, 2021).

2.8.1.1. Eficiencia térmica

Es la relación efectiva entre la entrada o ingreso de calor, y la cantidad que se convierte en trabajo total o neto, la energía térmica que se convierte en trabajo útil, lo mide en términos de desempeño que ofrece el funcionamiento de una máquina térmica. Cuanto mayor sea la eficiencia térmica, menor será la cantidad de energía que se pierde en forma de calor residual.

Es por lo que la eficiencia térmica es un factor importante en la evaluación de la calidad y el rendimiento de los sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado (HVAC) y otros sistemas térmicos. La eficiencia térmica es un indicador clave del desempeño energético de un sistema térmico y es fundamental para garantizar un uso eficiente y sostenible de la energía (Cengel & Boles, 2019).

$$n_{\text{term}} = \frac{W_{\text{salida neta}}}{Q_{\text{entrada}}}$$

Dónde:

n_{term} : Eficiencia térmica [%]

$w_{\text{salida neta}}$: Salida neta de trabajo [kW]

Q_{entrada} : Entrada de calor total [kW]

Los dispositivos cíclicos, como los refrigeradores, las bombas de calor y las máquinas térmicas, funcionan utilizando dos medios a diferentes temperaturas: uno con una temperatura alta T_H y otro con una temperatura baja T_L . Para describir el rendimiento de estos dispositivos, se utilizan dos conceptos clave: Q_H , que es la cantidad de calor que fluye entre el dispositivo y el medio a alta temperatura, y Q_L , que es la cantidad de calor que fluye entre el dispositivo y el medio a baja temperatura.

Q_H y Q_L son importantes porque nos permiten evaluar la eficiencia de estos dispositivos en la transferencia de calor entre los dos medios. Una mayor cantidad de calor que fluye de T_H a T_L indica una mayor eficiencia en la transferencia de calor. Por lo tanto, para maximizar la eficiencia, es importante diseñar estos dispositivos para que sean capaces de transferir la mayor cantidad de calor posible de T_H a T_L .

La proporción de calor entre los medios de alta y baja temperatura es fundamental para el funcionamiento y la eficiencia de los dispositivos cíclicos. Por lo tanto, es importante comprender y controlar la transferencia de calor en estos sistemas para maximizar su rendimiento y eficiencia energética (Cengel & Boles, 2019).

En el caso de las maquinas terminas la salida deseada es el trabajo neto y la entrada requerida es la cantidad de calor suministrada al fluido o sustancia del trabajo. Toda máquina térmica desperdicia cierta cantidad de calor suministrado

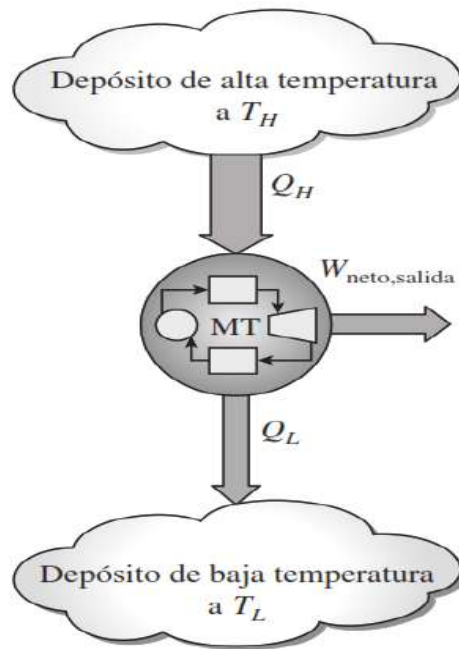


Ilustración 2-4: Esquema de representación de eficiencia térmica.

Fuente: (Cengel & Boles, 2019).

2.8.1.2. Eficiencia de un generador de vapor

De acuerdo con ASME existen dos métodos para medir la eficiencia de una caldera que genera vapor.

- Método directo. El método consiste en establecer la relación entre la cantidad de calor útil generada por un dispositivo y la cantidad de calor disponible proporcionada por la fuente de energía utilizada (un combustible). Para ello, se basa en los principios de la primera ley de la termodinámica, utilizando información detallada sobre el flujo de combustible y vapor en el sistema.

En otras palabras, este método se enfoca en cuantificar la eficiencia de un dispositivo o proceso termodinámico mediante el análisis de la cantidad de energía térmica producida y la cantidad de energía térmica disponible. Al considerar la energía disponible en la fuente de combustible, es posible determinar la eficacia del sistema en la transformación de la energía térmica en trabajo útil o aprovechable.

Es utilizado en la evaluación de procesos de combustión y generación de energía, y es esencial para comprender la eficiencia energética de los sistemas termodinámicos en general.

$$n_{gv} = \frac{\text{Calor utilizable}}{\text{Calor disponible}} = \frac{\dot{m}_v \cdot (h_g - h_l)}{\dot{m}_c \cdot \text{PCI}}$$

Dónde:

n_{gv} : Eficiencia del generador de vapor [%].

\dot{m}_v : Flujo másico del vapor de agua [Kg/h]

\dot{m}_c : Flujo másico del combustible utilizado [Kg/h].

PCI: Poder calorífico inferior del combustible. [kJ/Kg]

h_g : Entalpía del vapor [kJ/Kg]

h_l : Entalpía del agua de alimentación [kJ/Kg]

- Método indirecto: Es un procedimiento utilizado para evaluar el rendimiento de una caldera mediante el cálculo de las pérdidas de energía asociadas con su operación y la energía disponible del combustible. Este enfoque permite estimar la eficiencia térmica de la caldera, teniendo en cuenta los factores que pueden afectar su rendimiento, tales como la combustión, la convección, la radiación y la purga.

Para realizar el cálculo, se determinan las pérdidas de calor de la caldera a través de mediciones directas y cálculos indirectos de la energía térmica que fluye a través del sistema.

Se consideran factores como la cantidad de combustible utilizado, el flujo de aire y el calor generado por la combustión. También se tienen en cuenta las pérdidas por convección y radiación, así como las pérdidas de calor asociadas con el proceso de purga.

Una vez que se han evaluado estas pérdidas, se puede calcular el rendimiento térmico de la caldera utilizando la energía disponible del combustible. El resultado es una medida de la eficiencia de la caldera, y puede utilizarse para identificar oportunidades de mejora y optimización en el diseño y la operación del sistema (Morales, 2021).

$$n_{gvi} = 100 - \sum \% Q_{\text{pérdidas}}$$

Dónde:

n_{gvi} : Eficiencia del generador de vapor por método indirecto [%].

$\sum \% Q_{\text{pérdidas}}$: Porcentaje de pérdidas asociadas al funcionamiento del generador [%].

2.8.1.3. Eficiencia de combustibles

La eficiencia de un combustible es una medida de la cantidad de energía contenida en el combustible que se convierte en energía útil para realizar un trabajo. En términos generales, la eficiencia de un combustible se refiere a la cantidad de energía que se puede extraer de un combustible en relación con la cantidad total de energía que contiene. Esta medida se expresa comúnmente como un porcentaje y se utiliza para comparar diferentes tipos de combustibles y sistemas de combustión.

La eficiencia de un combustible puede verse influenciada por varios factores, como la tecnología utilizada para la combustión, el diseño del sistema de combustión, las características del combustible (como su contenido de humedad o impurezas) y la forma en que se utiliza la energía generada por la combustión.

En general, se considera que una mayor eficiencia de combustión es deseable, ya que significa que se está utilizando una mayor proporción de la energía contenida en el combustible para realizar un trabajo útil, lo que puede ayudar a reducir los costos y la huella de carbono de la operación.

2.9. Norma

Es un documento que establece requisitos técnicos para asegurar la calidad, seguridad, fiabilidad y compatibilidad de productos, procesos o servicios. Las normas pueden ser desarrolladas por organizaciones nacionales o internacionales, como ISO (Organización Internacional de Estandarización) o ANSI (Instituto Nacional Estadounidense de Estándares), y son adoptadas por empresas, organismos gubernamentales y otras organizaciones como un marco de referencia para sus actividades relacionadas con la ingeniería.

Las normas pueden cubrir una amplia variedad de temas, desde la calidad del aire y el agua, hasta la seguridad eléctrica, la gestión ambiental, el diseño de productos y sistemas, entre otros.

2.9.1. ASME

La norma ASME es una norma técnica desarrollada por la Sociedad Estadounidense de Ingenieros Mecánicos (ASME, por sus siglas en inglés) que establece requisitos y directrices para el diseño, fabricación, inspección, pruebas y mantenimiento de equipos e instalaciones mecánicas.

2.9.1.1. ASME SCD-1

La norma ASME SCD-1 es una norma publicada por la Sociedad Estadounidense de Ingenieros Mecánicos (ASME) que establece los requisitos para el diseño y la construcción de sistemas de almacenamiento de combustible, incluyendo los requisitos para los materiales, los componentes y los sistemas auxiliares. También se especifican los requisitos de ensayo, inspección y documentación necesarios para garantizar que se cumplan con los requisitos de seguridad y calidad necesarios para su operación segura y confiable.

Además de ser la norma de seguridad para calderas de vapor y calentadores de agua que establece requisitos para su diseño, construcción, inspección, prueba y mantenimiento. Su objetivo es garantizar la seguridad, eficiencia y confiabilidad de los equipos. Los requisitos de mantenimiento que establece la norma incluyen inspecciones periódicas para detectar y corregir cualquier defecto o desgaste en el caldero, control de la presión y la temperatura de operación, monitoreo de los dispositivos de seguridad y limpieza de los tubos y superficies de transferencia de calor.

2.9.1.2. ASME PTC 4

La norma ASME PTC 4-2013 es una norma técnica que establece los procedimientos y requisitos para la medición de la eficiencia de calderas y generadores de vapor. Esta norma establece los métodos de medición para determinar la eficiencia térmica de estos equipos, incluyendo la medición de la cantidad de energía que se consume y la cantidad de energía que se produce.

La norma incluye recomendaciones para el diseño y operación de calderos y generadores de vapor para mejorar su eficiencia térmica, reduce las emisiones de gases de combustión y mejora la seguridad operacional, es ampliamente utilizada en la industria de la generación de energía, es importante conocer la eficiencia de las calderas y generadores de vapor para mejorar su desempeño y reducir los costos de operación.

CAPÍTULO III

3. MANTENIMIENTO Y PUESTA EN OPERACIÓN DEL CALDERO PIROTUBULAR

3.1. Diagnóstico técnico

En este capítulo se realiza el diagnóstico técnico actual de los sistemas: mecánico, eléctrico y del sistema de mando y control que tiene el caldero, mediante el procedimiento RCM, que permite determinar cuáles son las tareas de mantenimiento adecuadas para el activo físico, y a su vez se pretende encender el equipo, pero en vista de que sus componentes se encuentran en un estado regular y faltan algunos elementos no se logra encender y se procede con el desmontaje de los elementos.



Ilustración 3-1: Caldero pirotubular

Realizado por: Colcha F., Tonato J., 2023.

3.1.1. Estado técnico inicial del sistema mecánico

El sistema mecánico del caldero se conforma por la bomba de agua, tuberías, tubos de calor, quemador, carcasa, hogar, aislamiento térmico. Cada una de éstas cumplen una función importante en la operación; si llegara a fallar una se puede perder la eficacia o acontecer accidentes considerables.

3.1.1.1. Bomba de agua

Las bombas de agua constituyen una parte importante dentro de la operación del caldero, su función es suministrar el fluido de trabajo y controla el nivel del mismo. El caldero posee una bomba de agua marca Pedrollo, y a continuación se describe las características del mismo.

Tabla 3-1: Especificaciones de bomba de agua

Parámetro	Especificación
Modelo	Pedrollo PKm 60
Altura máxima	40 m
Caudal máximo	40 l/min
Voltaje	110 v
Corriente	5.5 A
Potencia máxima	550 W
Capacitancia	25 μF

Realizado por: Colcha, F & Tonato, J. 2023.

En la siguiente ilustración se visualiza la placa informativa ubicada en la parte superior de la bomba.



Ilustración 3-2: Especificación de bomba de agua

Realizado por: Colcha F., Tonato J., 2023.

Se aplica inspección visual y se determina que la bomba internamente se encuentra con oxidación por lo que se debe limpiar cuidadosamente los conductos de agua y cada una de las partes de la bomba.



Ilustración 3-3: Rodete de la bomba de agua

Realizado por: Colcha F., Tonato J., 2023.

3.1.1.2. Tuberías

Es importante el mantenimiento a las tuberías, pues a medida que el tiempo pasa se evidencia deterioros, mostrando acumulación de desechos, oxidación y sedimentación. Cabe recalcar que las tuberías presentan problemas de obstrucción en menor y mayor grado, debido a que la bomba ha sido diseñada para transportar agua, sin embargo, en ella están restos de otros elementos que la contaminan.



Ilustración 3-4: Control de nivel de agua

Realizado por: Colcha F., Tonato J., 2023.

Se procede a aflojar las tuberías del caldero para una limpieza y observar si se encuentran en buen estado, estas tuberías se han ajustado con teflón y sellaplast por lo que resulta complejo el desmontaje y al conseguirlo se aprecia que tiene restos de oxidación y sedimentación.



Ilustración 3-5: Tubería de entada de agua

Realizado por: Colcha F., Tonato J., 2023.

3.1.1.3. Tubos de calor

Por medio de inspección visual se determina que los tubos de calor tienen hollín y óxido alojado en la tubería por lo que requiere un mantenimiento adecuado.



Ilustración 3-6: Tubos de calor

Realizado por: Colcha F., Tonato J., 2023.

3.1.1.4. Quemador

El caldero dispone de un quemador artesanal que se encuentra ubicado en el interior de la cámara de combustión, es un dispositivo que nos ayuda a producir combustión dentro del hogar y obtener el vapor requerido. Es un quemador adaptado por lo que es recomendable remplazarlo por un quemador industrial para que, al momento de encender, suministre el calor requerido para la producción de vapor.



Ilustración 3-7: Quemador

Realizado por: Colcha F., Tonato J., 2023.

3.1.1.5. Carcasa

La caldera está revestida con una carcasa de acero y es ahí donde se recolecta el vapor, ésta se encuentra llena de polvo, por lo que se requiere de una limpieza además cuenta con oxidación.



Ilustración 3-8: Cuerpo del caldero

Realizado por: Colcha F., Tonato J., 2023.

3.1.1.6. Hogar

Es la parte donde se quema el combustible y se genera altas temperaturas, sometido a esfuerzo de compresión, diseñados para resistirlos, se encuentra llena de polvo y con presencia de óxido.

3.1.1.7. *Aislamiento térmico*

El aislamiento térmico sirve para evitar el desperdicio energético, normalmente es de lana de vidrio o lana cerámica y al momento del desmontaje se observa que contiene espacio sin este material por lo que se debe completar.



Ilustración 3-9: Hogar del caldero

Realizado por: Colcha F., Tonato J., 2023.

3.1.2. *Estado técnico inicial del sistema eléctrico*

El sistema eléctrico del caldero es el conjunto de todos los dispositivos que tienen por oficio proveer la energía eléctrica que se necesita para que arranque y que funcione correctamente los accesorios eléctricos del caldero y al hacer una inspección breve se encuentran elementos que están rotos y algunos cables sin conexión, con la ayuda de un multímetro se procede a verificar si estos elementos tienen continuidad y así saber si están bien conectados o el cable en sí estaría obsoleto, a continuación, se muestra la tabla con las partes del equipo y el estado de los mismos para determinar qué elementos pueden servir y cuáles deben desecharse.



Ilustración 3-10: Panel de control

Realizado por: Colcha F., Tonato J., 2023.

El estado exterior del tablero de control se observa que está en buen estado físico, sin daños externos evidentes, o desgaste excesivo, las puertas y cerraduras del tablero funcionan correctamente y cierran de manera segura por lo que no se observan signos de humedad o filtraciones tanto dentro como fuera de él.

Se lleva a cabo la inspección de las conexiones eléctricas del tablero de control, verificando que todas las conexiones estén seguras, bien apretadas y libre de óxido o corrosión. A continuación, se muestran los diferentes elementos que conforman este sistema

3.1.2.1. Controlador lógico programable (PLC) SIMATIC S7-1200

El controlador lógico programable es un dispositivo electrónico programable que se encarga de ejecutar un conjunto de instrucciones organizadas; las mismas que son programadas mediante funciones lógicas, secuenciales, operaciones aritméticas, de contaje, de eventos, de temporización, entre otras. Los PLC's están diseñados para controlar mediante entradas y salidas, ya sean analógicas y digitales un proceso o máquina.

Este controlador es un dispositivo flexible y de gran capacidad y permite controlar una gran variedad de componentes involucrados en la automatización de un proceso. El PLC se encuentra en buen estado, se debe hacer una revisión normal, una limpieza debido a que está con polvo y se comprueba con el multímetro la continuidad en los puertos de entrada y salida.

En la ilustración 15-3 se aprecia el controlador lógico que se encuentra ubicado en el interior del tablero de control.



Ilustración 3-11: PLC SIMATIC S7-1200

Realizado por: Colcha F., Tonato J., 2023.

El PLC requiere de una nueva programación debido a que por el poco tiempo de uso que ha tenido la programación se perdió y no se tiene el respaldo.

3.1.2.2. *Simatic HMI KTP600 BASIC PN*

El Touch Panel KTP600 Basic mono/color PN pertenece a la familia Simatic HMI, es una pantalla táctil que se emplea como interfaz humano-máquina; brindando un monitoreo eficiente y confiable. Se enciende normalmente, pero se requiere de una nueva programación conforme a los nuevos instrumentos sustituidos y agregados, la anterior programación ya presentaba fallas en sus códigos por el tiempo que estaba inactivo.



Ilustración 3-12: Pantalla HMI KTP600

Realizado por: Colcha F., Tonato J., 2023.

3.1.2.3. *Sensores*

Detectan un determinado fenómeno, puede ser presión, temperatura, luz, sonido, proximidad, humedad. Permiten conocer con más exactitud las magnitudes y operar dichas medidas.

El sensor PT 100 es un sensor de temperatura de uso industrial, y es necesario seleccionar un adecuado medidor de temperatura y situarla en un punto estratégico para que arroje el valor de la temperatura



Ilustración 3-13: Pt 100

Fuente: blogsaverros, 2023.

3.1.2.4. Transmisor de temperatura DAT2065.

El RTD DAT2065 es un transmisor de temperatura con programación de conmutador DIP. Los interruptores DIP permiten al usuario seleccionar el rango máximo de 1200° F, 650° C y el rango mínimo es de 120° F o 50 °C, éste se encuentra en buen estado y existe continuidad.



Ilustración 3-14: Transmisor de temperatura DAT2065

Fuente: directindustry, 2023.

3.1.2.5. Sistema de ignición

Este sistema se encarga de iniciar la combustión, está constituido por la válvula de gas, cilindro de gas, manguera que transporta el gas, y ésta última se verificó que no presente ningún tipo de fugas para lo cual se sumerge en un recipiente con agua y comprobar que no exista burbujas.

Tiene un quemador que se encuentra ubicado en el interior de la cámara de combustión, tiene como función mezclar el combustible en este caso gas con el aire para que salte la llama que inicia la combustión, se determina que los electrodos del quemador funcionen correctamente, pero al momento de realizar el desmontaje, éstos se encuentran rotos como se observa en la ilustración, además la válvula de control de gas se encuentra obstruida, por lo tanto, no se produce la chispa.



Ilustración 3-15: Sistema de ignición

Realizado por: Colcha F., Tonato J., 2023.

3.1.2.6. Pulsador

Permite el paso o corte de la energía a través de un circuito, mediante el accionamiento del mismo se encuentra en la parte exterior del tablero de control y está en buen estado, se requiere de una limpieza debido a que se encuentra con polvo.

3.1.2.7. Luz piloto

Permite mostrar el estado o condición de un sistema o dispositivo en particular. Indica que proceso se está llevando por ejemplo que, si se está operando, funciona correctamente y se seguirá utilizando para el tablero de control del caldero

3.1.2.8. Selector

Permite abrir y cerrar un contacto ya sea normalmente abierto o normalmente cerrado según su aplicación eléctrica en un circuito, al igual que los elementos anteriores se encuentra en buen estado y se lo seguirá utilizando, generalmente se utiliza en procesos industriales para ponerse en una operación ya sea en automático o en manual.



Ilustración 3-16: Botoneras de trabajo

Realizado por: Colcha F., Tonato J., 2023.

3.1.2.9. Breaker

Conocido como interruptor diferencial y es un dispositivo de protección automática instalado en el tablero principal de una instalación eléctrica, es decir cuando se produce una fuga de intensidad el breaker corta automáticamente el suministro de energía. Se lo va a volver a utilizar ya que está funcionando correctamente.

3.1.2.10. Relé térmico

Los relés térmicos son dispositivos de protección que se utilizan en las conexiones de los motores para protegerlos contra las sobrecargas.

3.1.2.11. Relé electromecánico

Su objetivo es activar un elemento al transmitir una señal eléctrica con una corriente eléctrica que es mínima en comparación a la corriente que consume el dispositivo mencionado.

3.1.2.12. Fuente de poder

Son dispositivos primordiales para el funcionamiento de cualquier equipo electrónico, y que son encargadas de suministrar la electricidad necesaria para el funcionamiento del equipo o un sistema en general, se emplea para dar señal al encendido de los electros para la activación de la flama, trabaja a 12 voltios cuyo diseño es ineficiente.

3.1.2.13. Conductores

El conductor permite el paso de la corriente en un circuito, éste último como los anteriores se encuentran este buen estado y correcto funcionamiento para volver a utilizarlos.

3.1.3. Diagnóstico técnico del sistema de mando y control

En el estado de elementos de control se evalúan elementos como manómetros de presión, pressuretrol, McDonnell, presóstato, termómetro, válvulas de seguridad y por medio del método de inspección visual. Es importante que un caldero incorpore equipos adecuados para asegurar un correcto funcionamiento, cumplir normativas de seguridad y obtener la máxima eficiencia en la generación de vapor.

3.1.3.1. Manómetro de presión

Es un indicador analógico utilizado para medir la presión de un gas o líquido, pueden ser, agua, aceite y es uno de los instrumentos más utilizados en una planta, dentro de los controles de presión de un caldero se debe considerar la instrumentación que visualiza la presión en el equipo y todos los calderos deben tener un equipo de éstos que nos esté señalando las variaciones de presión.



Ilustración 3-17: Manómetro

Realizado por: Colcha F., Tonato J., 2023.

3.1.3.2. *Pressuretrol*

El pressuretrol son controles que detectan el valor máximo de presión de trabajo que va a tener el caldero apagando el quemador cuando llega a la presión dada, al descender la presión del vapor a un valor ajustado en el diferencial otra vez se activa el caldero para subir nuevamente a la presión de trabajo y así sucesivamente mientras dure la operación de la caldera.



Ilustración 3-18: Pressuretrol

Realizado por: Colcha F., Tonato J., 2023.

3.1.3.3. *McDonnell*

Al momento que se va a dar inicio con el funcionamiento se debe tener en cuenta de que el caldero debe estar llena hasta donde indique el visor de nivel ya que si no es así en control de nivel o conocido como McDonnell impida que el quemador se encienda, y lo que hará es mandar a prender la bomba de agua hasta alcanzar el nivel de agua adecuado para trabajar con normalidad.



Ilustración 3-19: McDonnell

Realizado por: Colcha F., Tonato J., 2023.

3.1.3.4. *Válvulas de seguridad*

Cada caldero es diseñado para una presión de trabajo máximo ya que, si se llega a sobrepasar, hay peligro de explosión entonces es necesario equiparlos con válvulas de seguridad, para mantener la presión dentro de los límites permisibles en caso de fallar el sistema primario de control.



Ilustración 3-20: Válvula de alivio de presión

Realizado por: Colcha F., Tonato J., 2023.

El código para calderas de la ASME exige que la selección de las válvulas de seguridad se base en los coeficientes de evaporación. La capacidad mínima de la válvula de seguridad para cada caldero deberá ser tal, que pueda evacuar el vapor generado, sin permitir que la presión de la caldera incremente en un 6% de la presión máxima de trabajo permisible en el caldero.

3.1.3.5. *Válvula check*

Estos dispositivos son los que nos ayudan a controlar el flujo de líquidos en un solo sentido, pero cierra automáticamente y previene el flujo en la dirección opuesta.



Ilustración 3-21: Válvula check
Realizado por: Colcha F., Tonato J., 2023.

3.2. Selección de técnicas, procedimientos, equipos y materiales para el mantenimiento del caldero

3.2.1. *Inspección visual*

La inspección visual es una de las pruebas no destructivas más utilizada, y se obtiene información rápidamente de la condición superficial de los materiales que se esté inspeccionando, con el siempre uso del ojo humano, además que es el primer paso de cualquier evaluación, y que para muchos objetos es utilizada para determinar el acabado superficial, características del color, características funcionales o presencia de discontinuidades superficiales.



Ilustración 3-22: Caldero piro-tubular
Realizado por: Colcha F., Tonato J., 2023.

3.2.2. *Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM)*

El Mantenimiento Centrado en Confiabilidad se enfoca en el análisis del mantenimiento de los modos de fallo que tienen el mayor impacto en el rendimiento del equipo o sistema, en lugar de seguir simplemente rutinas de mantenimiento estándar. Esta metodología se utiliza para identificar y establecer estrategias de mantenimiento óptimas para los equipos o sistemas. La norma SAE JA1011 especifica los requerimientos que debe cumplir un desarrollo para poder ser denominado un proceso RCM y los pasos para realizarlos son los siguientes.

- Identificar los equipos o sistemas críticos que requieren un análisis RCM. Estos pueden ser equipos que tienen un impacto significativo en la producción, seguridad, costos o calidad.
- Para cada equipo o sistema seleccionado, se debe identificar las funciones que realiza y los posibles modos de fallo que podrían afectar su rendimiento.
- Determina cómo afectaría el fallo a la seguridad, la producción, el medio ambiente, los costos y otros aspectos críticos.
- Para cada modo de fallo, analiza las estrategias de mantenimiento existentes. Estas estrategias pueden incluir mantenimiento preventivo, mantenimiento predictivo, inspecciones, reemplazo de componentes, etc.

3.2.2.1. *Identificación los principales sistemas del caldero y definir funciones*

A continuación, se define los sistemas que componen al caldero vertical de 2 BHP.

Tabla 3-2: Código de área del Laboratorio de Procesos Industriales

Laboratorio de Procesos Industriales - ESPOCH	
GV	Área de generación de vapor



Realizado por: Colcha F., Tonato J., 2023.

Tabla 3-3: Codificación de área de generación de vapor

Nivel 1: PLANTA		Nivel 2: ÁREA		Nivel 3: SISTEMA		Nivel 4: EQUIPO	
Cód.	Descripción	Cód.	Descripción	Cód.	Descripción	Cód.	Descripción
FC	Facultad de Ciencias	GV	Generación de vapor	CD01	Caldero (2BHP)	MCC01	Cuerpo del caldero
						MQM01	Quemador 12V
						MES01	Estructura
						ETC01	Tablero de control 120V
						MNA01	Cont. de nivel de agua
						SCP01	Control de presión
						SVS01	Válvula de seguridad

Realizado por: Colcha F., Tonato J., 2023.

Tabla 3-4: Ficha técnica del caldero pirotubular vertical

	Ficha técnica del caldero		
	Empresa	Laboratorio de Procesos Industriales	
	Realizado por:	Fausto Colcha & Jhonny Tonato	
	Ficha:	1	
Código	FC-GV-CD01		
Área	Generación de Vapor		
Descripción	Caldero de 2 BHP		
Código de activo	CD01		
Centro de costos	N/A		
Marca	N/A		
Modelo	Pirotubular		
N. serie	N/A		
Valor de adquisición	N/A		
Año de construcción	N/A		
Distribuido por:	Distribución ecuatoriana		
Fabricado por:	M.M.I Calderos		
Peso	N/A		
Voltaje de trabajo	120V/60Hz		
Combustible	Gas		
Potencia instalada	2 BHP		
Material	Acero negro		
Temperatura de entrada de agua	T. ambiente		
Presión de trabajo	33 psi		
Partes funcionales			
Cuerpo el caldero	Color	Azul oscuro	
	Material	Acero negro	
	Capacidad	----	
	Marca	N/A	
	Modelo	N/A	
	Condición	Vertical	
	Combustible	GLP	
Tablero eléctrico	Voltaje	120 V	
Control de nivel de agua			
Control de nivel de presión	Presión de trabajo	33 psi	
Válvula de seguridad	Presión de alivio	40 psi	
Manuales	N/A		
Planos	N/A		
Componentes			
Quemador	Cuerpo del caldero	Estructura	
<ol style="list-style-type: none"> Transformador de ignición Electrodo Ductos de GPL 	<ol style="list-style-type: none"> Carcasa Hogar Tubos Aislante térmico 	<ol style="list-style-type: none"> Chasis Controles <ol style="list-style-type: none"> Control límite de presión (presuretrol) Control límite de agua Manómetro 	

Realizado por: Colcha F., Tonato J., 2023.

Tabla 3-5: Contexto operacional del caldero pirotubular

Contexto operacional	
Aspecto climático	<ul style="list-style-type: none"> • Ambiente húmedo • Altitud 2754 msnm. • Temperatura ambiente 17°C
Normas y reglamentos	Las normas y reglamentos son netamente normas sanitarias y códigos ambientales: Reglamentos de control y regulación de la producción industrial, Decretos que se ajusta a la habilitación y funcionamiento de empresas, entre estos permisos como el BPM (Buenas Prácticas de Manufactura), inspecciones a la planta, el activo debe estar en buenas condiciones.
Proceso	El vapor generado se utiliza en los procesos de prácticas de la producción de derivados de lácteos, mermeladas, etc., el caldero tiene una capacidad de 33 Kg/h y trabaja en un tiempo parcial de 3 h diarias y tres días de la semana, se enciende por las mañanas. El fluido ingresa desde un tanque. El combustible está ubicado en un depósito a 2m de la caldera.
Redundancia	Caldero 2 inhabilitado.
Estándar de calidad	Su diseño vertical y de tipo pirotubular hace que se adapte a las necesidades, las instalaciones se alinean a las normativas nacionales, con el aumento de equipos en las instalaciones se ve la necesidad de adquirir cada vez activos de mayor capacidad de producción, de alta calidad y tecnología.
Estándares medio ambientales	Las instalaciones deben cumplir con los requerimientos ambientales y de contaminación que habilite el funcionamiento, contaminación del suelo por residuos durante purgas y presencia de hollín, todo esto produce corrosión y deterioro de materiales.
Riesgo a la seguridad	<ul style="list-style-type: none"> • El CO₂ generado en la combustión puede ocasionar enfermedades de tipo respiratorio • El hollín provoca que se degrade con más rapidez los materiales • Un accionamiento innecesario de la válvula de seguridad puede ocasionar quemaduras graves • Las actividades de mantenimiento en partes eléctricas y mecánicas, requiere desconectar la alimentación del tablero.

Realizado por: Colcha F., Tonato J., 2023.

Para desarrollar una efectiva mitigación de los efectos de fallas funcionales, se determinar el impacto de cada falla que se presente:

1. Falta agua, originaria que no se accione el encendido del flotador de nivel de agua y no encienda la bomba de alimentación.
2. Si las válvulas están sucias; originaran que las conexiones permitan el ingreso normal al McDonnell
3. Si falla la válvula de seguridad; podría ocurrir una sobre presión y entonces no habría un desfogue de emergencia para el vapor acumulado con alta presión.
4. Si el quemador falla, no se produciría el encendido del fuego en el hogar por lo tanto el caldero no opera.
5. Si falla el interruptor, no permitiría abrir el contacto para el encendido de la bomba.
6. Cuando el tratamiento de agua es deficiente; se forma lodo, corrosión y el caliche (mezclada del barro en la base) se acentúa, se origina una disminución de la transferencia de calor se incrementa el consumo de combustible.
7. Tubos obstruidos, demora el alcanzar la formación de vapor, el caliche o sarro actúa como un aislamiento negativo la perforación origina perdida de presión y calor en la cámara de fuego.
8. Envejecimiento, origina perdida de vapor y presión fugas y riesgo de daños personales.
9. Tablero eléctrico deteriorado, no accionaria automáticamente la secuencia de encendido del conjunto de componentes.
10. Empaquetadura estropeada de tapas, se originan perdidas de temperatura, calor.
11. Si falla la válvula de descarga de vapor, originaria que el vapor fugue condensado en la línea del mismo caldero.
12. Perforaciones en cuerpo principal y en haz de tubos; Los efectos de la corrosión e incrustaciones de caliche obligan a una parada para realizar un mantenimiento correctivo.

Para desarrollar el RCM de cualquier activo físico se utiliza las siete preguntas básicas como:

1. ¿Cuáles son las funciones operacionales del equipo?
2. ¿De qué forma puede fallar?
3. ¿Cuál es la causa de la falla?
4. ¿Qué sucede cuando ocurre la falla?
5. ¿Cuál es la importancia de la falla?
6. ¿Qué se puede hacer para prevenir o predecir las fallas?
7. ¿Qué se debe hacer si no se encuentra una tarea proactiva adecuada?

Para los análisis de los modos y efectos de fallas tenemos:

3.2.2.2. *Falla:*

Disminución o pérdida de la función requerida del equipo o componente respecto a las necesidades de operación que se requieren. Esta condición puede interrumpir la continuidad o secuencia del proceso, las causas de cualquier falla pueden ubicarse en una de estas siete categorías:

- Defectos de diseño
- Defectos de materiales
- Manufactura o procesos de fabricación defectuosos
- Ensamblaje o instalación defectuosos
- Imprevisiónes en las condiciones de servicio
- Mantenimiento deficiente
- Operación deficiente

Consecuencia de Falla

Cuantifica la magnitud de pérdida que registra la ocurrencia. Las fallas en los componentes del caldero se presentan como fallas parciales, intermitente o total del componente analizado.

Modos de falla que pueden producir falla funcional:

- Elevada temperatura del agua.
- Formación de lodos en las paredes interiores.
- Mal funcionamiento del McDonnell.
- Excesiva carga de trabajo.
- Rodete de bomba desgastadas.
- Electrodo desgastados.
- Sellos y empaquetaduras endurecidos.
- Resorte de válvula de alivio fatigado.
- Formación de elevada corrosión en tuberías.
- Tarjeta de programación desprogramada.
- Mal contacto por recalentamiento de conexiones de fusibles, termomagnéticos, contactores, terminales, transformadores, cableados, señalizadores, etc. en deterioro.
- Válvulas, tuberías, tés, codos, empaquetaduras, juntas, pernos de ajuste con fatiga.
- Mal tratamiento del agua.
- Mala maniobra en operación.

Tabla 3-6: Hoja de información del caldero

Empresa: Laboratorio de Procesos Industriales			Área: Generación de vapor		Realizado por: Fausto Colcha & Jhonny Tonato		Revisado por:		Hoja: 1
			Fecha: 09/06/2023		Nº: 01		Equipo: FC-GV-CD01 (Caldero 3 BHP)		De: 3
Parte	Nº	Función	Falla funcional		Modo de falla	Efecto de la falla	Consecuencias	Probabilidad	
Quemador	1	Producir el calor requerido en el hogar para generar, 33 Kg/h de vapor a una presión de 33 psi	A	No prende el quemador y no produce calor	a. Presencia de hollín en la fotocelda	Evidencias del fallo: No se enciende el quemador. No presenta amenazas a la seguridad ni medio ambiente Se produce un paro de 15 min con un costo de \$30	Operacional	Una vez al año	
					b. Relé de fotocelda quemado	Evidencias del fallo: No se enciende el quemador. No presenta amenazas a la seguridad ni medio ambiente Se produce un paro de 30 min que ocasiona una perdida evaluada en \$ 80	Operacional	Una vez al año	
					c. Falta de chispa por electrodos mal calibrados y en mal estado	Evidencias del fallo: No se produce la chispa que enciende el quemador No presenta amenazas a la seguridad ni medio ambiente. Se produce un paro de 1.5 horas. Se requiere cambiar el electrodo de ignición de llama que tiene un costo de \$50	Operacional	Una vez al año	
					d. Transformador de ignición quemado	Evidencias del fallo: No se produce la chispa que enciende el quemador. No presenta amenazas a la seguridad ni medio ambiente Se produce un paro de 1.5 horas que ocasiona una perdida evaluada en \$30.	Operacional	Una vez al año	

Empresa: Laboratorio de Procesos Industriales			Área: Generación de vapor		Realizado por: Fausto Colcha & Jhonny Tonato		Revisado por:		Hoja: 2
			Fecha: 09/06/2023		Nº: 01		Equipo: FC-GV-CD01 (Caldero 3 BHP)		De: 3
Parte	Nº	Función	Falla funcional		Modo de falla	Efecto de la falla	Consecuencias	Probabilidad	
Cuerpo del caldero	2	Generar energía calorífica y mantener la presión de 34 psi	A	Perdida de calor con presión menor a 34 psi	a. Falta de circulación de agua por incrustaciones en los tubos, lado de agua	Evidencias del fallo: el manómetro presenta una ligera caída de presión menor a 34 psi. No presenta amenazas a la seguridad ni medio ambiente, baja el rendimiento de otros trabajos en producción Se recomienda programar el lavado de los tubos de agua con agentes químicos, por el tiempo de 36 horas, y calcular la dosis de antiincrustante para cada día de trabajo.	Evidente	Una vez cada 3 años	
Control de nivel de agua	3	Controlar el nivel de agua en el cuerpo del caldero	A	Nivel de agua por debajo lo requerido	a. Bomba de alimentación no enciende	Evidencias del fallo: se apaga el quemador, se activa la válvula de seguridad. Presenta amenazas a la seguridad por riesgo de explosión, puede ocasionar accidentes al operador. Afecta a la producción directamente con una pérdida de \$50	Seguridad	Una vez cada año	
					b. Bomba quemada	Evidencias del fallo: no produce ruido, el agua no se dirige al cuerpo del caldero. No presenta amenazas contra la seguridad, ni medio ambiente Afecta la producción	Evidente	Una vez al año	
					c. Falta de caudal de agua por impeler de bomba de alimentación roto	•Evidencias del fallo: se presenta un ruido extraño, y se apaga el quemador, se activa la válvula de seguridad. Presenta amenazas a la seguridad por riesgo de explosión, puede ocasionar accidentes al operador por la baja presencia de agua. Afecta a la producción directamente con una pérdida de \$390	Seguridad	Una vez al año	

Empresa: Laboratorio de Procesos Industriales			Área: Generación de vapor		Realizado por: Fausto Colcha & Jhonny Tonato		Revisado por:		Hoja: 3
			Fecha: 09/06/2023		Nº: 01		Equipo: FC-GV-CD01 (Caldero 3 BHP)		De: 3
Parte	Nº	Función	Falla funcional		Modo de falla	Efecto de la falla	Consecuencias	Probabilidad	
					d. Falla de rodamientos por desgastaste o corrosión, de la bomba de alimentación	Evidencias del fallo: Ruido fuerte en cualquier lado de la bomba (impulsor o motor) se observa disminución de caudal, y alta vibración No presenta amenazas al medio ambiente, seguridad ni a la producción. Se debe desconectar la alimentación de electricidad, sacar la bomba, desmonta componentes y cambiar el rodamiento, revisar el estado del otro rodamiento.	Evidente	Una vez al año	
Válvula de seguridad	4	Accionar la válvula de seguridad al llegar a una presión máxima de trabajo 35 psi	A	La válvula de seguridad no se acciona a los 35 psi	a. Válvula atascada por falta de mantenimiento	Evidencias del fallo: la palanca no se acciona, la presión aumenta. Presenta amenazas a la seguridad con riesgo de explosiones y ocasionar accidentes Al medio ambiente no afecta, se puede ocasionar una pérdida de \$65.00 Se debe apagar el quemador y proceder a realizar pruebas mediante el levantamiento de la palanca a un 75% de la presión calibrada, se descarga vapor de 5 a 10s. (de forma manual) leva un tiempo de 15 min (\$2.00)	Seguridad	2 veces por año	
					b. Válvula mal calibrada	Evidencias del fallo: la válvula acciona antes de los 35 psi y produce ruido. Presenta amenazas a la seguridad por quemaduras, al medio ambiente no afecta, no afecta a la producción. Se debe programar una fecha para realizar el calibrado correcto de la válvula., mediante aire y ajustar.	Seguridad	Una vez al año	

Realizado por: Colcha F., Tonato J., 2023

Tabla 3-7: Hoja de criticidad del caldero

CRITICIDAD TOTAL DE LOS SUBSISTEMAS DE MAQUINARIA									
FECHA: 06/06/2023									
REVISADO POR:									
ELABORADO POR: Colcha F y Tonato J									
NUMERO	Subsistemas	Frecuencia de Falla	Impacto Operacional	Flexibilidad Operacional	Costo de Mantenimiento	Impacto SHA	Consecuencia	Criticidad Total	Nivel de Criticidad
Subsistema Mecánico (componentes)									
1	Bomba de suministro de agua	2	10	4	1	0	41	82	C
2	Quemador	2	10	4	1	0	41	82	C
3	Pressuretrol	2	7	4	1	8	37	74	C
4	Válvula de seguridad	1	7	4	1	8	37	37	SC
5	Tubería de calor	2	7	4	1	8	37	74	C
Subsistema Eléctrico (componentes)									
6	Interruptores	2	7	2	1	2	17	34	SC
7	Botones	2	2	2	1	2	7	14	NC
8	Contactores	2	7	4	1	2	31	62	C
9	Relé de control	2	7	4	1	6	35	70	C
10	Medidor de temperatura	2	7	4	1	6	35	70	C
11	Fuente de alimentación de 12V	2	7	4	1	2	31	62	C
Sistema de control (componentes)									
12	McDonnell	2	7	4	1	6	35	70	C
13	PLC	2	7	4	1	6	35	70	C
14	Interfaz de usuario	2	7	4	1	2	31	62	C

Realizado por: Colcha F., Tonato J., 2023.

Conforme al análisis de criticidad de los componentes tenemos:

1. Altamente críticos,
2. Medianamente críticos y lo que no son críticos, que se detallan en la tabla a continuación

Tabla 3-8: Lista de resultados de criticidad de componentes

Altamente críticos	Medianamente críticos	No críticos
Bomba de agua	Válvula de seguridad	Botones
Quemador	Interruptores	
Pressuretrol		
Tubos de calor		
Contactores		
Relé de control		
Medidor de temperatura		
Fuente de alimentación 12V		
McDonnell		
PLC		

Realizado por: Colcha F., Tonato J., 2023

Logística del mantenimiento para el caldero

Las tareas propuestas de mantenimiento asignadas a cada sistema cuentan con personal para su ejecución, por lo cual se determina un código de especialista al personal de mantenimiento, como se establece a continuación.

Tabla 3-9: Código de personal especialista

CÓDIGO ESPECIALISTA	CARGO
CM01	Coordinador de mantenimiento
SM01	Supervisor de mantenimiento
AM01	Asistente de mantenimiento
TM01	Técnico de Mantenimiento

Realizado por: Colcha F., Tonato J., 2023

En la logística del mantenimiento se asigna los recursos necesarios para la ejecución de las tareas de mantenimiento que están plantadas en el equipo tales como preventivas y correctivas que según la norma EN 13306 terminologías del mantenimiento indica que el preventivo es el mantenimiento llevado a cabo para evaluar o mitigar la degradación y reducir el fallo de un elemento, mientras que el correctivo es el mantenimiento que se realiza después del reconocimiento de una avería y el elemento debe recuperarse hasta que cumpla su función requerida.

3.3. Implementación del mantenimiento correctivo

3.3.1. *Mantenimiento correctivo*

3.3.1.1. *Cambio de tubería:*



Ilustración 3-23: Accesorios

Realizado por: Colcha F., Tonato J., 2023.

Se debe preparar el cuerpo del caldero para el posterior reemplazo, para esto se debe tomar en cuenta la longitud de tubería y el tamaño de los elementos a ser reemplazados. Antes de iniciar se procede a realiza un análisis de riesgos y toma las medidas de seguridad necesarias para la ejecución.

En lo siguiente se enlista los materiales necesarios a ser sustituidos tales como tuberías de 1/2 pulgada, conexiones, entre otros, a más de tener las herramientas adecuadas, como cortadores de tubos, llaves, cinta, etc.

Para iniciar el proceso de sustitución se debe desconectar el equipo de la fuente de energía para garantizar la seguridad del personal que va a ejecutar el desmantelamiento, a continuación, se desagua el sobrante de la cámara de calentamiento. Para esto se desconecta las uniones existentes en la tubería utilizando las herramientas (llave de tubo), se retira la tubería antigua y las conexiones de manera segura.

En la preparación de la nueva tubería se mide y se procede a cortar con las dimensiones especificadas empelando una cortadora de tubos, recordando limpiar los extremos de los tubos ya después de un corte para asegurar un buen ajuste.

En el desarrollo del ensamblaje se hace una rosca a la nueva tubería asegúrate de aplicar los métodos como lo especifica el código para el ensamblaje de tuberías de vapor ASME B31.3.

Al realizar pruebas y puesta en marcha del caldero nos debemos tomar en cuenta la presión de trabajo para asegurarnos que no se presenten fugas en la nueva tubería y esté correctamente instalada y sellada. Se repite la puesta en funcionamiento el equipo para verificar el funcionamiento correcto de la línea de vapor y realizar los ajustes y correcciones si es necesario.

3.3.1.2. *Cambio del McDonnell*



Ilustración 3-24: McDonnell nuevo

Realizado por: Colcha F., Tonato J., 2023.

El reemplazo del dispositivo de control de nivel de agua en el caldero, el procedimiento debe cuidadoso para garantizar una instalación segura y efectiva. Para esto nos aseguramos de poseer el equipo adecuado y funcional de McDonnell Miller de reemplazo.

Se inicia con la determinación de la ubicación del McDonnell Miller en el sistema y se desconecta los cables y las conexiones de tubería que están acopladas al dispositivo antiguo, siguiendo las instrucciones determinadas; sin olvidar inspeccionar los sellos, las conexiones, y signos de daño o desgaste según sea necesario.

Asegurando que las conexiones eléctricas estén seguras y apretadas, siguiendo el diagrama de cableado correspondiente al tablero, y realizando una inspección visual para verificar que todos los sellos y conexiones estén correctas antes de iniciar la prueba de funcionamiento, restauramos la alimentación eléctrica al caldero y se procede a realizar una prueba funcional del nuevo dispositivo, verificando que no tenga fugas en las conexiones y sellos en el cuerpo del dispositivo de control de nivel de agua McDonnell y que el examen sea efectivo.

3.3.1.3. Cambio del quemador industrial

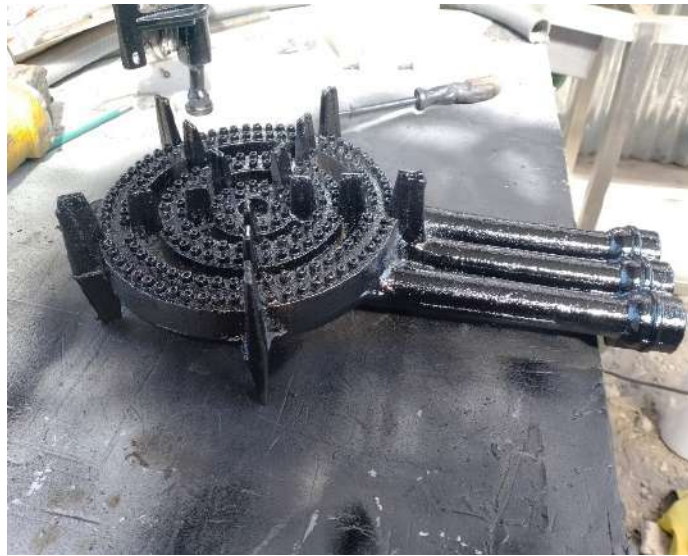


Ilustración 3-25: Quemador industrial de 3 llaves

Realizado por: Colcha F., Tonato J., 2023.

El reemplazo de un quemador requiere un enfoque cuidadoso. Con el equipo apagado del sistema de combustible y desconecta la energía eléctrica se retira el quemador antiguo y sus componentes asociados siguiendo un orden adecuado.

El área donde se instalará el nuevo quemador debe estar libre de suciedad y otros materiales que puedan interferir con la instalación. Para esto se hace un nuevo soporte de base adecuados para el nuevo quemador asociada en la ubicación designada.

Se asegura bien las nuevas conexiones y sellos según las especificaciones del fabricante, conectamos los cables eléctricos siguiendo el diagrama de cableado para proceder a realizar pruebas de funcionalidad, para esto se restaura el suministro de combustible y la energía eléctrica al sistema, seguido de monitorear la temperatura, la combustión y otros parámetros notables para verificar el rendimiento del nuevo quemador.

En la puesta en marcha del equipo del quemador no olvidar los ajustes finales necesarios para optimizar el rendimiento como la calibración del combustible y la regulación de la llama. Así se verifica que todas las conexiones estén seguras y que no haya fugas debido a que se encuentra ubicado junto a un gasificador y cualquier mala maniobra ocurrirá un accidente o en peor de los casos un incendio.

3.3.1.4. Reprogramación de PLC

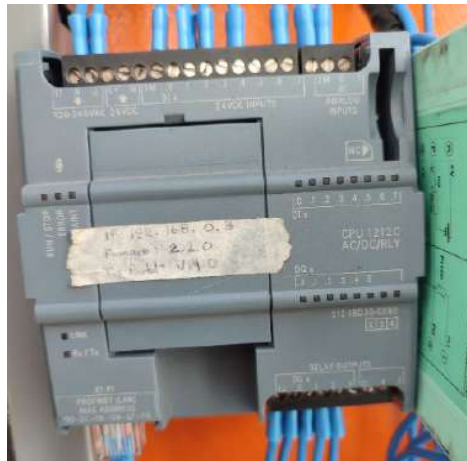


Ilustración 3-26: PLC reprogramado

Realizado por: Colcha F., Tonato J., 2023.

Antes de comenzar a programar, se revisa los requisitos de la PLC S700. El sistema de control que vamos a usar incluye la lógica de control, las entradas y salidas requeridas.

Al iniciar con la creación de un nuevo proyecto, se debe configurar las entradas y salidas para esto se define el lenguaje de programación Ladder Diagram (LD), la comunicación con otros dispositivos.

Luego se descarga en el PLC utilizando el software de programación y una conexión adecuada, como una interfaz de programación específica. Después de cargar el programa en el PLC, realiza pruebas en el sistema para asegurarte de que el control y las funciones operan correctamente.

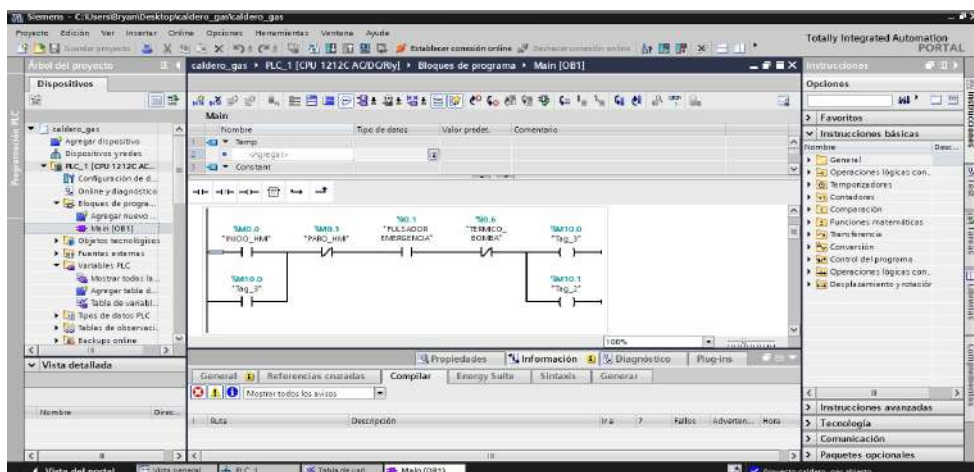


Ilustración 3-27: Secuencia de encendido

Realizado por: Colcha F., Tonato J., 2023.

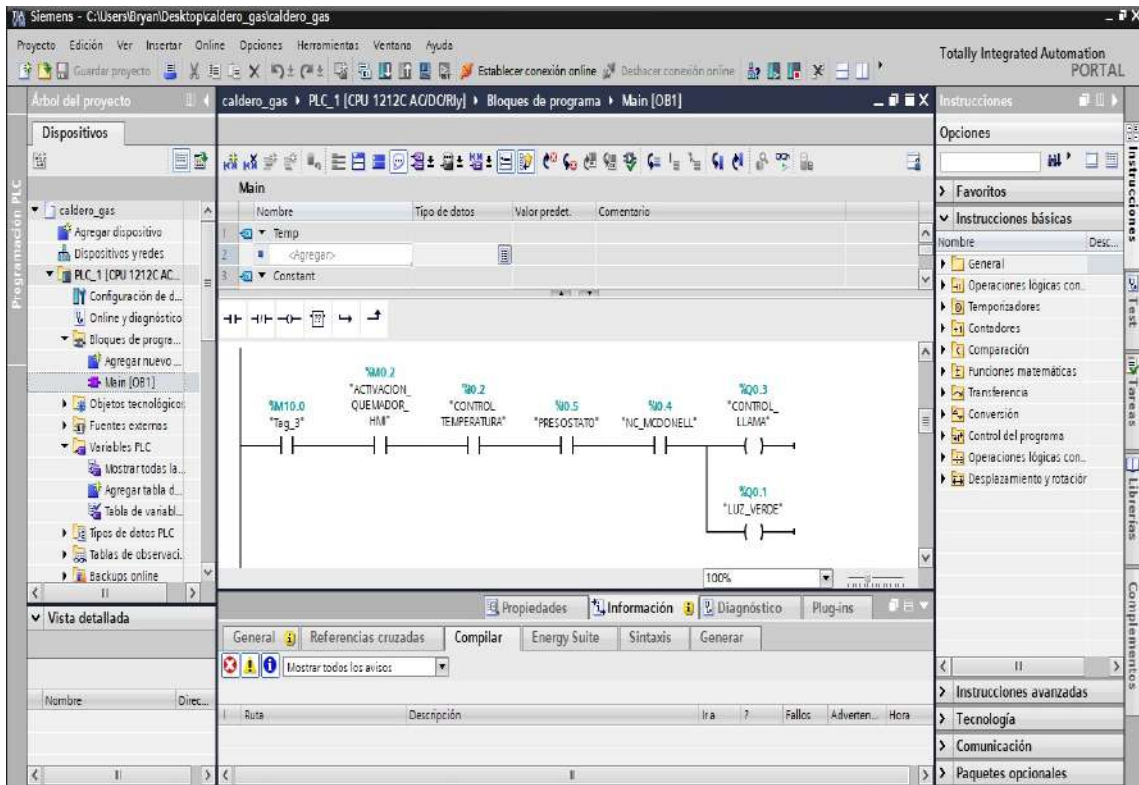


Ilustración 3-28: Secuencia de proceso

Realizado por: Colcha F., Tonato J., 2023.

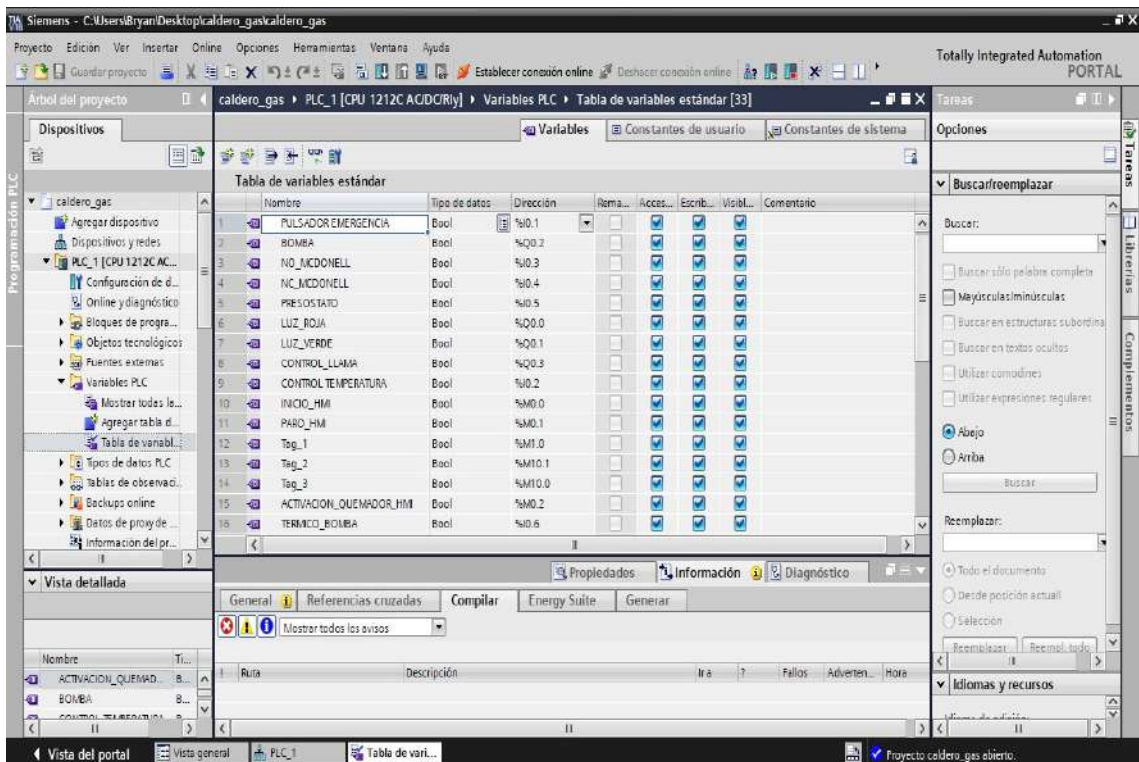


Ilustración 3-29: Tabla de valores de trabajo

Realizado por: Colcha F., Tonato J., 2023.

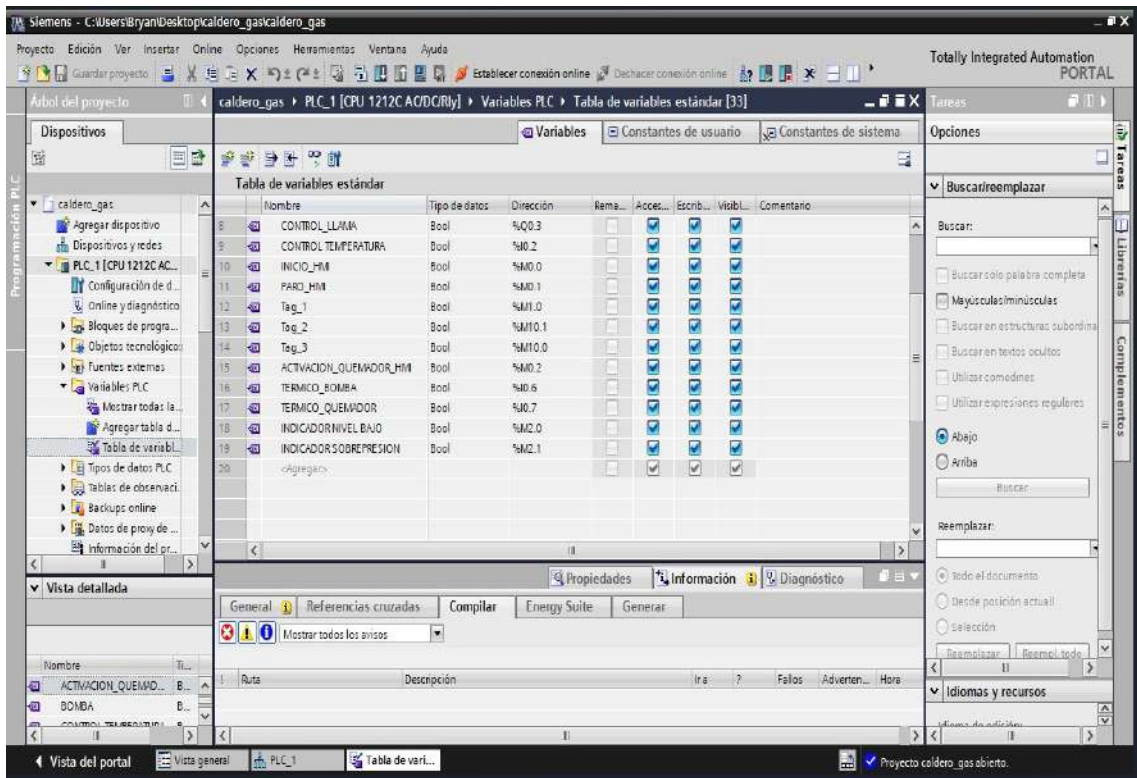


Ilustración 3-30: Tabla de variables de trabajo

Realizado por: Colcha F., Tonato J., 2023.

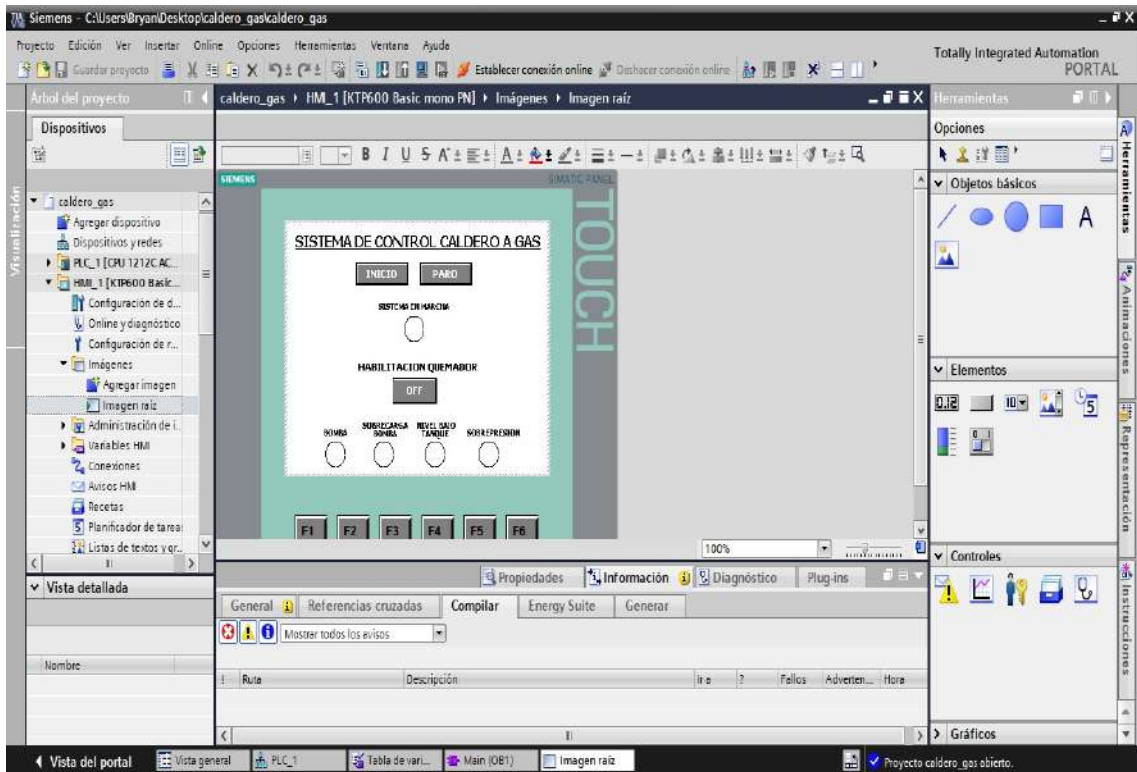


Ilustración 3-31: Entorno de trabajo de pantalla

Realizado por: Colcha F., Tonato J., 2023.

3.3.1.5. Cambio del visor del nivel agua



Ilustración 3-32: Visor de nivel de agua

Realizado por: Colcha F., Tonato J., 2023.

Antes de realizar cualquier tarea de mantenimiento asegúrese de seguir las instrucciones que dicta las normas de seguridad.

Para los preparativos iniciales se revisa los manuales del caldero y del visor de nivel de agua para habituarse con las instrucciones y especificaciones del fabricante.

Los pasos son los siguientes:

- Desconectar la alimentación eléctrica
- Cerrar las válvulas de entrada y salida de agua.
- Drenar el sistema abriendo la válvula de salida de agua.
- Retirar el visor de nivel de agua antiguo (se encuentra al costado).
- Desconectarlas tuberías de entrada y salida del visor de nivel de agua utilizando las herramientas adecuadas.
- Inspeccionar el nuevo visor de nivel de agua antes de instalar para asegurarte de que esté en buenas condiciones.
- Colocar el nuevo visor de nivel de agua en su ubicación correspondiente en la caldera.
- Conectar las tuberías de entrada y salida al nuevo visor de nivel de agua, asegurándote de apretar correctamente las conexiones (utiliza cintas de teflón y sellos apropiados)
- Verificar las conexiones estén seguras y sin fugas.

Para la verificación:

Abrir la válvula de entrada de agua y verificar visualmente si hay fugas en el nuevo visor de nivel de agua. Observar que el nivel de agua se muestre correctamente en el visor de nivel de agua.

3.3.1.6. HMI Simatic Basic Panel KTP700



Ilustración 3-33: Nueva interfaz de usuario

Realizado por: Colcha F., Tonato J., 2023.

Para programar en una HMI Simatic Basic Panel KTP700, se utiliza el software Siemens TIA Portal.

Los pasos para seguir:

- Abre el software Siemens TIA Portal y crea un nuevo proyecto.
- Selecciona el modelo de la HMI en la lista de dispositivos disponibles.
- Configura la dirección IP y parámetros de comunicación de la HMI.
- En el diseño de la interfaz gráfica, acceda al editor de pantalla de la HMI para diseñar la interfaz.
- Selecciona los elementos gráficos (botones, etiquetas, barras, etc.) para crear la apariencia de la pantalla.
- Configure las propiedades de los elementos gráficos.
- Configuración de las variables que se utilizarán en la programación y que estarán vinculadas a los elementos gráficos de la pantalla.

- Para el arreglo de las comunicaciones se establece las comunicaciones entre la HMI y otros dispositivos o controladores en el sistema, como PLC.
- Utilizando el modo de simulación del TIA Portal se prueba la programación en la HMI antes de cargarla en el dispositivo real.
- Verifique el funcionamiento de los elementos gráficos y la lógica de control en la simulación.
- Conecte la HMI Simatic Basic Panel KTP700 al PC que ejecuta el TIA Portal utilizando un cable de programación adecuado.

3.3.1.7. Cambio de bomba de agua

El correcto funcionamiento de una bomba de agua de un caldero es esencial debido a que garantiza la eficiencia del sistema de calefacción en el hogar.

Se pretende realizar la primera prueba de funcionamiento del caldero, se enciende normalmente, el tablero de control manda la señal para que la bomba de agua empiece a trabajar y llevar el líquido al interior del equipo, pero la bomba no acciona por lo que se procede a inspeccionar y observar cual es el fallo.

Una vez desmontado la bomba de alimentación se observa que tiene mucha oxidación en el interior, tiene presencia de cavitación y desgaste normal, las palas se encuentran en mal estado y por la falta de mantenimiento como limpieza se acelera el deterioro de la bomba, por lo que es recomendable hacer el cambio de la bomba de alimentación.

Se adquiere una nueva bomba de agua y a continuación se muestra la tabla de especificaciones.



Ilustración 3-34: Especificaciones de bomba de agua reemplazada

Realizado por: Colcha F., Tonato J., 2023.

Para evitar daños en la bomba de agua de caldero, es esencial llevar a cabo un mantenimiento regular, seguir las recomendaciones del fabricante y asegurar de que el sistema esté funcionando dentro de los parámetros adecuados. También es importante contar con un profesional calificado que puede ser el encargado del taller donde se encuentra ubicado el caldero y así poder realizar inspecciones periódicas y llevar a cabo reparaciones cuando sea necesario.

3.4. Pruebas de funcionamiento y ajustes en la operación

3.4.1. Prueba hidrostática

Según el código ASME para tuberías a presión, B31.3 se realiza la prueba de funcionamiento en vacío la que se denomina prueba hidrostática y el principal propósito es garantizar que el caldero pueda soportar de manera segura la presión a la que será expuesta durante su funcionamiento normal. Durante la prueba hidrostática, se llena gradualmente con agua, y esta ejerce presión alrededor de él, y esta se debe mantener durante un período de tiempo determinado, generalmente 6 horas mínimo, mientras se inspecciona el caldero en busca de fugas o signos de deformación. Además, ayuda para detectar posibles daños o desgastes en las soldaduras y otros componentes, de ser el caso de que se detecten fugas o fallas durante la prueba, se debe reparar o reemplazar los componentes afectados antes de que el caldero pueda entrar en servicio.

3.4.1.1. Preparación

- Tener en cuenta el acceso a suficiente agua para llenar el caldero.
- Verificar que todos los accesorios como manómetros y válvulas de seguridad, estén en buen estado de funcionamiento.



Ilustración 3-35: Preparación del caldero

Realizado por: Colcha F., Tonato J., 2023.

- Abrir las válvulas de drenaje y asegúrate de que el sistema esté completamente vacío antes de comenzar.

3.4.1.2. *Llenado*

- Cerrar todas las válvulas de drenaje y abre las válvulas de entrada de agua.
- Gradualmente comenzar a llenar el caldero con agua.



Ilustración 3-36: Llenado de agua al caldero

Realizado por: Colcha F., Tonato J., 2023.

- Revisar que el agua llegue alcanzar el nivel requerido cierre las válvulas de entrada de agua.



Ilustración 3-37: Revisión de nivel de agua

Realizado por: Colcha F., Tonato J., 2023.

- Durante el tiempo de prueba, se deben realizar inspecciones visuales para detectar fugas de agua o cualquier signo de deformación en el caldero.

3.4.1.3. *Drenaje*

- Abrir las válvulas de drenaje para permitir que el agua salga de la caldera.
- Asegurarse de drenar completamente el sistema y eliminar toda el agua antes de poner la caldera en funcionamiento.



Ilustración 3-38: Vaciado del hogar del caldero

Realizado por: Colcha F., Tonato J., 2023.

3.4.2. *Pruebas de funcionamiento del caldero*

En esta sección se describe el funcionamiento del proceso implementado, que incluyen sensores, bomba de agua, quemador, equipos de control y señalización, HMI. Cada secuencia lógica está programada para optimizar y asegurar su funcionamiento

El caldero tiene dos modos de funcionamiento, un modo normal y otro mediante un encendido automático que es controlado por un tablero eléctrico con el fin de que el sistema trabaje sin necesidad de un operario.

El sistema puede ser operado desde el tablero de control que está instalado en la parte frontal del caldero, y también desde la pantalla Touch del HMI que se encuentra instalado en el mismo lugar como se muestra en la figura siguiente



Ilustración 3-39: Pantalla inicial de la pantalla Siemens

Realizado por: Colcha F., Tonato J., 2023.

3.4.2.1. Encendido del caldero

El algoritmo de control funciona cuando abrimos el paso de corriente por medio de un selector que se encuentra en el tablero y mediante un indicador en este caso de color anaranjado se puede dar cuenta que el sistema se encuentra o no energizado y así comenzar a trabajar.

Una vez energizado el sistema se debe esperar 3 minutos hasta que la pantalla Touch del HMI esté completamente encendida con las diferentes opciones de trabajo como en la figura a continuación.



Ilustración 3-40: Interfaz de control del caldero

Realizado por: Colcha F., Tonato J., 2023.

Para comenzar con el proceso de funcionamiento del caldero lo primero que se debe hacer es verificar que las válvulas de desfogue del agua y de vapor estén completamente cerradas, se le da pulsa el botón inicio que se muestra en la pantalla y la bomba comenzará a succionar el agua del recipiente hasta alcanzar el nivel que necesita el caldero,



Ilustración 3-41: Verificación de funcionamiento de bomba de agua
Realizado por: Colcha F., Tonato J., 2023.

El caldero debe estar llena hasta donde indique el visor de nivel puesto que si no es así el control de nivel en este caso el McDonnell impedirá que el quemador se encienda, una vez lleno mandará la señal al controlador y abrirá un circuito que hará que la bomba de alimentación se apague automáticamente y en la pantalla Touch se observa que la bomba está desactivada y seguido cierra otro circuito que habilitará el quemador con el indicador verde del tablero.



Ilustración 3-42: Interfaz en funcionamiento de pantalla de control del caldero
Realizado por: Colcha F., Tonato J., 2023.

Encendido el quemador se abre el gas y se producirá una chispa en el electrodo para producir la llama, a veces con la fuerza del viento se apaga la llama, pero como esta automatizado nuevamente se producirá una chispa y genera la llama.



Ilustración 3-43: Funcionamiento del quemador de gas
Realizado por: Colcha F., Tonato J., 2023.

Una vez logrado encender el quemador, el caldero debe ser capaz de elevar la temperatura del agua hasta la temperatura de ebullición y por ende elevar la presión dentro de la misma, a medida que el tiempo pasa la presión va aumentando y se logra ver por medio del manómetro que va la presión va subiendo hasta alcanzar los 30 PSI



Ilustración 3-44: Presión de funcionamiento del manómetro
Realizado por: Colcha F., Tonato J., 2023.

El tiempo que tarde hasta alcanzar los 30 PSI es entre 30 y 40 minutos, una vez llegada a esa presión en la pantalla Touch indicará que hay una sobrepresión en el caldero.



Ilustración 3-45: Indicador de presión de trabajo en la pantalla

Realizado por: Colcha F., Tonato J., 2023.

Esta presión de operación del caldero se la debe fijar en el Pressuretrol el cual es un controlador que envía la señal de apagar automáticamente el quemador cuando la presión llega al valor preestablecido.

Este equipo de control establece una variación de presión determinada por debajo o sobre la presión de operación del caldero, por lo que cuando se encuentre generando vapor de una manera continua, la presión estará variando entre el valor máximo 34 psi y mínimo 30 psi que se haya establecido en el Pressuretrol para lo cual se requiere mandar una señal automáticamente a encender el quemador cuando la presión es mínima y apagar cuando la presión es máxima.



Ilustración 3-46: Control de presión de trabajo

Realizado por: Colcha F., Tonato J., 2023.

Si se llega al caso de que el controlador de presión falle, en la parte lateral derecha se encuentra una válvula de seguridad que está regulada a la presión de diseño de la caldera la cual se abrirá cuando dicha presión ha sido sobrepasada.

Ya llegada a la presión establecida se pueda abrir la válvula de vapor para que este salga a presión como se pueda observar en la figura siguiente.



Ilustración 3-47: Generación de vapor de trabajo en el caldero

Realizado por: Colcha F., Tonato J., 2023.

Una vez que el caldero haya generado el vapor de forma continua o no, será necesario restaurar el agua que se ha consumido y es aquí donde entra en operación por segunda vez el control de nivel de agua porque si el agua baja de manera templada en la pantalla Touch mostrará que el nivel de agua es bajo por lo tanto éste cerrará el circuito que energiza la bomba de alimentación de la caldera para reponer el agua, para este proceso el quemador no estará encendido hasta que baje la presión de 30 psi.

3.4.2.2. *Ubicación del caldero de 2 BHP en la Facultad de Mecánica*

Una vez que al caldero se lo puso en marcha y trabajó normalmente se fija su ubicación para práctica de los estudiantes de la Facultad de Mecánica y se lo sitúa junto al Gasificador que se encuentra en la parte trasera del taller de fundición.

Este sitio no cuenta con una instalación de agua, y la toma más cerca del líquido se encuentra a 20 m, con los cálculos pertinentes se obtiene los materiales necesarios para que la bomba de alimentación trabaje y se realiza las conexiones necesarias, a su vez como es un lugar abierto como se observa en la ilustración 3-48, el viento hace que la flama se apague, esto indica que se realiza una cámara de protección.



Ilustración 3-48: Ubicación del caldero junto al Gasificador

Realizado por: Colcha F., Tonato J., 2023.







El problema que se tiene en el lugar donde se ubicó el caldero, es que no cuenta con una fuente de agua para abastecer al mismo y a su vez realice su trabajo, por tal motivo se necesita hacer la conexión necesaria para la obtención de agua y un tanque reservorio para que la bomba de alimentación lleve el líquido al interior de la máquina.

3.4.2.3. *Instalación del tanque cisterna y la línea de succión de agua*

Para la instalación se adquirió los materiales expuestos en la tabla.

Tabla 3-10: Accesorios para la instalación del tanque cisterna

Materiales para la instalación	
<p>Tanque reservorio de agua de marca “PLASTIGAMA” de 500 l, color azul</p>	

<p>2 universales de ½ pulgada</p>	
<p>4 tubos PVC de ½ pulgada</p>	
<p>Terraja para PVC de ½ pulgada</p>	
<p>Reductor de PVC de 1 pulgada a ½ pulgada</p>	
<p>1 llave de paso de ½ pulgada</p>	
<p>Conector codo hembra ½ rosca</p>	
<p>Válvula de pie de latón con válvula antirretorno</p>	

Uniones de PVC ½ pulgada	
Tee roscable de ½ pulgada	
Válvula cisterna con boya de ½ pulgada	
Sierra	

Realizado por: Colcha F., Tonato J., 2023

Los procesos que se ejecutaron para la instalación del tanque reservorio de agua y la línea de succión.

- Con un azadón se cava la tierra para llevar la tubería desde el gasificador hasta la toma agua.
- Cavar el ancho que tiene el tanque reservorio de agua con el fin de que quede bajo tierra.
- Armado de uniones de las tuberías PVC hasta llegar al tanque.
- Tapar con tierra la tubería
- Instalación de una llave de paso antes del tanque de agua
- Limpieza del tanque reservorio con cloro para quitar toda la suciedad que había.
- Se coloca el tanque en el agujero que se realizó para luego taparlo con tierra

- Instalación de la válvula de pie en el interior del tanque y colocación de la válvula cisterna con boya con el fin de que al momento que esté lleno ya no permita el paso del agua.
- Armado de los acoples, uniones, universales y línea de descarga de agua desde el tanque reservorio hacia la bomba de alimentación de agua.

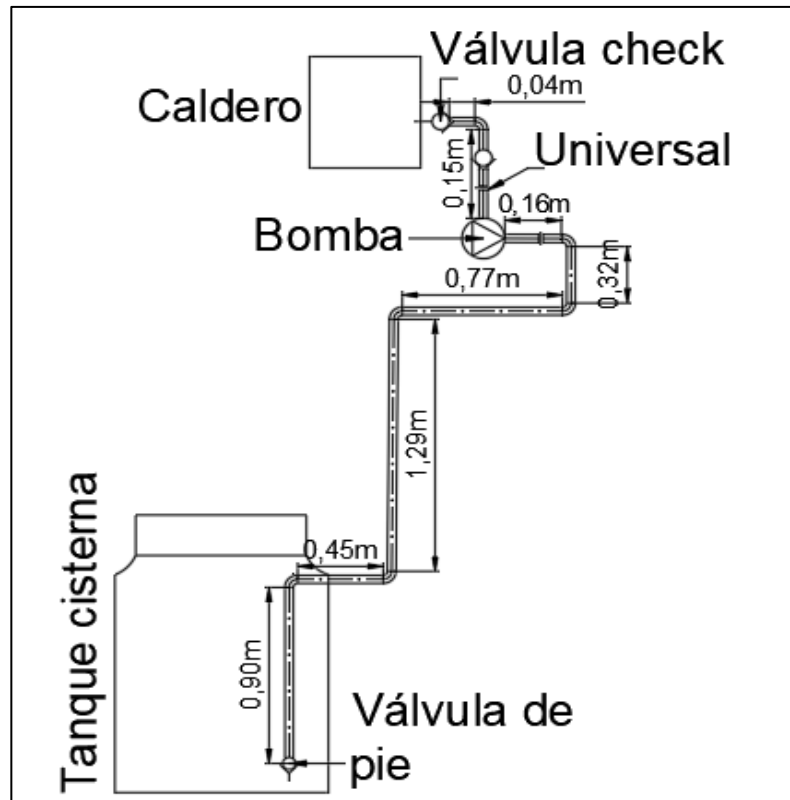


Ilustración 3-49: Diagrama de instalación de cisterna de agua

Realizado por: Colcha F., Tonato J., 2023.

Con la instalación realizada se realiza las pruebas de funcionamiento del caldero dentro del gasificador, la bomba de alimentación realiza su trabajo llevar agua hacia el interior del caldero para luego producir la chispa y con la ayuda del GLP se genera la llama, pero como el caldero se encuentra en un lugar abierto la fuerza del viento hace que el fuego se apague y no permite generar el vapor, por lo que se realiza una cámara de tol alrededor de la máquina para que obstruya el viento.

3.4.2.4. Instalación del perímetro de seguridad en el caldero

Los materiales que se utilizó son lo que se muestran en la tabla

Tabla 3-11: Materiales y equipos para la instalación de la cámara de protección

Materiales para la Instalación	
2 planchas de tol galvanizado de 1,22 * 2,44 m	
9 m ANGULO 1 1/2 X 1/8 (40X3MM)	
Una libra de electrodos E6011	
Amoladora	
Disco de corte y pulir	
Soldadora eléctrica	

Realizado por: Colcha F., Tonato J., 2023.

Los procesos que se ejecutó para la instalación de la cámara son los siguientes.

- Con un flexómetro se toma las mediciones necesarias tanto para el ángulo y para las planchas de tol.
- Con la ayuda de la cizaña se corta las planchas de tol de acuerdo con cada medida tomada
- Por medio de una tronzadora que tiene el taller de soldadura se corta el ángulo.
- Se procede a unir los ángulos por medio del arco eléctrico y dar forma a la cámara de protección.
- Una vez obtenido la cámara con el ángulo y ajustar las planchas de tol con tornillos autoperforantes



Ilustración 3-50: Instalación de carama de protección del caldero

Realizado por: Colcha F., Tonato J., 2023.

3.4.2.5. Prueba 1 válvula de vapor abierta totalmente

Se tiene los siguientes datos iniciales con el que va a trabajar el caldero:

Tabla 3-12: Datos de prueba 1 válvula de vapor totalmente abierta

DATOS	
Agua inicial	50 L
GLP inicial	29.5 kg
Tiempo de succión de la bomba	1'06"25
Agua consumida	30 L
Presión máxima	30 psi
Tiempo en llegar a presión máxima	45'18"48
Temperatura	135 °C
GLP consumido	3,6 kg
GLP sobrante	25,9 kg

Realizado por: Colcha F., Tonato J., 2023.

Una vez que se llega a los datos requeridos ya se tiene el vapor deseado, se abre completamente la válvula de desfogue y esperar a que salga todo el vapor que se encuentra en el interior del caldero.



Ilustración 3-51: Prueba 1 válvula de vapor totalmente abierta

Realizado por: Colcha F., Tonato J., 2023.

El tiempo de que se tarda en salir todo el vapor del caldero es de 39:24 segundos, cómo la presión baja repentinamente y el agua está por debajo del nivel deseado la bomba de alimentación se activa para que succione y nuevamente empezar con el proceso de funcionamiento.

3.4.2.6. Prueba 2 válvula de desfogue de vapor 1/2 abierta

Debido a la prueba anterior la presión llegó a 0 psi por lo que entra ek funcionamiento el quemador para obtener nuevamente el vapor, sus datos serían los siguientes.

Tabla 3-13: Datos de prueba 2 válvulas de vapor mitad abierta

DATOS	
Agua inicial	48 L
GLP inicial	25.9 kg
Tiempo de succión de la bomba	06:17 s
Agua consumida	4 L
Presión máxima	30 psi
Tiempo en llegar a presión máxima	22''27'12
Temperatura	136 °C
GLP consumido	1,8 kg
GLP sobrante	24,1 kg

Realizado por: Colcha F., Tonato J., 2023.

Se llega a los valores y vapor deseado, se abre 1/2 de la válvula de desfogue y esperar a que salga todo el vapor que se encuentra en el interior del caldero



Ilustración 3-52: Prueba 2 válvulas de vapor abrita a la mitad

Realizado por: Colcha F., Tonato J., 2023.

El tiempo de que se tarda en salir todo el vapor del caldero es de 01:35:57 minutos, cómo la presión baja repentinamente y el agua está por debajo del nivel deseado la bomba de alimentación se activa para que succione y nuevamente empezar con el proceso de funcionamiento

3.4.2.7. Prueba 3 válvula de desfogue vapor 1/4 abierta

Debido a la prueba anterior la presión llegó a 0 psi por lo que entra en funcionamiento el quemador para obtener nuevamente el vapor, sus datos serían los siguientes.

Tabla 3-14: Datos de prueba 3 válvulas de vapor un cuarto abierto

DATOS	
Agua inicial	50 L
GLP inicial	24.1 kg
Tiempo de succión de la bomba	0
Agua consumida	0 L
Presión máxima	30 psi
Tiempo en llegar a presión máxima	21:36:19
Temperatura	135 °C
GLP consumido	1,5 kg
GLP sobrante	22.6 kg

Realizado por: Colcha F., Tonato J., 2023.

Se llega a los valores y vapor deseado, se abre 1/4 de la válvula de desfogue y esperar a que salga todo el vapor que se encuentra en el interior del caldero



Ilustración 3-53: prueba 3 válvulas de vapor un cuarto abierto

Realizado por: Colcha F., Tonato J., 2023.

El tiempo de que se tarda en salir todo el vapor del caldero es de 39:24 segundos, cómo la presión baja repentinamente y el agua está por debajo del nivel deseado la bomba de alimentación se activa para que succione y nuevamente empezar con el proceso de funcionamiento.

3.5. Manual de operación para el caldero:

Leer las siguientes recomendaciones antes de manipular el equipo.

Las instrucciones planteadas deben ser leídas detenidamente y a su vez entender el funcionamiento antes de manipular el caldero. En el manual de operación y mantenimiento realizado se detallan las precauciones y advertencias con el fin de evitar todo tipo de percances en la manipulación del activo físico. El caldero consta de mecanismos críticos que deben ser tratados cuidadosamente para su manipulación.

3.5.1. Información general

3.5.1.1. Introducción

El presente manual de operación abarca información minuciosa del funcionamiento e instrucciones para la correcta puesta en marcha del caldero con sus sistemas. El propósito de este registro es servir como una herramienta base para que los alumnos de la ESPOCH que vayan a realizar pruebas en el equipo tengan una breve guía de su uso. En el documento se observarán advertencias y recomendaciones necesarias para su manipulación.

Tabla 3-15: Datos técnicos caldero

Datos técnicos		IMAGEN
Característica	Descripción	
Fabricante		
Dimensión		
Fuente de alimentación	110 VAC	
<p>Este es un caldero pirotubular vertical de 2BHP, que está diseñado para generar vapor, mismo que se produce por medio de la transferencia de calor a presión constante, en el cual el fluido en estado líquido se calienta y cambia su estado, utiliza lana de vidrio como aislante, para reducir las pérdidas de calor emplea GLP como combustible.</p> <p>El vapor generado tiene una alta calidad confirmándose de esta manera que el equipo es el de máximo rendimiento ya que optimiza tiempo, energía, disminuye el mantenimiento y alarga la vida útil del equipo.</p> <p>En el año 2018 en el caldero ha sido desarrollado un sistema automático con el fin de permitir agilizar las prácticas a los estudiantes, ya que interactúan con el sistema de una manera segura y les permite obtener datos reales de la temperatura y presión a la que se está trabajando.</p> <p>El sistema de monitoreo del caldero permite conocer parámetros como la temperatura, el nivel de agua, el estado de la bomba y el quemador; de una manera cómoda ya que el estudiante lo observa del Touch Panel KTP600. Al mismo tiempo que la manipulación del mismo es relativamente sencilla, asegurando un mejor entorno de trabajo.</p>		
		<p>Partes del caldero</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Tablero de control 2. Pantalla Touch 3. Manómetro 4. Válvula de seguridad 5. Control de nivel de agua (McDonnell) 6. Válvula de desfogue de agua 7. Transformador de ignición 8. Electrodo que produce la chispa 9. Quemador 10. Bomba de Agua 11. Válvula check vertical 12. Válvula de alimentación de agua 13. Válvula de desfogue de vapor 14. Presóstato 15. Sensor PT 100 16. Válvula check horizontal 17. Carcasa del caldero

Realizado por: Colcha F., Tonato J., 2023.

3.5.2. Seguridad

El operador debe tener en cuenta los factores de seguridad, ya que pueden presentar peligros potenciales, se puede evitar con capacitaciones para su manipulación del equipo, con el fin de lograr habilidades para su uso, a su vez estas capacitaciones son necesarias, pues por el desconocimiento se pueden producir accidentes para esto se debe seguir las siguientes consideraciones:

- Realizar una capacitación antes de hacer la práctica para evitar errores de operación.
- Debe estar presente el docente o técnico encargado para la manipulación de los equipos.
- Evite sobrepasar el área de seguridad marcado en el piso del caldero.
- Utilizar guantes de seguridad, a debido que cuando el caldero está funcionando la carcasa este quemando y no produzca quemaduras leves.
- Inspeccionar las conexiones del tablero de control antes de realizar la práctica.
- Inspeccionar las conexiones de tuberías del caldero
- Asegurar que el tanque reservorio de agua utilizado en el caldero contenga agua antes de su operación.
- No manipular las válvulas de desfogue tanto de agua como de vapor cuando se esté operando el caldero.
- No introducir las manos ni alguna parte del cuerpo en el interior del caldero cuando este en operación.
- Tener cuidado con el nivel de control de agua debido a que es de cristal y cualquier apoyo pude causar su deterioro.

3.5.3. Instrucciones para el correcto uso del caldero

Para que el equipo sustente su función requerida preste atención a las siguientes instrucciones.

- Una incorrecta alimentación de agua podría causar daños en el caldero
- Verificar que el tanque reservorio de agua para el caldero este alimentada
- Verificar que no exista vibraciones en la bomba de agua.
- Verificar que el tanque de gas esté conectado y tenga combustible.
- Mantener abierta la válvula de alimentación de agua para que al momento de que la bomba empieza a trabajar logre ingresar el fluido al interior del caldero.
- Mantener cerradas las válvulas de desfogue de agua y de vapor.

3.5.4. *Instrucciones previas a la operación de equipo*

- Mantener el área de trabajo limpio antes de iniciar a trabajar para evitar percances
- Usar el distanciamiento adecuado para la toma de datos.
- Usar los equipos de seguridad como mandil, tapones para oídos, guantes y mascarilla.

3.5.5. *Instrucciones para el control de nivel de agua (McDonnell)*

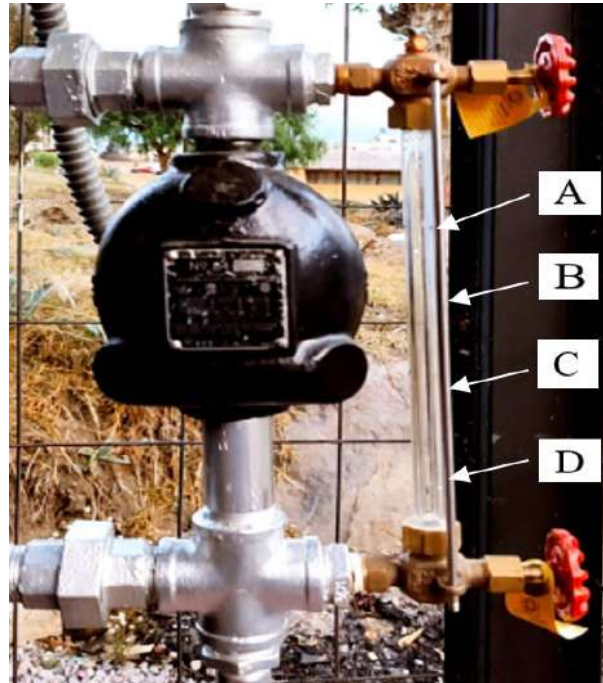


Ilustración 3-54: Partes del control de nivel de agua del caldero

Realizado por: Colcha F., Tonato J., 2023.

- A. En este punto se apaga de alimentación de agua, se debe llenar el interior del caldero a esta altura.
- B. La bomba se enciende cuando el control de nivel de agua baja de A hacia B.
- C. En el punto de corte por nivel de agua, el quemador se apagará si el nivel de agua baja hasta este punto.
- D. primer punto visible en la mirilla de nivel.

3.5.6. *Instrucciones de operación de la pantalla Touch*

- Al momento de encender el caldero con la ayuda del selector observa que la pantalla Touch en encienda y nos muestre sus usos de aplicación.



Ilustración 3-55: Control inicial llenado de agua del caldero

Realizado por: Colcha F., Tonato J., 2023.

- Pulsar el botón INICIO para que el caldero empiece con la función requerida y como se ve que el nivel de agua está bajo el sistema automáticamente encenderá la bomba de alimentación para que ingrese el agua y el nivel de control llegue a su límite.
- En el caso de que produzca algún fallo en la bomba, la pantalla notifica que existe una SOBRECARGA BOMBA y se debe pulsar el botón PARO.
- Ya puesto en marcha el sistema del caldero en la pantalla Touch se marcarán 3 círculos de opciones 1) Sistema en marcha, 2) Nivel bajo de tanque y 3) Bomba, esto nos indica que está funcionando en ese momento.



Ilustración 3-56: Control inicial de funcionamiento de bomba de agua

Realizado por: Colcha F., Tonato J., 2023.

- La bomba y el nivel bajo de tanque se desactivarán cuando el agua llegue a su alcance establecido.

- Al llenarse el caldero en la pantalla aparecerá un botón ON y al pulsarlo se activará el quemador.
- Se marcará SOBREPRESIÓN cuando el sistema llegue a la presión establecida de 30 a 34 psi.

3.5.7. Instrucciones para el sistema de ignición del caldero

- No manipular la válvula de gas
- Asegurar que el tanque de gas tenga una distancia prudente del caldero.
- Asegurar que ningún cable esté cerca del quemador que no provoque alguna quemadura.
- Al momento que el quemador está funcionando no colocar las manos ni acercarse mucho al hogar de la combustión.

3.5.8. Procedimiento para arranque seguro del caldero:

- Verificar el nivel de agua de la caldera
- Cierre todos los desagües y purga
- Coloque el sistema de control de la caldera en línea y comience el arranque
- Energice el sistema de control y encienda la caldera al modo de operación

3.5.9. Procedimiento para operar el caldero:

- Coloque el interruptor de energía de la caldera en la posición de ON, para proporcionarle energía al sistema de control de quemador.
- Automáticamente se encenderá la bomba de alimentación para que succione el agua al interior del caldero hasta que llegue al nivel de agua deseado, después de eso la bomba se apagará.
- Una vez lleno el caldero, compruebe que nivel de agua sea el correcto, para asegurar su funcionamiento.
- Verificar la posición de la válvula de combustible.
- Si la caldera está siendo arrancada en frío, el quemador permanecer en el modo de bajo fuego para permitir que la caldera se caliente lentamente.
- Una vez que el quemador arranca, observar la secuencia de operación exacta es mostrada en el programador del caldero. El caldero va aumentando la temperatura y presión.

- Cerrar las válvulas de drenaje en las tuberías de distribución del sistema de vapor, a medida que se van calentando y presurizando.
- Verificar las operaciones de control “limite”, haciendo que cada uno de los parámetros del límite alcance su punto programado, y la operación del sistema de control.
- Una vez que se ha completado el arranque y el caldero está manteniendo la presión de programada, camine alrededor de la caldera y todo su equipo de apoyo buscando condiciones anormales
- Sea cuidadoso con el sistema de condensado, para mantener el suficiente nivel de alimentación de agua del caldero.
- Una vez que la presión llega entre 30 y 34 psi el quemador se apagará, para este momento el caldero ya tiene vapor en el interior.
- Abrir la válvula de desfogue de vapor y se observará que éste sale.

3.5.10. Apagado del equipo:

- Cerrar las válvulas de alimentación del equipo.
- Presionar el botón de apagado del equipo tanto de la pantalla Touch como del tablero de control
- Realizar el des purgado del caldero
- Desconectar el equipo de la fuente de alimentación
- Retirar la válvula de alimentación del gas.

3.5.11. Limpieza del equipo:

El usuario debe realizar una limpieza del equipo cada vez que se haga una práctica para que no afecten a los equipos, por la presencia de polvo y suciedad.

3.5.11.1. La purga:

- El des purgado elimina la mayoría del lodo suciedad y otros materiales indeseables del caldero, que se aculan debido al funcionamiento del mismo.

3.5.11.2. Limpieza química de calderos:

- Limpieza tipo alcalina, se efectúa cuando el caldero es nuevo o las superficies estén recubiertas de aceites o grasas, o contaminado con restos de derivados de petróleos.

- Limpieza de tipo acida, esta se realiza cuando en el caldero se encuentra incrustaciones, para prevenir la corrosión o el deterioro de las superficies del caldero.

3.5.11.3. Limpieza de los tubos:


- Eliminar las acumulaciones de hollín en los tubos, el hollín disminuye la transferencia de calor, esto sería en el caso que se desmonte el caldero.

3.6. Plan de mantenimiento del caldero de 2 BHP

El plan de mantenimiento es un documento estructurado de tareas que intervienen las actividades, procedimientos, recursos, tiempo de ejecución y la duración necesaria para realizar el mantenimiento (UNE-EN, 2018).

En la tabla siguiente se aprecia el formato elaborado para la ejecución del plan de mantenimiento, dónde se detalla las actividades, frecuencias y el responsable que está a cargo de las tareas propuestas.

Tabla 3-16: Formato de la tabla para actividades de mantenimiento

	PLAN DE MANTENIMIENTO	ELABORADO POR	
	FACULTAD DE MECÁNICA	FECHA:	
	GASIFICADOR DE MECÁNICA	ELABORADO POR	
	ACTIVIDADES	Frecuencia	Responsable

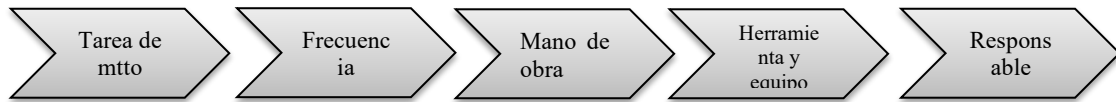
Realizado por: Colcha F., Tonato J., 2023.

Al aplicar correctamente las tareas de mantenimiento que están propuestas dentro del plan de mantenimiento, el activo físico en este caso el caldero de 2 BHP conservará la función requerida, para esto el operario debe ser capacitado para trabajar en el equipo.

3.6.1. Estrategias para la elaboración del plan de mantenimiento


Los pilares fundamentales para plantear correctamente las tareas preventivas de ejecución en un plan de mantenimiento son las estrategias de su elaboración, y entre los criterios más relevantes son:

Para el plan de mantenimiento se considera los procesos detallados en el gráfico a continuación



Para la elaboración de la logística de mantenimiento se propone a utilizar el formato que se muestra en la tabla donde se incluyen datos y los requerimientos necesarios.

Tabla 3-18: Formato de la tabla para la logística del mantenimiento

	LOGÍSTICA DE MANTENIMIENTO FACULTAD DE MECÁNICA GASIFICADOR DE MECÁNICA				ELABORADO POR					
					FECHA DE ELABORACIÓN					
					N° FICHA					
SISTEMA CODIGO		Mano de obra			Repuestos y materiales			Herramientas y equipos		Resp.
TAREAS DE MANTENIMIENTO	Frecuencia	Tiempo requerido	Nº de personal	Costo de la mano de obra	Descripción	Cant.	Costo del repuesto	Descripción	Cant.	

Realizado por: Colcha F., Tonato J., 2023.

3.6.4. Documentación de mantenimiento

Proporciona documentación técnica general antes de realizar actividades de mantenimiento. Estos documentos son instrumentos técnicos para quienes los necesiten porque contienen información específica, En la norma regional UNE-EN 13460:2009 proporciona algunos tipos de documentación para una buena gestión del mantenimiento.

3.6.4.1. Documentación de la fase operativa

Los documentos más importantes de la etapa operativa son:

- Histórico de mantenimiento
- Ficha Técnica
- Orden de trabajo

3.6.4.2. Histórico de mantenimiento

El histórico de mantenimiento ayuda a tener un registro de actividades correctivas y preventivas que se realizan en un determinado equipo y así llevar la gestión de mantenimiento de una manera más eficiente.

3.6.4.3. Ficha técnica

La ficha técnica es un documento que describe las características de un equipo con el fin de conocer su datos, sistema o subsistema que se vaya a utilizar para trabajar. Aquí también se mencionan la disponibilidad, el modo de operación las tareas de mantenimiento, quién es el responsable del activo físico, las fechas de cumplimiento, y las observaciones que existan en el equipo.

3.6.4.4. Orden de trabajo

Una orden de trabajo tiene la información necesaria para realizar tareas de mantenimiento que son dispuestas, cuál será el responsable, los repuestos, las herramientas, tiempo de cumplimiento, etc. Esta orden de trabajo además permite la predicción estadística de los activos físicos por su ciclo de vida y según su contexto operacional.

3.6.5. Plan de mantenimiento

El plan de mantenimiento del caldero de 2BHP se elaboró en base a la compilación de información del manual de fabricante, de los operarios que están encargados del gasificador de Mecánica y por observaciones de los estudiantes que realizan sus prácticas de laboratorio.

Para la designación de las frecuencias se utiliza un intervalo de tiempo en semanas, debido a que el caldero no se encuentra en constante operación a continuación se muestra el plan de mantenimiento propuesto.

Según la Norma UNE-EN 13306 un plan de mantenimiento es un documentado estructurado dónde incluyen tareas, procesos, tiempo de ejecución y los recursos necesarios para realizar el mantenimiento requerido por un activo físico

Tabla 3-19: Plan de mantenimiento del caldero

	PLAN DE MANTENIMIENTO	ELABORADO POR	
	FACULTAD DE MECÁNICA	FECHA:	
	GASIFICADOR DE MECÁNICA	ELABORADO POR	
	ACTIVIDADES	Frecuencia	Responsable
	SISTEMA MECÁNICO		
	Limpieza de tuberías	12S	Encargado del caldero
	Inspección visual y auditiva de la bomba de agua	12S	Encargado del caldero
	Inspección visual del aislamiento térmico	12S	Encargado del caldero
	Limpieza de la carcasa y hogar	12S	Encargado del caldero
	Inspección visual y limpieza de los tubos de calor	24S	Encargado del caldero
	Termografía en los rodamientos de la bomba	12S	Encargado del caldero
	Limpieza del quemador	12S	Encargado del caldero
	SISTEMA ELÉCTRICO		
	Inspección de cables del tablero eléctrico	6S	Encargado del caldero
	Limpieza del tablero eléctrico	6S	Encargado del caldero
	Termografía de tablero de control	12S	Encargado del caldero
	Revisión del accionamiento de pulsadores, breaker y paro de emergencia	6S	Encargado del caldero
	Inspección de control PLC y pantalla Touch	12S	Encargado del caldero
	SISTEMA DE MANDO Y CONTROL		
	Inspección de accesorios, válvulas y abrazaderas	6S	Encargado del caldero
	Inspección del manómetro	12S	Encargado del caldero
	Revisión válvula de gas	12S	Encargado del caldero
	Inspección y limpieza de válvulas	12S	Encargado del caldero
	Inspección y limpieza del McDonnell	12S	Encargado del caldero


Realizado por: Colcha F., Tonato J., 2023.

3.6.6. Cronograma de mantenimiento

El cronograma de mantenimiento establece los horarios y las frecuencias que son distribuidas en forma equilibrada durante un año de funcionamiento. Los intervalos de tiempo son designados dependiendo el periodo académico de la ESPOCH, debido a que el tiempo que los estudiantes están de vacaciones, no existe el personal indicado para cumplir con las tareas de mantenimiento que se han propuesto


En la tabla 22-3, se muestra el cronograma con las 48 semanas del año que a su vez están distribuidas para cada una de las tareas de mantenimiento.

Tabla 3-20: Cronograma de mantenimiento del caldero

	CRONOGRAMA DE MANTENIMIENTO																																																								
	FACULTAD DE MECANICA																										GASIFICADOR DE MECÁNICA																														
	ELABORADO POR: Colcha Fausto, Tonato Jhonny													REVISADO POR:													FECHA:																														
	Frecuencia	SEMANA S																																																							
Enero				Febrero				Marzo				Abril				Mayo				Junio				Julio				Agosto				Septiembre				Octubre				Noviembre				Diciembre													
SISTEMA MECÁNICO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52					
Limpieza de tuberías		1											1												1																												1				
Inspección visual y auditiva de la bomba de agua			1											1													1																												1		
Inspección visual del aislamiento térmico	1												1												1																														1		
Limpieza de la carcasa y hogar		1																								1																													1		
Inspección visual y limpieza de los tubos de calor					1												1												1																										1		
Termografía en los rodamientos de la bomba								1										1																																				1			
Limpieza del quemador							1											1																																					1		
SISTEMA ELECTRICO																																																									
Inspección de cables del tablero eléctrico			1							1					1							1						1																												1	
Limpieza del tablero eléctrico			1							1					1							1						1																												1	
Termografía de tablero de control									1										1																																					1	
Revisión del accionamiento de pulsadores, breaker y paro de emergencia			1							1					1							1						1																												1	
Inspección de control PLC y pantalla Touch											1												1																																		1
SISTEMA DE MANDO Y CONTROL																																																									
Inspección de accesorios, válvulas y abrazaderas					1									1								1																																		1	
Inspección del manómetro								1															1																																	1	
Revisión válvula de gas								1																																																1	
Inspección y limpieza de válvulas				1																																																				1	
Inspección y limpieza del McDonnell				1																																																				1	

Realizado por: Colcha F., Tonato J., 2023.

Tabla 3-21: Logística de mantenimiento del caldero

		LOGÍSTICA DE MANTENIMIENTO									
		FACULTAD DE MECÁNICA					ELABORADO POR:		Colcha Fausto, Tonato Jhonny		
		GASIFICADOR DE MECÁNICA					FECHA:				
Descripción del equipo		Dinamómetro									
		Logística									
Sistema	Descripción de la tarea	Materiales		Repuestos		Mano de Obra			Herramientas		
		Descr.	Cant.	Descr.	Cant.	Descr.	Cant.	Tiempo est.	Descripción	Cant.	
SISTEMA MECÁNICO	Limpieza de tuberías	Líquido desincrustante	4 lt			Encargado deltaller	1	1 h	Caja de herramientas mecánicas	1	
		Agua	10 lt			Encargado deltaller					
	Inspección visual y auditiva de la bomba de agua	Destornillador estrella	1			Encargado deltaller	1	30 min	Caja de herramientas mecánicas	1	
		Llave de tubo	1			Encargado deltaller				Caja de herramientas mecánicas	1
	Inspección visual del aislamiento térmico					Encargado deltaller	1	10 min	Caja de herramientas mecánicas	1	
	Limpieza de la carcasa y hogar	Líquido antioxidante	2 lt			Encargado deltaller	1	30 min	Caja de herramientas mecánicas	1	
		Waípe	2 lb			Encargado deltaller					

	Inspección visual y limpieza de los tubos de calor	Cloro	2 lt			Encargado del taller	1	2 h	Caja de herramientas mecánicas	1
	Termografía en los rodamientos de la bomba	Cámara termográfica, pinzas amperimétricas	1			Encargado del taller	1	2h	Caja de herramientas mecánicas	1
	Limpieza del quemador	Cepillo de cerdas duras, waipe	1			Encargado del taller	1	1h	Caja de herramientas mecánicas	1
SISTEMA ELECTRICO	Inspección de cables del tablero eléctrico	Multímetro, peladora de cables	1			Encargado del taller	1	30 min	Caja de herramientas mecánicas	1
	Limpieza del tablero eléctrico	Brocha, waipe	1			Encargado del taller	1	20 min	Caja de herramientas mecánicas	1
	Termografía de tablero de control	Cámara termográfica				Encargado del taller	1	1 h	Caja de herramientas mecánicas	1
	Revisión del accionamiento de pulsadores, breaker y paro de emergencia					Encargado del taller	1	30 min	Caja de herramientas mecánicas	1
	Inspección de control PLC y pantalla Touch	Multímetro	1			Encargado del taller	1	1 h	Caja de herramientas mecánicas	1
SISTEMA DE MANDO Y CONTROL	Inspección de accesorios, válvulas y abrazaderas	Destornillador estrella, llaves	1			Encargado del taller	1	20 min	Caja de herramientas mecánicas	1
	Inspección del manómetro					Encargado del taller	1	20 min	Caja de herramientas mecánicas	1
	Revisión válvula de gas					Encargado del taller	1	10 min	Caja de herramientas mecánicas	1
	Inspección y limpieza de válvulas	Waipe	2 lb			Encargado del taller	1	30 min	Caja de herramientas mecánicas	1
	Inspección y limpieza del McDonnell	Waipe	2 lb			Encargado del taller	1	30 min	Caja de herramientas mecánicas	1

Realizado por: Colcha F., Tonato J., 2023.

CAPÍTULO IV

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este capítulo se analiza y se interpreta los resultados que se obtuvo durante mantenimiento correctivo y puesta en operación de un caldero pirotubular de 2 BHP, mediante la metodología del RCM y con pruebas de funcionamiento realizado en la Gasificador que se encuentra en la Facultad de Mecánica.

Se realiza el primer paso que es el análisis técnico actual del caldero para asignar la gestión de mantenimiento e implementar las metodologías y estrategias de manutención correctivo del mismo. Además de presentar un plan de mantenimiento correspondiente, que permite abocar de manera efectiva los problemas que presenta el caldero.

4.1. Resultados del análisis técnico inicial

Al estudiar el equipo en las condiciones en que se halló, se procede a realizar una valoración inicial de los componentes del mismo para esto se emplea el método basado en la criticidad para asignar la calificación respectiva a cada uno de ellos.

Esta reseña de evaluación del caldero está organizada para optimizar el mantenimiento al identificar el rendimiento de los componentes del equipo, para esto se examina los diferentes sistemas para clasificarlos en función de su impacto en la operación.

Para obtener la valoración de la criticidad se visualiza en las siguientes tablas que brindan una base sólida para una gestión eficiente.

Tabla 4-1: Frecuencia de fallas

Frecuencia de Fallas	
Criterio	Valoración
Elevado, mayor a 40 fallas/año	4
Promedio, de 20 a 40 fallas/año	3
Buena, de 10 a 20 fallas/año	2
Excelente, menos de 10 fallas al año	1

Realizado por: Colcha F., Tonato J., 2023.

Tabla 4-2: Impacto operacional

Impacto Operacional	
Criterio	Valoración
Parada total del equipo	10
Parada parcial del equipo y repercute a otro equipo o subsistema	7-9
Impacta a niveles de producción y calidad	5-6
Repercute en costos operacionales asociados a disponibilidad	2-4
No genera ningún efecto significativo	1

Realizado por: Colcha F., Tonato J., 2023.

Tabla 4-3: Flexibilidad operacional

Flexibilidad Operacional	
Criterio	Valoración
No existe opción igual o equipo similar de repuesto	4
El equipo puede seguir funcionando	2-3
Existe otro igual o disponible fuera del sistema	1

Realizado por: Colcha F., Tonato J., 2023.

Tabla 4-4: Costo de mantenimiento

Costo de Mantenimiento	
Criterio	Valoración
Mayor o igual a \$500 (incluye repuesto)	2
Inferior a \$500 (incluye repuesto)	1

Realizado por: Colcha F., Tonato J., 2023.

Tabla 4-5: Impacto seguridad, ambiente e higiene

Impacto Seguridad, Ambiente e Higiene	
Criterio	Valoración
Accidente catastrófico	8
Accidente mayor serio	6-7
Accidente menor o incidente menor	4-5
Causa accidente o incidente menor	2-3
Desvió	1
No provoca ningún tipo de riesgo	0

Realizado por: Colcha F., Tonato J., 2023.

Tabla 4-6: Gravedad

GRAVEDAD	
Criterio	Valoración
Ínfima, Imperceptible	1
Escasa, falla menor	2-3
Baja, fallo inminente	4-5
Media, fallo, pero no para el sistema	6-7
Elevada, falla crítica	8-9
Muy elevada, con problemas de seguridad, no conformidad	10

Realizado por: Colcha F., Tonato J., 2023.

Tabla 4-7: Ocurrencia

OCURRENCIA	
Criterio	Valoración
1 falla en más de 2 años	1
1 falla cada 2 años	2-3
1 falla cada 1 año	4-5
1 falla entre 6 meses y 1 año	6-7
1 falla entre 1 a 6 meses	8-9
1 falla al mes	10

Realizado por: Colcha F., Tonato J., 2023.

La criticidad se obtiene de forma cuantitativa, al multiplicar la frecuencia de ocurrencia de un fallo por la suma de las consecuencias, para determinar la criticidad se usa la fórmula:

$$\text{Criticidad} = \text{Frecuencia} * \text{Consecuencia}$$

La consecuencia se calcula mediante los factores de impacto operacional, flexibilidad operacional, costos de mantenimiento y los impactos en seguridad, ambiente e higiene, para determinar la consecuencia se usa la fórmula:

$$\text{Consecuencia} = (\text{Impacto Operacional} * \text{Flexibilidad Operacional}) + \text{Costo de mantenimiento} \\ + \text{Impacto Seguridad, Ambiente e Higiene}$$

Tabla 4-8: Rango de criticidad

Rangos de criticidad	
Criterio	Valoración
C: Critico	$50 \leq \text{criticidad} \leq 200$
SC: Semi Critico	$30 \leq \text{criticidad} \leq 49$
NC: No critico	$5 \leq \text{criticidad} \leq 29$

Realizado por: Colcha F., Tonato J., 2023.

A continuación, se muestra el nivel de criticidad del sistema mecánico del caldero.

Bomba de suministro de agua

$$\text{Consecuencia} = (10 * 4) + 1 + 0 = 41$$

$$\text{Consecuencia} = 41$$

$$\text{Criticidad} = \text{Frecuencia} * \text{Consecuencia}$$

$$\text{Criticidad} = 2 * 41 = 82$$

Quemador

$$\text{Consecuencia} = (10 * 4) + 1 + 0 = 41$$

$$\text{Consecuencia} = 47$$

$$\text{Criticidad} = \text{Frecuencia} * \text{Consecuencia}$$

$$\text{Criticidad} = 2 * 41 = 82$$

Pressuretrol

$$\text{Consecuencia} = (7 * 4) + 1 + 8 = 37$$

$$\text{Consecuencia} = 37$$

$$\text{Criticidad} = \text{Frecuencia} * \text{Consecuencia}$$

$$\text{Criticidad} = 2 * 37 = 74$$

Válvula de seguridad

$$\text{Consecuencia} = (7 * 4) + 1 + 8 = 37$$

$$\text{Consecuencia} = 37$$

$$\text{Criticidad} = \text{Frecuencia} * \text{Consecuencia}$$

$$\text{Criticidad} = 1 * 37 = 37$$

Tubería de calor

$$\text{Consecuencia} = (7 * 4) + 1 + 8 = 37$$

$$\text{Consecuencia} = 37$$

$$\text{Criticidad} = \text{Frecuencia} * \text{Consecuencia}$$

$$\text{Criticidad} = 2 * 37 = 74$$

Los resultados se muestran en la tabla a continuación con el nivel de criticidad obtenido

Tabla 4-9: Resultados de componentes críticos en el sistema mecánico

Subsistema Mecánico (componentes)		Criticidad Total	Nivel de Criticidad
1	Bomba de suministro de agua	82	C
2	Quemador	82	C
3	Pressuretrol	74	C
4	Válvula de seguridad	37	SC
5	Tubería de vapor	74	C

Realizado por: Colcha F., Tonato J., 2023.

El sistema mecánico que consta de 5 componentes se halla que 4 (80 %) se encuentran en un nivel crítico, ya sea que se encuentran obsoletos o que no son los adecuados: 1). La bomba de agua al evidenciar su estado en que se hallaba ya no cumple con su función operacional, 2) El quemador del caldero no funciona y por lo tanto se debe reemplazar, 3) La válvula de seguridad a ser un accesorio de vital importancia para el impacto operacional se aconseja ser cambiado por uno nuevo, 4) Las tuberías de vapor al presentar signos de desgaste y sedimentación a lo largo de su cuerpo y por el tiempo de vida que ya tienen se deben cambiar por nuevas que soporten el trabajo al cual van a ser sometidas.

En tanto al sistema eléctrico se obtiene los siguientes datos.

Interruptores

$$\text{Consecuencia} = (7 * 2) + 2 + 1 = 17$$

$$\text{Consecuencia} = 17$$

$$\text{Criticidad} = \text{Frecuencia} * \text{Consecuencia}$$

$$\text{Criticidad} = 2 * 17 = 34$$

Botones

$$\text{Consecuencia} = (2 * 2) + 1 + 2 = 7$$

$$\text{Consecuencia} = 7$$

$$\text{Criticidad} = \text{Frecuencia} * \text{Consecuencia}$$

$$\text{Criticidad} = 2 * 7 = 14$$

Contactores

$$\text{Consecuencia} = (7 * 4) + 1 + 2 = 31$$

$$\text{Consecuencia} = 31$$

$$\text{Criticidad} = \text{Frecuencia} * \text{Consecuencia}$$

$$\text{Criticidad} = 2 * 31 = 62$$

Relé de control

$$\text{Consecuencia} = (7 * 4) + 1 + 6 = 35$$

$$\text{Consecuencia} = 35$$

$$\text{Criticidad} = \text{Frecuencia} * \text{Consecuencia}$$

$$\text{Criticidad} = 2 * 35 = 70$$

Medidor de temperatura

$$\text{Consecuencia} = (7 * 4) + 1 + 6 = 35$$

$$\text{Consecuencia} = 35$$

$$\text{Criticidad} = \text{Frecuencia} * \text{Consecuencia}$$

$$\text{Criticidad} = 2 * 35 = 70$$

Fuente de alimentación de 12V

$$\text{Consecuencia} = (7 * 4) + 1 + 2 = 31$$

$$\text{Consecuencia} = 31$$

$$\text{Críticidad} = \text{Frecuencia} * \text{Consecuencia}$$

$$\text{Críticidad} = 2 * 31 = 6$$

El nivel de criticidad obtenida se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 4-10: Resultado de componentes críticos en el sistema eléctrico

Subsistema Eléctrico (componentes)		Críticidad Total	Nivel de Críticidad
1	Interruptores	34	SC
2	Botones	14	NC
3	Contactores	62	C
4	Relé de control	70	C
5	Medidor de temperatura	70	C
6	Fuente de alimentación de 12V	62	C

Realizado por: Colcha F., Tonato J., 2023.

En el sistema de control se obtiene:

McDonnell

$$\text{Consecuencia} = (7 * 4) + 1 + 6 = 35$$

$$\text{Consecuencia} = 35$$

$$\text{Críticidad} = \text{Frecuencia} * \text{Consecuencia}$$

$$\text{Críticidad} = 2 * 35 = 70$$

PLC

$$\text{Consecuencia} = (7 * 4) + 1 + 6 = 35$$

$$\text{Consecuencia} = 35$$

$$\text{Críticidad} = \text{Frecuencia} * \text{Consecuencia}$$

$$\text{Críticidad} = 2 * 35 = 70$$

Interfaz de usuario

$$\text{Consecuencia} = (7 * 4) + 1 + 2 = 31$$

$$\text{Consecuencia} = 31$$

$$\text{Críticidad} = \text{Frecuencia} * \text{Consecuencia}$$

$$\text{Críticidad} = 2 * 31 = 62$$

Tabla 4-11: Resultado de componentes críticos en el sistema de control

Sistema de control (componentes)		Críticidad Total	Nivel de Críticidad
1	McDonnell	70	C
2	PLC	70	C
3	Interfaz de usuario	62	C

Realizado por: Colcha F., Tonato J., 2023.

4.2. Inspecciones de mantenimiento

Tabla 4-12: Lista de componentes para inspeccionar

Componente	Inspección
Tubos de calor y hogar	Incrustaciones Corrosión y fisuras
McDonnell	Incrustaciones Empaques Límites electrónicos
Visor de nivel de agua	Limpieza del visor Posibles fugas de agua por el visor
Manómetro	Limpieza del visor Metrología Posibles fugas del manómetro
Válvula de seguridad, purga, check	Componentes Internos Posibles fugas o ruidos extraños Lubricación
Quemador	Limpieza del quemador Incrustaciones
Recubrimiento aislante	Estado del material
Bomba de alimentación de agua	Oxidación Sedimentación
Cuerpo del caldero	Estado de la soldadura Corrosión y fisuras Limpieza general
Tanque reservorio de agua y tuberías	Limpieza del tanque

Realizado por: Colcha F., Tonato J., 2023

4.3. Resultado de la instalación de agua

El agua se toma de conexión cerca a uno de los talleres de la facultad de Mecánica para ser almacenado en un tanque cisterna.

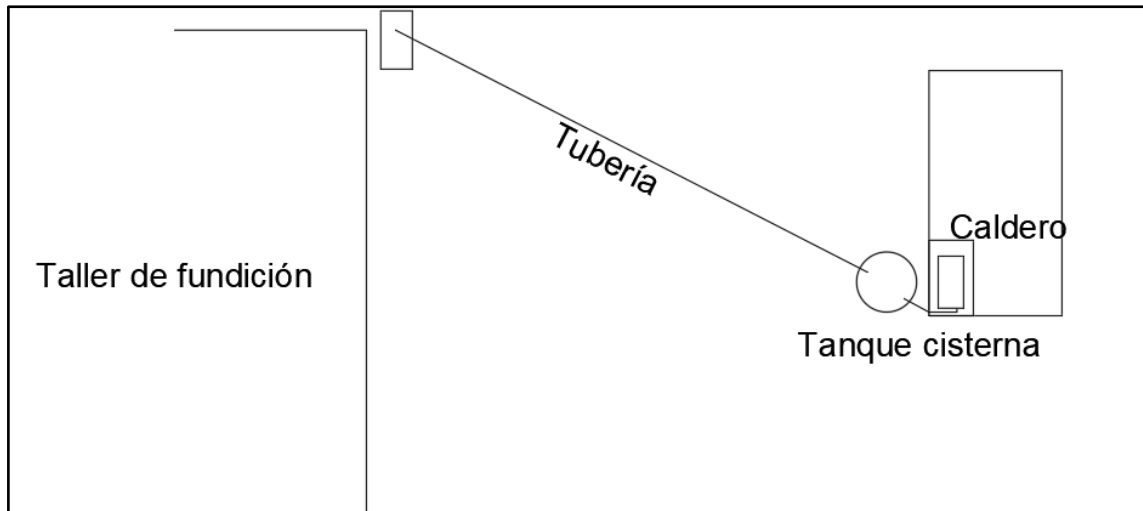


Ilustración 4-1: Esquema de acometida de ingreso de agua a cisterna

Realizado por: Colcha F., Tonato J., 2023.

El sistema de suministro de agua para el equipo de generación de vapor posee varios accesorios que se detallan a continuación:

Antes del ingreso a la bomba se emplea accesorios y tubería de plástico que transporta agua a temperatura ambiente.

Tabla 4-13: Lista de accesorios de ingreso para la bomba de agua

Accesorio	Cantidad	Unidad
Válvula de pie	1	U
Tubería ½ pulg	3,9	m
Codo 90°	5	U
Unión universal	1	U

Realizado por: Colcha F., Tonato J., 2023.

Después de la bomba se emplea accesorios y tuberías de acero

Tabla 4-14: Lista de accesorios a la salida de la bomba de agua

Accesorio	Cantidad	Unidad
Tubería ½ pulg	0,23	m
Codo 90°	2	U
Válvula check	2	U
Unión universal	1	U

Realizado por: Colcha F., Tonato J., 2023.

Cálculo de pérdida en la instalación. Se debe calcular la carga de bombeo del sistema de suministro de agua para el caldero.

El líquido que va a transportar la tubería es agua a temperatura ambiente estimada de 16 °C.

Antes de la bomba:

Área interna de la tubería.

Diámetro (D_i) = 15,2 mm = 0,0152 m

$$A = \pi r^2$$

$$A = \pi(0,0076)^2$$

$$A = 0,0001815 \text{ m}^2$$

Velocidad del flujo dentro de la tubería.

Caudal (Q) = 36 l/min = 0,0006 m³/s = 2,16 m³/h

$$v = \frac{Q}{A}$$

$$v = \frac{0,0006 \text{ m}^3/\text{s}}{0,0001815 \text{ m}^2}$$

$$v = 3,3065 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Numero de Reynolds a temperatura ambiente de 16 °C

Viscosidad (μ) = 0,0011111 Kg/m s

Densidad (ρ) = 999,03 Kg/m³

$$Re = \frac{D_i v \rho}{\mu}$$

$$Re = \frac{0,0152 * 3,3065 * 999,03}{0,0011111}$$

$$Re = 45 190, 09$$

$$5000 \leq Re \leq 1 000 000$$

Lo que nos dice que está comportando como flujo turbulento

Con los siguientes datos se emplea la ecuación de Darcy-Weisbach para obtener la pérdida primaria de carga en la instalación:

$$h = f * \frac{L}{D_i} * \frac{v^2}{2g}$$

Donde:

h: pérdida de carga o de energía [m]

f: coeficiente de fricción (adimensional)

L: longitud de tubería [m]

Di: diámetro interno [m]

v: velocidad [m/s]

g: aceleración de la gravedad [m/s²]

Q: caudal [m³/s]

La ecuación de Swamee-Jain elabora cálculos directos y sin iteraciones, para el factor de fricción, y que está relacionado de los siguientes datos:

v: velocidad [m/s]

Di: diámetro interno [m]

ε: rugosidad absoluta [m]

Re: número de Reynolds (adimensional)

Para este tramo de tubería de plástico se determina una rugosidad de ε = 0,0000003 m

$$f = \frac{0,25}{\left[\log \left(\frac{\frac{\varepsilon}{D_i}}{3,7} + \frac{5,74}{Re^{0,9}} \right) \right]^2}$$
$$f = \frac{0,25}{\left[\log \left(\frac{\frac{0,0000003}{0,0152}}{3,7} + \frac{5,74}{42\ 190,09^{0,9}} \right) \right]^2}$$
$$f = 0,02132$$

y la ecuación de cálculos de pérdidas secundarios o de accesorios.

$$h = f^* \frac{L}{D_i} * \frac{v^2}{2g}$$

En la tabla se indica las pérdidas en tubería y accesorios en el tramo anterior a la instalación de la bomba.

Tabla 4-15: Resultado del cálculo de pérdidas en la tubería y accesorios al ingreso

	Total	K	Perdida (m)
Válvula de pie	1	420	4,990
Tubería	3,9		3,048
Codo 90°	5	30	1,782
Unión universal	Despreciable		0
		Total	9,820

Realizado por: Colcha F., Tonato J., 2023.

Después de la bomba

Área interna de la tubería.

Diámetro (D_i) = 13,9 mm = 0,0139 m

$$A = \pi r^2$$

$$A = \pi(0,00695)^2$$

$$A = 0,0001517 \text{ m}^2$$

Velocidad del flujo dentro de la tubería.

Caudal (Q) = 36 l/min = 0,0006 m³/s = 2,16 m³/h

$$v = \frac{Q}{A}$$

$$v = \frac{0,0006 \text{ m}^3/\text{s}}{0,0001815 \text{ m}^2}$$

$$v = 3,3065 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Numero de Reynolds a temperatura ambiente de 16 °C

Viscosidad (μ) = 0,0011111 Kg/m s

Densidad (ρ) = 999,03 Kg/m³

$$Re = \frac{D_i v \rho}{\mu}$$

$$Re = \frac{0,0139 * 3,3065 * 999,03}{0,0011111}$$

$$Re = 41 325,14$$

$$5000 \leq Re \leq 1 000 000$$

Lo que nos dice que está comportando como flujo turbulento

Con los siguientes datos se emplea la ecuación de Darcy-Weisbach para obtener la pérdida primaria de carga en la instalación:

$$h = f * \frac{L}{D_i} * \frac{v^2}{2g}$$

la ecuación de Swamee-Jain elabora cálculos directos y sin iteraciones, para el factor de fricción, y que está relacionado de los siguientes datos:

Para este tramo de tubería de acero galvanizado se determina una rugosidad de $\varepsilon = 0,00007$ m

$$f = \frac{0,25}{\left[\log \left(\frac{\varepsilon}{3,7 D_i} + \frac{5,74}{Re^{0,9}} \right) \right]^2}$$

$$f = \frac{0,25}{\left[\log \left(\frac{\frac{0,00007}{0,0392}}{3,7} + \frac{5,74}{41\,325,14^{0,9}} \right) \right]^2}$$

$$f = 0,03297$$

y la ecuación de cálculos de pérdidas secundarios o de accesorios.

$$h = f * \frac{L}{Di} * \frac{v^2}{2g}$$

En la tabla se indica las pérdidas en tubería y accesorios en el tramo posterior a la instalación de la bomba.

Tabla 4-16: Resultado del cálculo de pérdidas en la tubería y accesorios a la salida

	Total	K	Pérdida (m)
Tubería	0,23		0,304
Codo 90°	2	30	1,102
Válvula check	2	100	3,674
Unión universal	Despreciable		0
Llave de globo	1	340	6,246
		Total	11,327

Realizado por: Colcha F., Tonato J., 2023.

Para la pérdida total se parte de:

$$h = h_1 + h_2$$

$$h = 9,82 \text{ m} + 11,33 \text{ m}$$

$$h = 21,15 \text{ m}$$

y la carga total será

$$h_A = z_2 - z_1 + h$$

$$h_A = 2,67 \text{ m} + 21,15 \text{ m}$$

$$h_A = 23,87 \text{ m}$$

Eficiencia de la bomba

$$e = \frac{H * Q}{367 * P}$$

$$e = \frac{40 * 2,16}{367 * 0,37}$$

$$e = 0,636$$

Potencia requerida para el bombeo de suministro a de agua hacia el caldero

$$P = \frac{h_A * \gamma * Q}{e}$$

$$P = \frac{23,82 * 9810 * 0,0006}{0,636}$$

$$P = 220,32 \text{ w} = 0,3 \text{ HP}$$



4.4. Resultado del mantenimiento correctivo


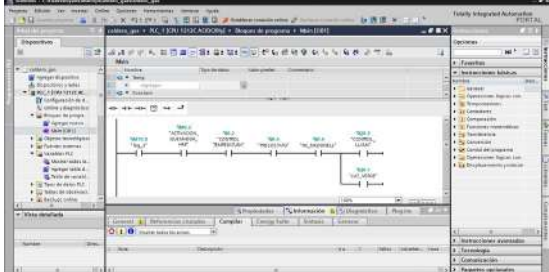

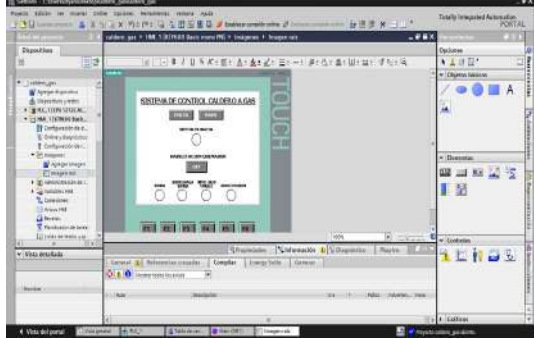

En el transcurso del cumplimiento del mantenimiento correctivo, se asignaron los diversos trabajos para restituir el funcionamiento del equipo. Tras el análisis y diagnóstico de averías, se procede con las reparaciones y la sustitución de componentes que han llegado a cumplir su tiempo de vida para mermar el tiempo de inactividad del caldero y garantizar su rendimiento seguro y eficiente.

La determinación de la causa de los fallos no solo resolvió los problemas existentes, sino que también se enfocó en prevenir posibles fallos futuros, prolongando la vida útil del equipo, y presentando un punto de vista del mantenimiento realizado, demostrando el compromiso de la institución para mejorar la operatividad continua de sus equipos.

Los resultados obtenidos una vez cumplido el mantenimiento correctivo en el caldero a sus sistemas se muestran en la tabla

Tabla 4-17: Listado de componentes y accesorios reemplazados en el caldero

Elemento	Descripción	Imagen
Tuberías	Al realizar las tareas de mantenimiento se aprecia que tiene oxidación y sedimentación debido a la corrosión provocada por las propiedades del agua. Al cambiar toda la tubería se genera una mejor presión y caudal de agua desde la bomba de alimentación hasta el interior del caldero.	
McDonnell	Una vez realizado el mantenimiento al McDonnell se observa que tiene presencia de óxido, y debido a que este elemento es artesanal es reemplazado por uno industrial	

<p>Quemador</p>	<p>Se determina que los electrodos ubicados en el quemador funcionen correctamente, se realiza el desmontaje, y los electrodos se encuentran rotos, además la válvula de control de gas se encuentra obstruida, por lo tanto, no se produce la chispa. Se reemplaza por un quemador industrial.</p>	
<p>Reprogramación del logo PLC</p>	<p>El PLC requiere de una nueva programación debido a que por el poco tiempo de uso que ha tenido la programación se perdió y no se tiene el respaldo.</p>	
<p>Visor del nivel de agua</p>	<p>Realizado las tareas de mantenimiento se conoce que el elemento ya se encuentra obsoleto, debido a su alto grado de oxidación, se abre la válvula de entrada de agua y existe presencia de fugas, es decir se encuentra roto, por tanto, será reemplazado por uno nuevo.</p>	
<p>HMI Simatic Basic Panel KTP700</p>	<p>Para programar en una HMI Simatic Basic Panel KTP700, se utiliza el software Siemens TIA Portal.</p>	
<p>Bomba de alimentación</p>	<p>Se aplica inspección visual y se determina que la bomba internamente se encuentra con oxidación por lo que se debe limpiar, se enciende, pero la bomba no succiona agua, y es conveniente el reemplazo del mismo.</p>	

Realizado por: Colcha F., Tonato J., 2023.

4.5. Resultado de las pruebas de funcionamiento del caldero.

Para las pruebas de funcionamiento se realizaron 12 veces seguidas sin apagar el caldero para obtener los datos necesarios, una vez que se llega al valor de presión deseado y el vapor obtenido se procede a abrir la válvula de desfogue hasta que salga todo el vapor, se realiza 4 veces a válvula abierta, 4 veces con la válvula de desfogue abierta 1/4, y por último 4 veces con la válvula abierta a la mitad.

4.5.1. Volumen de agua del caldero

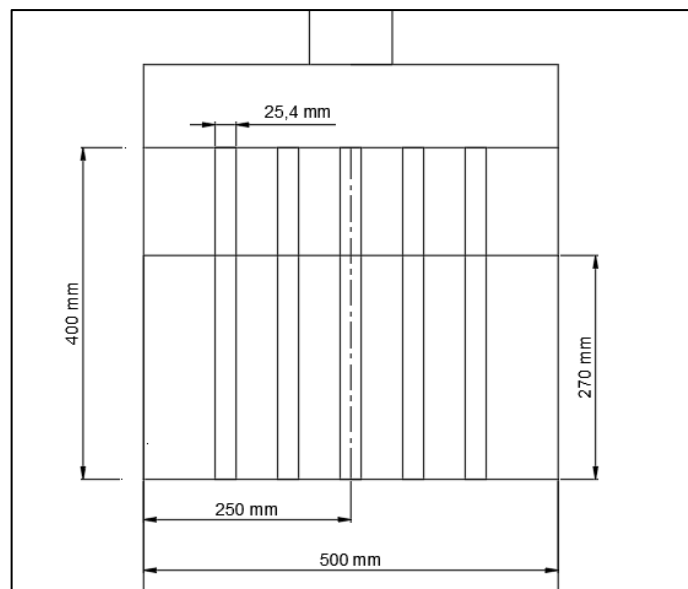


Ilustración 4-2: Dimensiones de cámara de agua del caldero

Realizado por: Colcha F., Tonato J., 2023.

Para el volumen de agua en el caldero se toma las siguientes dimensiones:

Altura = 400 mm = 0.4 m

Diámetro = 500 mm = 0.5 m

Altura de agua dentro de la cámara = 270 mm = 0.27 m (dos terceras partes de la altura total)

Tubo de calor = 51

Diámetro del tubo de fuego = 25.4 mm = 0.0254 m

$$V_{\text{agua}} = V_{\text{total}} - n \cdot V_{\text{tubo}}$$

$$V_{\text{agua}} = \pi R^2 h - n \pi r^2 h$$

$$V_{\text{agua}} = \pi \cdot (0.25)^2 \cdot (0.27) - 51 \cdot \pi \cdot (0.0127)^2 \cdot (0.27)$$

$$V_{\text{agua}} = 0.05301 - 0.00698$$

$$V_{\text{agua}} = 0.04603 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{agua}} = 46.03 \text{ L}$$

4.5.2. Válvula de desfogue totalmente abierta

Tabla 4-18: Resultados de pruebas de funcionamiento de válvula de vapor totalmente abierta

DATOS				
	Prueba #1	Prueba #2	Prueba #3	Prueba #4
Agua inicial	46.03 L	46.03 L	46.03 L	46.03 L
GLP inicial	25 kg	24 kg	23,1 kg	22,2 kg
Caudal de la bomba	36 l/min	36 l/min	36 l/min	36 l/min
Tiempo de succión de la bomba	2,24 min	Ninguno	16 s	Ninguno
Temperatura ambiente	18° C	18° C	18° C	18° C
Presión máxima	30 psi	30 psi	30 psi	30 psi
Tiempo en llegar a presión máxima	37,02 min	33,29 min	30,29 min	30,22 min
Temperatura	135°C	136°C	136 °C	136 °C
Tiempo de desfogue de vapor total	45 s	47 s	45 s	44 s
GLP consumido	1 kg	0,9 kg	0,9 kg	0,8 kg
GLP sobrante	24 kg	23,1 kg	22,2 kg	21,4 kg

Realizado por: Colcha F., Tonato J., 2023.

Tabla 4-19: Resultados de consumo en pruebas con válvula de vapor totalmente abierta

	Agua consumida (l)	Tiempo para vapor(min)	GLP consumido (kg)
Prueba 1	7,8	37,02	1
Prueba 2	0	33,29	0,9
Prueba 3	2	30,29	0,9
Prueba 4	0	30,22	0,8

Realizado por: Colcha F., Tonato J., 2023.

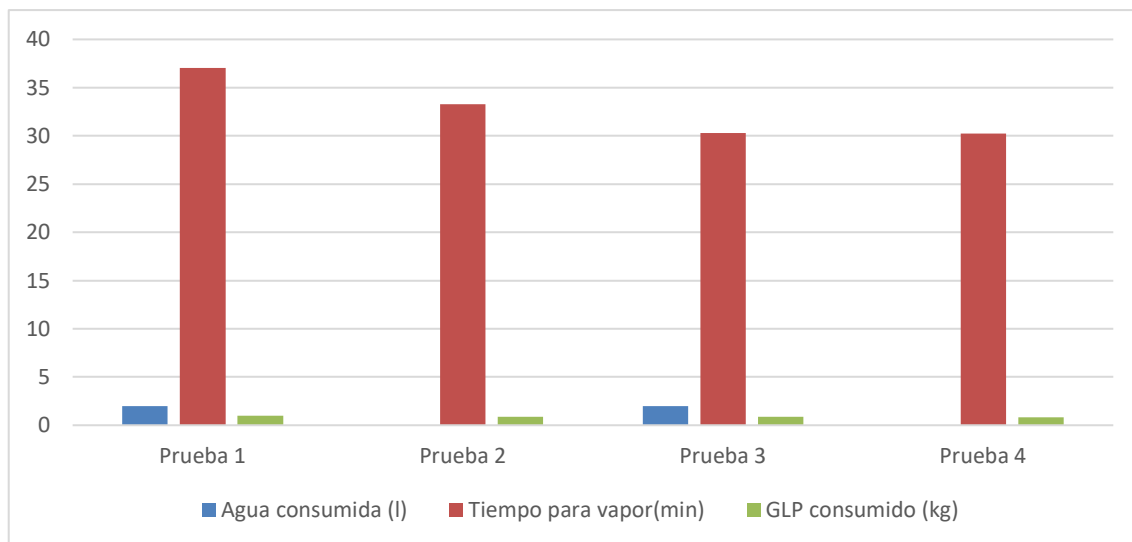


Ilustración 4-3: Resultado de pruebas con válvula totalmente abierto

Realizado por: Colcha F., Tonato J., 2023.

4.5.3. Válvula de desfogue de vapor abierta ½

Tabla 4-20: Resultados de pruebas de funcionamiento de válvula de vapor abierta la mitad

DATOS				
	Prueba #1	Prueba #2	Prueba #3	Prueba #4
Agua inicial	46.03 L	46.03 L	46.03 L	46.03 L
GLP inicial	21.4 kg	20,7 kg	20 kg	19,3 kg
Caudal de la bomba	36 l/min	36 l/min	36 l/min	36 l/min
Tiempo de succión de la bomba	15 seg.	Ninguno	13 seg	Ninguno
Temperatura ambiente	18° C	18° C	18° C	18° C
Presión máxima	30 psi	30 psi	30 psi	30 psi
Tiempo en llegar a presión máxima	29,53 min	29,36 min	28,14 min	29,23 min
Temperatura	134 °C	136 °C	136 °C	135 °C
Tiempo de desfogue de vapor total	1,33 min.	1,36min	1,35 min	1,38 min
GLP consumido	0.7 kg	0.7 kg	0.7 kg	0,6 kg
GLP sobrante	20.7 kg	20 kg	19,3 kg	18,7 kg

Realizado por: Colcha F., Tonato J., 2023.

Tabla 4-21: Resultados de consumo en pruebas con válvula de vapor abierta la mitad

	Agua consumida (l)	Tiempo para vapor (min)	GLP consumido (kg)
Prueba 1	2	29,53	0,7
Prueba 2	0	29,36	0,7
Prueba 3	2	28,14	0,7
Prueba 4	0	29,23	0,6

Realizado por: Colcha F., Tonato J., 2023.

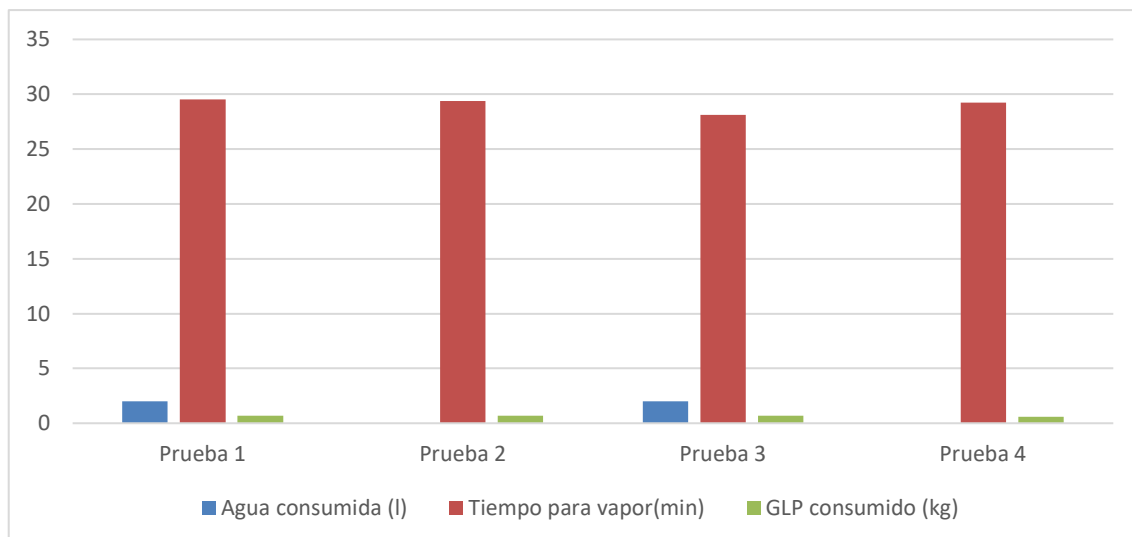


Ilustración 4-4: Resultado de pruebas con válvula abierta la mitad

Realizado por: Colcha F., Tonato J., 2023.

4.5.4. Válvula de desfogue de vapor abierta $\frac{1}{4}$

Tabla 4-22: Resultados de pruebas de funcionamiento de válvula de vapor abierta un cuarto

DATOS				
	Prueba #1	Prueba #2	Prueba #3	Prueba #4
Agua inicial	46.03 L	46.03 L	46.03 L	46.03 L
GLP inicial	18,7 kg	18,1 kg	17,5 kg	16,8 kg
Caudal de la bomba	36 l/min	36 l/min	36 l/min	36 l/min
Tiempo de succión de la bomba	10 seg.	Ninguno	Ninguno	11 seg
Temperatura ambiente	18° C	18° C	18° C	18° C
Presión máxima	30 psi	30 psi	30 psi	30 psi
Tiempo en llegar a presión máxima	27,12 min	26,36 min	27,36 min	26,41 min
Temperatura	135 °C	135 °C	136 °C	136 °C
Tiempo de desfogue de vapor total	5,33 min.	5,44min	5,41 min	5,39 min
GLP consumido	0.6 kg	0.6 kg	0.7 kg	0,5 kg
GLP sobrante	18,1 kg	17,5 kg	16,8 kg	16,3 kg

Realizado por: Colcha F., Tonato J., 2023.

Tabla 4-23: Resultados de consumo en pruebas con válvula de vapor abierta un cuarto

	Agua consumida (l)	Tiempo para vapor(min)	GLP consumido (kg)
Prueba 1	2	27,12	0,6
Prueba 2	0	26,36	0,6
Prueba 3	0	27,36	0,7
Prueba 4	2	26,41	0,5

Realizado por: Colcha F., Tonato J., 2023.

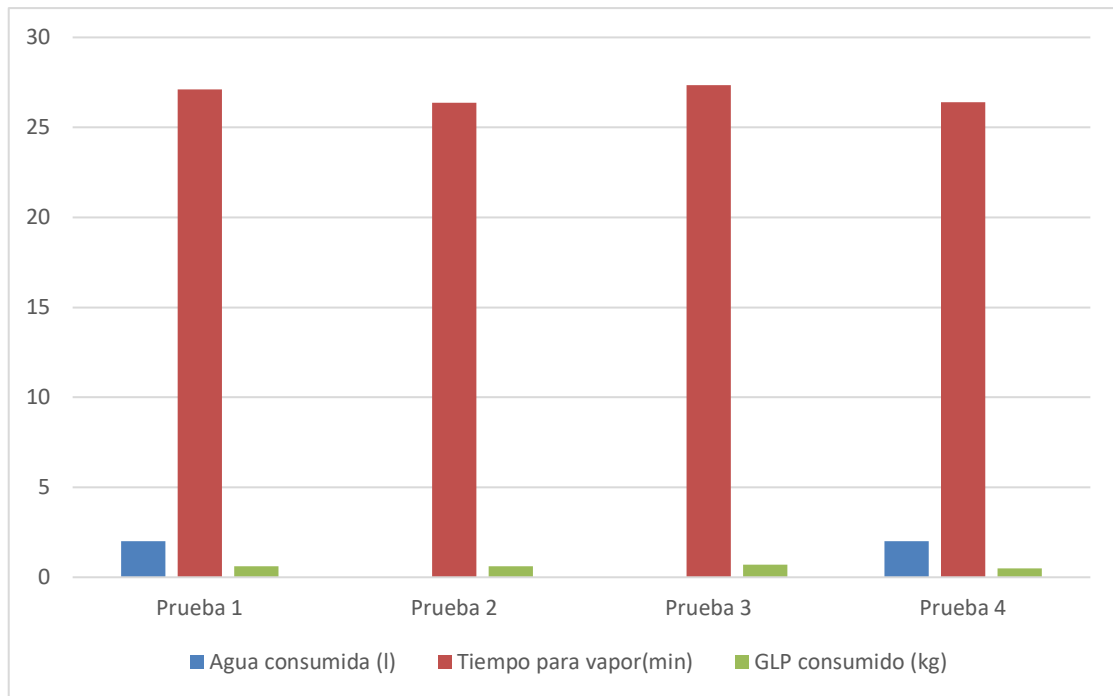


Ilustración 4-5: Resultados de pruebas con válvula a un cuarto de apertura

Realizado por: Colcha F., Tonato J., 2023.

4.5.5. Resultados de cálculo de la calidad de vapor

La relación de masa de vapor respecto a la total no indicara la calidad del vapor obtenido, para esto se debe conocer la zona de trabajo del vapor.

$$x = \frac{m_{\text{vapor}}}{m_{\text{total}}}$$

Presión de manométrica: 33 psi

$$P_{\text{abs}} = P_m + P_{\text{atm}}$$

$$P_{\text{atm}} = 14.7 \text{ psi}$$

$$P_{\text{abs}} = 33 \text{ psi} + 10.5 \text{ psi}$$

$$P_{\text{abs}} = 43.5 \text{ psia}$$

Temperatura de operación: 136 °C

$$^{\circ}\text{F} = \left(^{\circ}\text{C} * \frac{9}{5}\right) + 32$$

$$^{\circ}\text{F} = \left(136 * \frac{9}{5}\right) + 32$$

$$^{\circ}\text{F} = 276.8$$

TABLA A.5E

Agua saturada – Tabla de presiones

Pres., P psia	Temp. sat., T _{sat} °F	Volumen específico, ft ³ /lbm		Energía interna, Btu/lbm			Entalpía, Btu/lbm			Entropía, Btu/lbm · R		
		Liq. sat., v _f	Vap. sat., v _g	Liq. sat., u _f	Evap., u _{fg}	Vap. sat., u _g	Liq. sat., h _f	Evap., h _{fg}	Vap. sat., h _g	Liq. sat., s _f	Evap., s _{fg}	Vap. sat., s _g
1.0	101.70	0.016136	333.6	69.74	974.3	1044.0	69.74	1036.0	1105.8	0.13266	1.8453	1.9779
2.0	126.04	0.016230	173.75	94.02	957.8	1051.8	94.02	1022.1	1116.1	0.17499	1.7448	1.9198
3.0	141.43	0.016300	118.72	109.38	947.2	1056.6	109.39	1013.1	1122.5	0.20089	1.6852	1.8861
4.0	152.93	0.016358	90.64	120.88	939.3	1060.2	120.89	1006.4	1127.3	0.21983	1.6426	1.8624
5.0	162.21	0.016407	73.53	130.15	932.9	1063.0	130.17	1000.9	1131.0	0.23486	1.6093	1.8441
6.0	170.03	0.016451	61.98	137.98	927.4	1065.4	138.00	996.2	1134.2	0.24736	1.5819	1.8292
8.0	182.84	0.016526	47.35	150.81	918.4	1069.2	150.84	988.4	1139.3	0.26754	1.5383	1.8058
10	193.19	0.016590	38.42	161.20	911.0	1072.2	161.23	982.1	1143.3	0.28358	1.5041	1.7877
14.696	211.99	0.016715	26.80	180.10	897.5	1077.6	180.15	970.4	1150.5	0.31212	1.4446	1.7567
15	213.03	0.016723	26.29	181.14	896.8	1077.9	181.19	969.7	1150.9	0.31367	1.4414	1.7551
20	227.96	0.016830	20.09	196.19	885.8	1082.0	196.26	960.1	1156.4	0.33580	1.3962	1.7320
25	240.08	0.016922	16.306	208.44	876.9	1085.3	208.52	952.2	1160.7	0.35345	1.3607	1.7142
30	250.34	0.017004	13.748	218.84	869.2	1088.0	218.93	945.4	1164.3	0.36821	1.3314	1.6996
35	259.30	0.017073	11.900	227.93	862.4	1090.3	228.04	939.3	1167.4	0.38093	1.3064	1.6873
40	267.26	0.017146	10.501	236.03	856.2	1092.3	236.16	933.8	1170.0	0.39214	1.2845	1.6767
45	274.46	0.017209	9.403	243.37	850.7	1094.0	243.51	928.8	1172.3	0.40218	1.2651	1.6673
50	281.03	0.017269	8.518	250.08	845.5	1095.6	250.24	924.2	1174.4	0.41129	1.2476	1.6589
55	287.10	0.017325	7.789	256.28	840.8	1097.0	256.46	919.9	1176.3	0.41963	1.2317	1.6513
60	292.73	0.017378	7.177	262.06	836.3	1098.3	262.25	915.8	1178.0	0.42733	1.2170	1.6444
65	298.00	0.017429	6.657	267.46	832.1	1099.5	267.67	911.9	1179.6	0.43450	1.2035	1.6380
70	302.96	0.017478	6.209	272.56	828.1	1100.6	272.79	908.3	1181.0	0.44120	1.1909	1.6321
75	307.63	0.017524	5.818	277.37	824.3	1101.6	277.61	904.8	1182.4	0.44749	1.1790	1.6265
80	312.07	0.017570	5.474	281.95	820.6	1102.6	282.21	901.4	1183.6	0.45344	1.1679	1.6214
85	316.29	0.017613	5.170	286.30	817.1	1103.5	286.58	898.2	1184.8	0.45907	1.1574	1.6165

Ilustración 4-6: Tabla de presiones - agua saturada

Fuente: (Cengel & Boles, 2019)

Tabla 4-24: Estado de volumen específico

Presión Psia	Temperatura ° F	Volumen específico	
		v _f (ft ³ /lbm)	v _g (ft ³ /lbm)
40	267.26	0.017146	10.501
43.5	272.3	0.0171901	9.7324
45	274.46	0.017209	9.403

Realizado por: Colcha F., Tonato J., 2023.

Interpolación lineal

$$y = y_0 + \frac{y_1 - y_0}{x_1 - x_0} * (x - x_0)$$

Temperatura

$$T = 274.46 - \frac{274.46 - 267.26}{45 - 40} * (45 - 43.5)$$

$$T = 272.3 \text{ °F}$$

Volumen específico

$$v_f = 0.017146 - \frac{0.017209 - 0.017146}{45 - 40} * (43.5 - 40)$$

$$v_f = 0.0171901 \text{ ft}^3/\text{lbm}$$

$$v_f = 10.501 - \frac{9.403 - 10.501}{45 - 40} * (43.5 - 40)$$

$$v_f = 9.7324 \text{ ft}^3/\text{lbm}$$

$$T_{\text{sat}} < T$$

Por los tanto se encuentra en una zona de mezcla de vapor.

Calidad

$$x = \frac{v - v_f}{v_g}$$

$$x = \frac{9.403 - 0.0171901}{9.403}$$

$$x = 0.998$$

4.6. Costos

Realizado el estado técnico de los diferentes sistemas del caldero, se realiza el mantenimiento correctivo, sustituyendo los elementos que se encontraban obsoletos a continuación se muestra la tabla dónde se especifica el costo.

Tabla 4-25: Costo de mantenimiento Correctivo

Mantenimiento Correctivo	
Material	Valor total
Cambio de Tubería	\$15
Reprogramación del PLC	\$300
Visor de nivel de agua	\$50
Bomba de agua	\$55
Válvula de seguridad	\$40
Válvula Check	\$15
Sensor Pt-100	\$20
Controlador de temperatura	\$50
Válvula de globo	\$20
Actualización pantalla Simatic	\$200
Consumibles	\$50
Mano de obra	\$250
Total	\$1065

Realizado por: Colcha F., Tonato J., 2023.

Además, con la instalación del tanque cisterna y la línea de succión de agua

Tabla 4-26: Costo de instalación del agua

Instalación del agua	
Material	Valor total
Válvulas universales	\$2
Reducción de 1" a 1/2"	\$1
Tee roscable de 1/2 "	\$1
Codo de 90°	\$3
Tarraja para PVC	\$6
Consumibles	\$10
Total	\$23

Realizado por: Colcha F., Tonato J., 2023.

Instalación de valla de seguridad y la línea de salida de vapor.

Tabla 4-27: Costo de instalación de valla de seguridad y salida de vapor

Instalación de valla de seguridad y salida de vapor	
Material	Valor total
Perfil de 1/2 "	\$20
Electrodos	\$3
Planchas de acero	\$25
Tubo galvanizado de 1/2"	\$7
Codo galvanizado de 1/2"	\$2
Conexión universal 1/2"	\$2
Tee galvanizada HG 1" x 1/2"	\$1
Reducción galvanizada 1" a 1/2"	\$1
Consumibles	\$15
Mano de obra	\$50
Total	\$126

Realizado por: Colcha F., Tonato J., 2023

Costo total de mantenimiento

Tabla 4-28: Costo total de puesta en marcha del caldero

Puesta en marcha del caldero	
Mantenimiento Correctivo	\$1065
Instalación del agua	\$23
Instalación de valla de seguridad y salida de vapor	\$126
Total	\$1214

Realizado por: Colcha F., Tonato J., 2023.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Se determinó el estado técnico actual de los diversos sistemas y subsistemas que conforman el caldero de 2 BHP, los cuales se encontraban en un mal estado debido a la falta de mantenimiento durante el tiempo que ha estado inhabilitado.

Se realizaron las tareas de mantenimiento a los sistemas y subsistemas con la ayuda de diversos equipos y herramientas para garantizar el correcto funcionamiento del caldero.

Se ejecuta el mantenimiento correctivo para comprender la raíz de las averías, hallando los puntos débiles de los sistemas, para mejorar la durabilidad del equipo a largo plazo con las acciones llevadas durante el proceso de corrección y restauración de la funcionalidad de generación de vapor.

Se realizó un plan de mantenimiento y un manual de operación para el caldero, para facilitar la manipulación de los estudiantes y a la vez extender el ciclo de vida del activo físico.

Para la determinación de la temperatura final con la que sale el vapor se implementó un nuevo sensor pt-100 y a su vez un indicador del mismo, el cual se encuentra colocado en el tablero de control para que el usuario que este manipulando el equipo observe la que temperatura a la que el caldero se encuentra trabajando.

5.2. Recomendaciones

Tener un conocimiento previo del funcionamiento sobre el caldero para evitar manipulaciones bruscas, por lo que se recomienda leer el manual de operación antes de realizar la práctica de los estudiantes de la Facultad.

Respetar el perímetro de seguridad del caldero al momento de encontrarse en funcionamiento para precautelar la seguridad del operario.

Colocar un ablandador de agua para eliminar los iones de calcio y magnesio que puede dañar los tubos dentro de la caldera de vapor, debido a que si estos minerales están presentes en el suministro de agua puede provocar la formación de incrustaciones duras en la superficie de la tubería, que posiblemente resultará que el agua se sobrecaliente y los tubos fallen.

Ejecutar las tareas de mantenimiento propuestas para evitar algún otro daño en cualquier sistema o subsistema del caldero.

Para manipular el equipo se proporcionó una descripción detallada de cómo operar el caldero de manera segura y eficiente, que incluye instrucciones paso a paso, secuencias de encendido y apagado, regulación de presión, y otras operaciones comunes. Además de actividades de mantenimiento preventivo que deben realizarse de manera regular para garantizar el rendimiento óptimo del caldero.

BIBLIOGRAFÍA

1. **BIZZO, W. A.** *Geração, distribuição e utilização de vapor. [s.l.] Universidade Estadual de Campinas.* Brasil: Campinas. Obtenido de <https://azdoc.tips/documents/geraa0-distribui0o-e-utilizaa0-de-vapor-5c144799c1f11>
2. **BORROTO, A., & RUBIO, A.** *Combustión y generación de vapor.* Cienfuego - Cuba: Universo Sur.
3. **CASTILLO, F., & CHIMBO, F.** *Desarrollo de un sistema automático implementado sobre un caldero piro-tubular en el laboratorio de procesos industriales en la facultad de Ciencias-Epoch.* Espoch, Riobamba. Obtenido de <http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/9211/1/108T0254.pdf>
4. **CENGEL, Y., & BOLES, M.** *Termodinámica, 9na ed.* México: Mc-Graw Hill .
5. **GUERRERO, L.** *Elaboración de un plan de mantenimiento mediante el análisis de los modos de falla para los activos en la planta de ensamble de la Empresa CIAUTO Cía. Ltda.* Espoch, Riobamba. Obtenido de <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/16184>
6. **LAPIDO, M., & VIDAL, D.** *Funcionamiento y pérdidas en calderas piro-tubulares: estudios de casos.* Cienfuegos - Cuba: Editorial Universo Sur.
7. **MEHTA, P., & THUMANN, A.** *Handbook of Energy Engineering .* Salt Lake City: River Publishers.
8. **MORALES, A.** *Evaluación de la eficiencia energética en calderas operativas de Campo Rubiales. (Tesis de pregrado).* Universidad de América, Bogotá. Obtenido de <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/8677/1/6142353-2021-2-IQ.pdf>
9. **OWEN, M.** *Handbook - Fundamentals Air, Conditioning Engineers, Energy Efficiency.* Peachtree Corners: ASHRAE.

10. **RADWELL.** Obtenido de Hoja de información de DAT2025:
<https://www.radwell.com/es-ES/Buy/DATEXEL/DATEXEL/DAT2065/>
11. **REY, F.** *Mantenimiento Total de la Producción (TPM): proceso de implantación y desarrollo.* Madrid-España: Fundación Cofemental.
12. **SENSOR PT100.** Obtenido de hoja de información:
<http://www.datasheet.es/PDF/900325/Pt100-pdf.html>
13. **SEVERNS, W., DEGLER, H., & MILES, J.** *Energía mediante vapor, aire o gas.* New York: Editorial Reverté. Obtenido de
<https://elibro.net/es/ereader/espoch/174433?page=131>
14. **SHOVE, E.** What is wrong with energy efficiency? 46(7), 779-789 .
doi:<https://doi.org/10.1080/09613218.2017.1361746>
15. **SIEMENS.** *SIMATIC HMI, Paneles de operador.* Obtenido de
cache.industry.siemens.com/dl/files/678/31032678/att_25341/v1/hmi_basic_panels_operating_instructions_es-ES_es-ES.pdf
16. **UNE-EN. 13306:** *Mantenimiento. Terminología de Mantenimiento.* 2018.

ANEXO A: FICHA TÉCNICA DE MCDONNELL SERIE 64

Boiler Controls



Low Water Cut-Offs – Mechanical For Steam and Hot Water Boilers

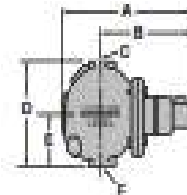
Series 64 Low Water Cut-Offs



- For residential, commercial, and industrial boiler applications of any steaming capacity
- Heavy Duty
- Adjustable BX outlet for easy installation
- Dual precision switches for dependable operation of the low water cut-off and alarm or electric water feeder
- Packless bellows
- Optional manual reset available (manual reset switch must be ordered separately)
- 1" (25mm) NPT equalizing pipes required
- Maximum boiler pressure 50 psi (3.5 kg/cm²)
- Use with TC-4 on hot water systems



Series 64



Boiler Controls

Dimensions, in. (mm)

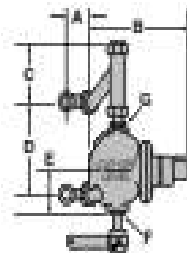
A	B	C	D	E	F
8 7/8 (222)	7 1/4 (80)	1 NPT	8 1/2 (183)	3 1/4 (79)	1 NPT

Model 64-A Low Water Cut-Offs

- Quick hook-up fittings provided for installation directly into gauge glass tapings



Model 64-A



Dimensions, in. (mm)

A	B	C	D		E	F NPT	G NPT
			min.	max.			
2 1/2 (60)	8 1/4 (202)	4 1/2 (113)	8 1/4 (172)	13 1/4 (339)	3 1/4 (79)	1	1

Ordering Information

Model Number	Part Number	Description	Weight (lb. (kg))
64	143600	Low water cut-off	11.3 (5.1)
64-A	143700	64 w/quick hook-up fittings	18.3 (8.3)
64-B	143800	64 w/reset block	11.5 (5.2)

Electrical Ratings

Voltage	Motor Switch Rating (Amperes)		Pilot Duty
	Full Load	Locked Rotor	
120 VAC	7.4	44.4	125 VA at 120 or 240 VAC
240 VAC	3.7	22.2	



BRONZE SAFETY RELIEF VALVES (Lift = D/25)

S10L

Bronze Safety Valve
with Lever

1/2" - 2"



S10

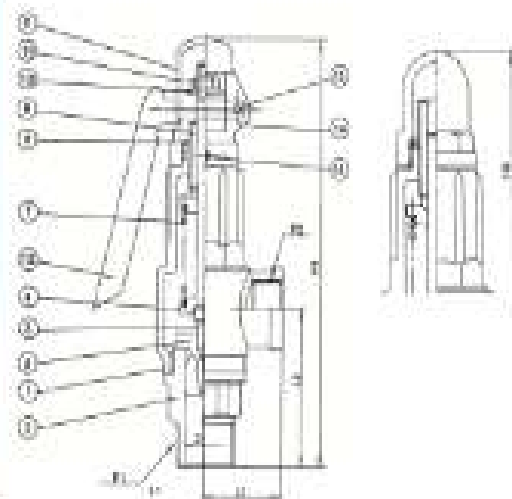
Bronze Safety Valve
with Sealing Cap

1/2" - 2"



S10L

S10



General material

Valve Body	ASTM-B554-C83600
Valve Seat	ASTM-B124-C37700
Spindle	ASTM-B16-C36000
Spring Seat	ASTM-B16-C36000
Disc	ASTM-B124-C37700
Spring	Steel or Stainless Steel
Cap	ASTM-B554-C83600 or ASTM-B124-C37700

Working Pressure : 0.3 – 10 kg/cm² (Steam)

0.3 – 10 kg/cm² (W.O.G.)

Working Temp. : - 45 °C – 105 °C

Working Fluid (S10): Non Corrosive Gas

Steam

Hot Water

Non Corrosive Liquid

Working Fluid (S10L): Non Corrosive Gas

Steam

Dimension.

Size	P1 (Inlet)	D (Seat dia.)	P2 Outlet	Lift	L1	L2	H1	H2	Weight(kg)	
									S10	S10L
1/2"	RC(1/2)	13	G(1/2)	0.52	32	52	162	140	0.91	0.58
3/4"	RC(3/4)	19	G(3/4)	0.75	36	58	172	150	0.83	0.73
1"	RC(1)	25	G(1)	1.00	40	71	204	185	1.14	1.29
1-1/4"	RC(1-1/4)	32	G(1-1/4)	1.25	52	83	223	208	2.03	2.03
1-1/2"	RC(1-1/2)	38	G(1-1/2)	1.52	58	96	232	236	2.6	2.61
2"	RC(2)	50	G(2)	2.00	65	103	267	265	3.84	4.1