



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA MECÁNICA

**“REPOTENCIACIÓN DEL SISTEMA DE CALENTAMIENTO
DEL AGUA DE LA PISCINA CUBIERTA DEL COMPLEJO
TURÍSTICO LOS ELENES DEL CANTÓN GUANO”**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO MECÁNICO

AUTOR:

RICARDO ALEXANDER JIMÉNEZ LÓPEZ

Riobamba - Ecuador

2023



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA MECÁNICA

**“REPOTENCIACIÓN DEL SISTEMA DE CALENTAMIENTO
DEL AGUA DE LA PISCINA CUBIERTA DEL COMPLEJO
TURÍSTICO LOS ELENES DEL CANTÓN GUANO”**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO MECÁNICO

AUTOR: RICARDO ALEXANDER JIMÉNEZ LÓPEZ

DIRECTOR: Ing. LUIS FERNANDO BUENAÑO MOYANO, Msc.

Riobamba-Ecuador

2023

©2023, Ricardo Alexander Jiménez López

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

Yo, Ricardo Alexander Jiménez López, declaro que el presente Trabajo de Integración Curricular es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo 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, 12 de junio de 2023



Ricardo Alexander Jiménez López

C.I: 0401521000

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA MECÁNICA

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular: Tipo: Proyecto Técnico, **REPOTENCIACIÓN DEL SISTEMA DE CALENTAMIENTO DEL AGUA DE LA PISCINA CUBIERTA DEL COMPLEJO TURÍSTICO LOS ELENES DEL CANTÓN GUANO**, realizado por el señor **RICARDO ALEXANDER JIMÉNEZ LÓPEZ**, ha sido minuciosamente revisado por los miembros 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. Edwin Fernando Viteri Núñez PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2023-06-12
Ing. Luis Fernando Buenaño Moyano DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2023-06-12
Ing. Nelson Santiago Chuquin Vasco ASESOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2023-06-12

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer profundamente a Dios por permitirme concluir con éxito esta etapa de mi vida la cual ha estado llena de retos pero que han recalcado en mi un aprendizaje tenaz. Agradecer a mis padres y a mi hermano que siempre han sido pilar fundamental en mi vida ya que sin ellos este mérito no sería posible. Y como no agradecer a la Carrera de Mecánica por los años de enseñanzas a nivel académico y personal.

Ricardo

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	x
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiii
RESUMEN.....	xiv
SUMMARY.....	xv
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA.....	3
1.1. Antecedentes.....	3
1.2. Delimitación.....	4
1.2.1. <i>Delimitación espacial</i>	4
1.2.2. <i>Delimitación sectorial</i>	4
1.3. Formulación del problema.....	4
1.4. Objetivos.....	5
1.4.1. <i>Objetivo general</i>	5
1.4.2. <i>Objetivos específicos</i>	5

CAPÍTULO II

2. REVISIÓN DE LA LITERATURA O FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	6
2.1. Sistema de bombeo hidráulico.....	6
2.1.1. <i>Circuitos hidráulicos</i>	6
2.1.2. <i>Caudal</i>	7
2.1.3. <i>Presión de bombeo</i>	7
2.2. Sistema eléctrico.....	8
2.2.1. <i>Tensión</i>	8
2.3. Caldera piro tubular.....	8
2.3.1. <i>Rendimiento energético</i>	9
2.4. Mantenimiento.....	10
2.4.1. <i>Mantenimiento preventivo</i>	11
2.4.2. <i>Mantenimiento correctivo</i>	13
2.4.3. <i>Mantenimiento predictivo</i>	14

CAPÍTULO III

3.	MARCO METOLÓGICO	18
3.1.	Contexto operacional	18
3.2.	Mantenimiento del sistema	20
3.2.1.	<i>Caracterización de equipos</i>	21
3.2.2.	<i>Proceso de calentamiento de agua</i>	25
3.2.3.	<i>Identificación de fallos y su alcance</i>	25
3.2.4.	<i>Nivel de ocurrencia de las fallas</i>	28
3.2.5.	<i>Nivel de detección de la falla</i>	29
3.2.6.	<i>Cálculo del NPR</i>	29
3.2.7.	<i>Plan de acciones correctivas</i>	30
3.3.	Evaluación energética de la caldera	31
3.3.1.	<i>Equipos para los análisis no invasivos</i>	32
3.3.2.	<i>Análisis termográfico</i>	33
3.3.3.	<i>Cálculo de la potencia irradiada por las paredes de la caldera</i>	37
3.3.4.	<i>Simulación térmica de la caldera</i>	39
3.3.5.	<i>Aislamiento de la caldera</i>	47
3.3.6.	<i>Análisis de los gases de combustión de la caldera</i>	55
3.3.7.	<i>Análisis técnico del agua de alimentación de la caldera</i>	61
3.4.	Automatización del encendido del quemador	68
3.4.1.	<i>Estudio del flujo de combustible</i>	69
3.4.2.	<i>Tiempos de encendido y apagado</i>	71
3.4.3.	<i>Selección de equipos</i>	73
3.4.4.	<i>Implementación del sistema de encendido</i>	75

CAPÍTULO IV

4.	RESULTADOS	78
4.1.	Resultados del mantenimiento	78
4.1.1.	<i>Cortocircuito en el transformador</i>	78
4.1.2.	<i>Temperatura del agua inadecuada</i>	80
4.1.3.	<i>Calibración de la boquilla difusora de diésel</i>	81
4.1.4.	<i>Calibración del ventilador</i>	82
4.2.	Resultados de la evaluación energética de la caldera.	85
4.2.1.	<i>Cálculo de la potencia irradiada por las paredes de la caldera</i>	87
4.3.	Interpretación de los resultados del analizador de gases de combustión	90

4.3.1.	<i>Temperatura de los gases de combustión</i>	92
4.3.2.	<i>CO corregido</i>	92
4.3.3.	<i>O2 en porcentaje</i>	92
4.3.4.	<i>CO diluido en ppm</i>	93
4.3.5.	<i>Índice de exceso de aire (λ)</i>	93
4.3.6.	<i>CO2 en porcentaje</i>	93
4.3.7.	<i>Pérdidas de rendimiento en porcentaje</i>	93
4.3.8.	<i>Tiro de la chimenea</i>	93
4.3.9.	<i>Rendimiento</i>	93
4.4.	Resultados del análisis técnico del agua	93
4.4.1.	<i>Propuesta del ablandador</i>	94
4.5.	Resultados del sistema de encendido automático	96
4.5.1.	<i>Mejora de la eficiencia</i>	96
4.5.2.	<i>Reducción del consumo de combustible:</i>	96
4.5.3.	<i>Aumento de la vida útil:</i>	97
4.5.4.	<i>Mayor seguridad</i>	97
4.5.5.	<i>Mayor comodidad</i>	97
4.6.	Análisis de costos	97
4.6.1.	<i>Costos directos</i>	97
4.6.2.	<i>Costos indirectos</i>	99
4.6.3.	<i>Costos totales</i>	99
CONCLUSIONES		100
RECOMENDACIONES		101
BIBLIOGRAFÍA		
ANEXOS		

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3-1:	Nivel de severidad de falla	27
Tabla 3-2:	Nivel de severidad del quemador	28
Tabla 3-3:	Nivel de severidad del calentamiento del agua	28
Tabla 3-4:	Nivel de ocurrencia de fallas	29
Tabla 3-5:	Nivel de detección de fallas.....	29
Tabla 3-6:	Cálculo del NPR.....	29
Tabla 3-7:	Escala de riesgo de falla	30
Tabla 3-8:	Equipos utilizados	32
Tabla 3-9:	Temperaturas en la caldera.....	36
Tabla 3-10:	Cuadro resumen de potencia irradiada	39
Tabla 3-11:	Nomenclatura de las variables de los gases de combustión	58
Tabla 3-12:	Caracterización del agua utilizada.....	62
Tabla 3-13:	Datos de las variables de la calidad del agua	68
Tabla 3-14:	Programación de horarios de encendido y apagado	76
Tabla 4-1:	Resumen de pérdidas y potencia irradiada con aislamiento	89
Tabla 4-2:	Cuadro comparativo de potencias	89
Tabla 4-3:	Cuadro comparativo intervalo de tiempos de encendido en un ciclo	90
Tabla 4-4:	Resultados del análisis de los gases de combustión	91
Tabla 4-5:	Costos directos	98
Tabla 4-6:	Costos mano de obra	98
Tabla 4-7:	Costos de herramientas y equipos	98
Tabla 4-8:	Costos de transporte	99
Tabla 4-9:	Costos de transporte	99
Tabla 4-10:	Costos totales.....	99

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 2-1:	Ejemplo de circuito hidráulico	6
Ilustración 2-2:	Proceso del RCM	12
Ilustración 2-3:	Modelo estructural de un sistema automatizado	14
Ilustración 3-1:	Interruptor para el encendido del quemador.....	18
Ilustración 3-2:	Diagrama general de la repotenciación	19
Ilustración 3-3:	Metodología para el mantenimiento del sistema.....	20
Ilustración 3-4:	Caldera piro tubular.....	21
Ilustración 3-5:	Bomba 20 HP	21
Ilustración 3-6:	Filtro vertical de presión	22
Ilustración 3-7:	Quemador	22
Ilustración 3-8:	Placa del quemador	23
Ilustración 3-9:	Presostato cola de cerdo	23
Ilustración 3-10:	Mcdonell	24
Ilustración 3-11:	Cajetín eléctrico general.....	24
Ilustración 3-12:	Cajetín eléctrico del quemador.....	25
Ilustración 3-13:	Diagrama del proceso de calentamiento.....	25
Ilustración 3-14:	Escala del grado de severidad	26
Ilustración 3-15:	Escala del grado de ocurrencia.....	26
Ilustración 3-16:	Escala del grado de detección	27
Ilustración 3-17:	Diagrama del proceso de evaluación térmica.....	32
Ilustración 3-18:	Uso de la cámara termográfica.....	33
Ilustración 3-19:	Imagen termográfica posterior	33
Ilustración 3-20:	Imagen termográfica isométrica.....	34
Ilustración 3-21:	Imagen termográfica frontal.....	34
Ilustración 3-22:	Imagen termográfica lateral	35
Ilustración 3-23:	Imagen cara frontal con el pirómetro	35
Ilustración 3-24:	Imagen pared lateral con el pirómetro.....	36
Ilustración 3-25:	Imagen cara posterior con el pirómetro.....	36
Ilustración 3-26:	Identificación de zonas críticas	37
Ilustración 3-27:	Toma de medida del diámetro	40
Ilustración 3-28:	Medida de altura de la chimenea.....	40
Ilustración 3-29:	Medida del perímetro del hogar	40
Ilustración 3-30:	Medida de espesores de las planchas	41
Ilustración 3-31:	Dibujo de caldera No. 1.....	42

Ilustración 3-32:	Dibujo de caldera No. 2.....	42
Ilustración 3-33:	Dibujo de caldera No. 3.....	42
Ilustración 3-34:	Dibujo de caldera No. 4.....	43
Ilustración 3-35:	Dibujo de caldera No. 5.....	43
Ilustración 3-36:	Dibujo de caldera No. 6.....	43
Ilustración 3-37:	Dibujo de caldera No. 7.....	44
Ilustración 3-38:	Dibujo de caldera No. 8.....	44
Ilustración 3-39:	Dibujo de caldera No. 9.....	44
Ilustración 3-40:	Geometría a simular	45
Ilustración 3-41:	Vista de sección de la geometría	45
Ilustración 3-42:	Simulación del flujo de calor	46
Ilustración 3-43:	Simulación del flujo de calor finalizada.....	46
Ilustración 3-44:	Simulación del flujo de calor usando aislamiento.....	47
Ilustración 3-45:	Área útil frontal	48
Ilustración 3-46:	Área útil posterior.....	48
Ilustración 3-47:	Esquema del área útil frontal.....	50
Ilustración 3-48:	Esquema del área útil posterior	50
Ilustración 3-49:	Lana de roca	51
Ilustración 3-50:	Corte de las planchas.....	52
Ilustración 3-51:	Perforación de agujeros.....	52
Ilustración 3-52:	Corte y adaptación del aislante.....	53
Ilustración 3-53:	Sujeción de la placa frontal	53
Ilustración 3-54:	Aislamiento pared frontal.....	54
Ilustración 3-55:	Aislamiento pared posterior	54
Ilustración 3-56:	Mordazas de sujeción	55
Ilustración 3-57:	Testo 330-1.....	56
Ilustración 3-58:	Ubicación de la chimenea	56
Ilustración 3-59:	Configuración del equipo TESTO.....	57
Ilustración 3-60:	Toma de la medición de gases.....	57
Ilustración 3-61:	Resultados gases de combustión	58
Ilustración 3-62:	Clasificación de la caldera por su temperatura.....	59
Ilustración 3-63:	Análisis TDS	62
Ilustración 3-64:	Uso del equipo OAKTON PC2700.....	63
Ilustración 3-65:	Análisis de conductividad	63
Ilustración 3-66:	Análisis de pH.....	64
Ilustración 3-67:	Toma de 25 ml de muestra	65
Ilustración 3-68:	Titulación de las muestras	65

Ilustración 3-69: Análisis de sulfatos.....	66
Ilustración 3-70: Análisis de hierro	67
Ilustración 3-71: Análisis de fosfatos	67
Ilustración 3-72: Análisis de bicarbonatos.....	67
Ilustración 3-73: Diagrama del encendido del quemador	69
Ilustración 3-74: Tanque de almacenamiento	70
Ilustración 3-75: Medidor de nivel	70
Ilustración 3-76: Temperatura al inicio del proceso	72
Ilustración 3-77: Temperatura después de dos horas	72
Ilustración 3-78: Medición del voltaje.....	73
Ilustración 3-79: Micro-computer timer swich.....	74
Ilustración 3-80: Relé térmico	74
Ilustración 3-81: Circuito manual de encendido.....	75
Ilustración 3-82: Circuito automático de encendido.....	76
Ilustración 3-83: Selector tres posiciones y luz piloto.....	77
Ilustración 4-1: Control de encendido del quemador.....	78
Ilustración 4-2: Timer analógico.....	79
Ilustración 4-3: Termómetro flotante No 1.....	80
Ilustración 4-4: Termómetro flotante No 2.....	81
Ilustración 4-5: Boquilla difusora.....	81
Ilustración 4-6: Caldera desmantelada.....	82
Ilustración 4-7: Limpieza de tubos	82
Ilustración 4-8: Sopleteado de tubos.....	83
Ilustración 4-9: Calibración del ventilador	83
Ilustración 4-10: Combustión descalibrada	84
Ilustración 4-11: Combustión controlada	84
Ilustración 4-12: Imagen termográfica con aislamiento	85
Ilustración 4-13: Imagen termográfica de la cara posterior con aislamiento.....	85
Ilustración 4-14: Imagen termográfica de la cara posterior con aislamiento en tres puntos....	86
Ilustración 4-15: Imagen termográfica de la cara frontal con aislamiento	86
Ilustración 4-16: Imagen termográfica de la cara frontal con aislamiento en tres puntos	86
Ilustración 4-17: Seteo del pressuretrol	89
Ilustración 4-18: Tiempos en un día de trabajo	90
Ilustración 4-19: Resultados del analizador de gases de combustión.....	91
Ilustración 4-20: Suavizador de agua tanque gemelo serie sf-900f con válvula fleck.....	95
Ilustración 4-21: Selección del modelo de ablandador	95
Ilustración 4-22: Características del ablandador.....	96

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: COSTO ABLANDADOR DE AGUA

ANEXO B: HOJA TÉCNICA LANA DE ROCA

ANEXO C: RESULTADOS ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DEL AGUA DE
ALIMENTACIÓN DE CALDERAS

RESUMEN

El presente trabajo técnico tuvo como objetivo repotenciar el sistema de calentamiento de agua de la piscina cubierta del Complejo Turístico Los Elenes del cantón Guano, para que éste presente una mejor eficiencia. Se dividió el trabajo técnico en tres ejes de intervención: mantenimiento del sistema, evaluación energética y automatización del sistema de encendido. Dentro del mantenimiento como punto inicial fue constatar el estado de los equipos presentes en el sistema de calentamiento los cuales son: Caldero pirotubular, quemador y sistema eléctrico, una vez identificados los elementos se realizó la clasificación de acuerdo con su número prioritario de riesgo (NPR) para determinar las fallas existentes y las potenciales, además de establecer un nivel prioritario alto, bajo y medio, para luego proceder con los trabajos de mantenimiento preventivo y correctivo. El segundo eje referente a la evaluación energética inició con un análisis no invasivo de la caldera mediante la medición de temperaturas y concentración de gases usando una cámara termográfica, un pirómetro digital y un analizador de gases de combustión los cuales pueden obtener datos sin detener el proceso de calentamiento, obteniendo datos reales que sirvieron para determinar las pérdidas energéticas que presenta la caldera y solucionándolas mediante un aislamiento de los puntos críticos de pérdida de potencia calorífica. Por último, el tercer eje en el cual se realizó la automatización del sistema de encendido, ya que el encendido del quemador se lo realizaba de manera manual entorpeciendo los procesos de calentamiento y mermándole eficiencia al sistema, mediante la implementación de un temporizador se establecieron horarios de encendido y apagado adecuados del quemador mejorando así la productividad del proceso. Se concluye que los trabajos realizados en los tres ejes de intervención mejoraron la eficiencia del sistema de calentamiento en producción y en efectividad pues también se registró un ahorro del combustible.

Palabras clave: <SISTEMA DE CALENTAMIENTO DE AGUA>, <CALDERO PIROTUBULAR>, <MANTENIMIENTO CORRECTIVO>, <CÁMARA TERMOGRÁFICA>, <TEMPORIZADOR>.

1286-DBRA-UPT-2023



SUMMARY

The objective of this technical work was to repower the water heating system of the indoor pool of the Los Elenes Tourist Complex in the Guano canton, so that it presents better efficiency. The technical work was divided into three axes of intervention: system maintenance, energy evaluation and automation of the ignition system. Within the maintenance, as an initial point was to verify the state of the equipment present in the heating system which are: fire tube cauldron, burner and electrical system, once the elements were identified, the classification was carried out according to their risk priority number (NPR) to determine existing and potential failures, in addition to establishing a high, low, and medium priority level, to then proceed with preventive and corrective maintenance work. The second axis referring to energy evaluation began with a non-invasive analysis of the boiler by measuring temperatures and gas concentration using a thermographic camera, a digital pyrometer and a flue gas analyzer, which can obtain data without stopping the process. of heating, obtaining real data that served to determine the energy losses that the boiler presents and solving them by isolating the critical points of loss of calorific power. Finally, the third axis in which the automation of the ignition system was carried out, since the ignition of the burner was done manually, hindering the heating processes and reducing the efficiency of the system, through the implementation of a timer schedules were established. proper ignition and shutdown of the burner thus improving the productivity of the process. It is concluded that the work carried out in the three axes of intervention improved the efficiency of the heating system in production and in effectiveness, since fuel savings were also recorded.

Keywords: <WATER HEATING SYSTEM>, <FIRETUBE BOILER>, <CORRECTIVE MAINTENANCE>, <THERMOGRAPHIC CAMERA>, <TIMER>.



Lic. Luis Francisco Mantilla Cabrera Mgs.

CI:0603747809

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de integración curricular trata acerca de la repotenciación de los sistemas eléctricos, caldera y bombeo de la piscina cubierta del Complejo Turístico Los Elenes ubicado en el Cantón Guano provincia Chimborazo.

La finalidad es intervenir en el mantenimiento de los equipos ya que los sistemas mencionados de la piscina tienden a consumir mucha energía eléctrica hasta el punto de crear sobretensiones que afectan a motores, bombas y aparatos eléctricos que se encuentren conectados a esta derivación de la alimentación eléctrica. También el consumo energético de la caldera conlleva problemas de consumo excesivo tanto de combustible como eléctrico, al igual que las bombas pues sus circuitos hidráulicos no están en óptimas condiciones.

Para analizar esta problemática es necesario examinar los aspectos que lo están causando, el más importante es que no existe un adecuado plan de mantenimiento dentro del cuarto de máquinas de la piscina, por lo que los equipos cuentan con elementos deteriorados, el GAD Municipal de Guano subcontrata a empresas externas cada cierto tiempo para que realicen el trabajo que difícilmente lo hacen los operarios encargados del sector debido a múltiples condiciones como desconocimiento de las labores de soporte a la maquinaria.

La esencia de este trabajo de integración curricular nace por el convenio de colaboración interinstitucional existente que mantiene la ESPOCH con el Municipio del Cantón Guano, el cual busca fortalecer los servicios que este brinda a la ciudadanía y así llegar de manera conjunta a un objetivo común el cual es impulsar un desarrollo cantonal a nivel provincial y de país.

El objetivo principal que se busca es brindar soporte en el mantenimiento de los equipos de la casa de máquinas mediante una repotenciación de los mismos para que de esta manera se logre alcanzar una predicción sobre las fallas y evitar que los componentes presenten un avería la cual obligue al cambio de estos y los problemas por detrás que conlleva como son el cierre del complejo y el gasto económico que por varias razones no puede verse considerado en el presupuesto cantonal afectando así a otros gastos públicos como también al turismo del cantón ya que el complejo Los Elenes forma parte histórica de Guano.

En el capítulo I – *Diagnóstico del problema*, se hace referencia al acontecimiento histórico del Complejo Turístico, que sirven de punto de partida para la identificación y formulación del problema, que es la falta de mantenimiento de los equipos, lo que conlleva a la delimitación de los objetivos para así poder obtener una solución a la problemática planteada.

En el capítulo II – *Marco teórico*, se presenta en este capítulo las referencias bibliográficas consultadas de diversos autores que brindan su punto de vista acerca del mantenimiento de equipos, cómo repercutirá una repotenciación dentro de sus funciones y componentes, además de las buenas prácticas que sirven para alargar el tiempo de vida de estos.

En el capítulo III – *Marco metodológico*, se explica la metodología a emplearse en el presente proyecto técnico. Como punto de partida se identifica los componentes, las fallas y las causas de estas para luego brindar soluciones prácticas que satisfagan las necesidades del sistema eléctrico, caldera y bombas hidráulicas en su respectivo repotenciamiento.

En el capítulo IV – *Resultados*, en este apartado se muestran los resultados alcanzados dentro del proyecto técnico, los cuales incluyen el repotenciamiento de los equipos de la casa de máquinas de la piscina cubierta.

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

1.1. Antecedentes

La repotenciación del sistema de calentamiento de agua de una piscina conlleva estudios detallados de todos los factores que intervienen, como los equipos, bombas hidráulicas, caldera, circuitos eléctricos, etc. Y todas las variables intervinientes en estos como son la calidad del agua, el voltaje de alimentación de los equipos y hasta los gases de combustión de la caldera, necesarios para determinar la eficiencia del ciclo que están cumpliendo y asumir acciones de corrección o prevención necesarias.

Los resultados del análisis técnico dan un punto de partida en el mantenimiento de los equipos, ya sea este preventivo, predictivo y en el peor de los casos correctivo para asegurar de esta manera un correcto funcionamiento del sistema de calefacción de la piscina.

Para la realización del estudio energético, en cualquier industria a nivel mundial es necesario medir la concentración de algunos gases de la chimenea, como el dióxido de carbono y el oxígeno, medir la temperatura de dichos gases, así como la temperatura del aire de admisión a la combustión, con lo cual, se obtiene la eficiencia de combustión de la caldera. En la actualidad, estas mediciones se hacen de forma electrónica, mediante un equipo electrónico analizador de gases de combustión el cual además puede medir la concentración en la chimenea de otros gases, tales como monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno y óxidos de azufre, para diversos combustibles de uso típico en nuestra región. Una vez realizado el monitoreo de gases en las chimeneas, es necesario conocer el consumo actual de combustible por unidad de tiempo de operación, el tipo de combustible utilizado, su poder calorífico y su concentración de azufre (Aguilar, 2002).

El potencial energético y la diversidad de aplicaciones que tiene el vapor de agua han motivado en las últimas décadas un incremento en la instalación de generadores de vapor en el continente. Sectores como el hotelero, el hospitalario y en un mayor grado el industrial presenta una gran demanda de dicho recurso para variadas aplicaciones como el calentamiento de agua (Jiménez Borges et al., 2016).

La calidad de agua dentro de Ecuador es un factor crítico cuando se la emplea en la generación de vapor ya que los fabricantes de calderas de alta presión recomiendan el uso de agua con unas

ciertas normas de calidad para evitar que se deteriore el equipo por factores presentes en el agua para ello es necesario un sistema de tratamiento de agua siguiendo un proceso que hace que el agua cumpla con las condiciones, para lo cual se hacen análisis de laboratorio para la recolección de datos de calidad de agua para verificar la situación actual del proceso (Guaman Noe, 2011).

El Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Guano hace aproximadamente 15 años realizó la construcción del Complejo Turístico Los Elenes el cual se encuentra ubicado a 2608 m.s.n.m y cuenta con piscina de olas artificiales, piscina con juegos interactivos, piscinas con toboganes, piscina semiolímpica, hidromasaje, sauna, turco y polar. Un servicio completo el cual garantiza la satisfacción de los turistas.

El complejo que viene funcionando desde el 2007 ha realizado mantenimientos a los sistemas y en varias ocasiones hasta el reemplazo de componentes por una inadecuada manipulación de estos lo que incide en gastos extras para la administración.

1.2. Delimitación

1.2.1. Delimitación espacial

El proyecto de integración curricular se desarrolla en el Cantón Guano, Provincia de Chimborazo y forma parte del proyecto de vinculación denominado “Programa de Cooperación Interinstitucional para el Fortalecimiento de los Servicios del GAD Municipal de Guano”.

1.2.2. Delimitación sectorial

El estudio y desarrollo de este trabajo de Integración Curricular se acoge al Plan Nacional de Desarrollo 2017 – 2021, en base a los objetivos 1 y 2 pues fomenta el incremento de las condiciones laborales e impulsa el turismo apoyando así el incremento de nuestro sistema económico.

1.3. Formulación del problema

La casa de máquinas de la piscina cubierta del Complejo Turístico Los Elenes del Cantón Guano cuenta con equipos mecánicos, hidráulicos y térmicos los cuales presentan fallos constantes debido a un mal manejo y cuidado de estos lo cual se ve reflejado en la baja eficiencia y eficacia del proceso de calentamiento que posee el sistema. Para realizar el mantenimiento de este se debe realizar una adjudicación de contrato a agentes externos que realizan un cambio de los componentes averiados pues no siguen un acompañamiento periódico a los equipos para un

debido mantenimiento preventivo y predictivo, por lo cual no se cuenta con un proceso de mejoramiento y se incurren en gastos que podrían ser mermados con un análisis técnico adecuado de información sobre los sistemas y equipos, para su posterior repotenciación.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Realizar una repotenciación del sistema de calentamiento de agua de la piscina cubierta del Complejo Turístico Los Elenes del Cantón Guano para lograr un incremento en su eficiencia.

1.4.2. Objetivos específicos

- Brindar asistencia en el mantenimiento preventivo y correctivo del sistema de calentamiento de agua para alcanzar una repotenciación adecuada.
- Efectuar una evaluación energética en la caldera para determinar los pasos a seguir en la repotenciación de esta.
- Realizar un análisis técnico del tratamiento del agua para la caldera.
- Implementar un sistema de automatización programable en el encendido de la caldera mediante un levantamiento de sus circuitos eléctricos.
- Contrastar los datos obtenidos experimentalmente con datos teóricos obtenidos mediante una simulación térmica de la caldera para lograr una validación de resultados.

CAPÍTULO II

2. REVISIÓN DE LA LITERATURA O FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1. Sistema de bombeo hidráulico

Un sistema de bombeo consiste en un conjunto de elementos que permiten el transporte a través de tuberías y el almacenamiento temporal de los fluidos, de forma que se cumplan las especificaciones de caudal y presión necesarias en los diferentes sistemas y procesos. (Blanco, Velarde y Fernández, 1994, p. 1)

Dentro de un sistema de bombeo hidráulico se encuentran los circuitos hidráulicos, los cuales se explican en los párrafos a continuación.

2.1.1. Circuitos hidráulicos

En un sistema típico, además de las tuberías que enlazan los puntos de origen y destino, son necesarios otros elementos. Algunos de ellos proporcionan la energía necesaria para el transporte: bombas, lugares de almacenamiento y depósitos. Otros son elementos de regulación y control: válvulas y equipos de medida. (Blanco, Velarde y Fernández, 1994, p. 1)

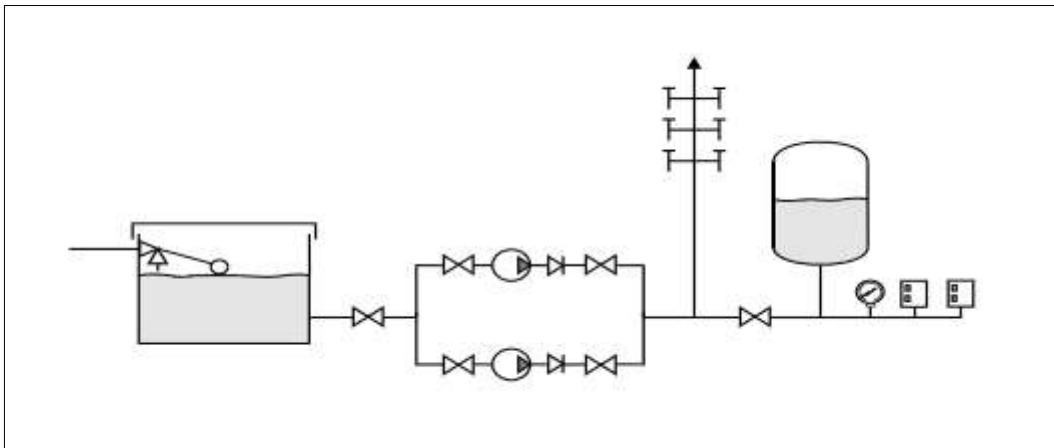


Ilustración 2-1: Ejemplo de circuito hidráulico

Fuente: Blanco, Velarde y Fernández, 1994, p. 2.

Un factor importante del circuito hidráulico es el caudal que se lo menciona en el siguiente apartado.

2.1.2. Caudal

En dinámica de fluidos, caudal es la cantidad de fluido que circula a través de una sección del ducto (tubería, cañería, oleoducto, río, canal [...]) por unidad de tiempo. Normalmente se identifica con el flujo volumétrico o volumen que pasa por un área dada en la unidad de tiempo. Menos frecuentemente, se identifica con el flujo másico o masa que pasa por un área dada en la unidad de tiempo. Se representa con Q [...]. (Wikipedia, s.f., párr. 1)

El caudal necesita ser cuantificado, por lo que existen varios métodos para medirlo:

Son válidos, por supuesto, el tubo de Pitot y todos los sistemas de medida de velocidad, aunque se suelen utilizar sistemas específicos para la medida en una tubería.

Los rotámetros, medidores de turbina, etc., introducen un elemento en el flujo, y por su desplazamiento o velocidad de giro indican el caudal que está pasando. Los de tipo turbina, acoplados a un cuentarrevoluciones, suelen utilizarse para la medida del volumen total a lo largo del tiempo.

Los Venturi y las placas de orificio aprovechan la diferencia de presión provocada por el aumento de velocidad del fluido en una reducción de la sección. El primero apenas provoca pérdida de carga, pero es de construcción más complicada.

Más recientemente han aparecido los medidores de ultrasonidos y de resonancia magnética. Basados en la medida de la velocidad de los ultrasonidos a favor y en contra de la corriente o de las propiedades de resonancia magnética del fluido, tienen la gran ventaja de no ser intrusivos.

Cualquier sistema de medida de caudal que requiera una cierta precisión debe ser montado en una zona de la tubería libre de perturbaciones: lejos de codos, válvulas y bombas. Las normas internacionales dan indicaciones de los valores de construcción, instalación y calibración de todos estos instrumentos. (Blanco, Velarde y Fernández, 1994, p. 88)

Ahora bien, el caudal, es decir, la cantidad de fluido –en este caso, el agua– debe ser impulsado por una presión de bombeo para que alcance el nivel de altura deseado o un punto de llegada en particular.

2.1.3. Presión de bombeo

La presión es la característica técnica que se define por la fuerza que el agua tiene en su expulsión, varía en función de la sección de la manguera de la bomba y se indica en bar (bares) o en MCA (metros de columna de agua). $1 \text{ B} = 10 \text{ MCA}$. La presión funciona a la par que el caudal, es decir, están directamente relacionados. (AutoSolar, 2019, párr. 14)

El agua ejerce un empuje o presión sobre la pared del tubo o depósito que la contiene, y se expresa en kilogramos por centímetro cuadrado –atmósferas– metros por columna de agua.

En el seno de una corriente uniforme, el valor es el mismo para todos los puntos de una sección transversal. (Biblioteca ATRIUM de Instalaciones de Agua, s.f., p. 1)

2.1.3.1. Manómetro

El manómetro es un instrumento de medición para la presión de fluidos contenidos en recipientes cerrados.

2.2. Sistema eléctrico

“El sistema eléctrico se define como el conjunto de instalaciones, conductores y equipos necesarios para la generación, el transporte y la distribución de la energía eléctrica. Se divide en tres subsistemas principales: generación, transporte y distribución” (Total Energies, 2020, párr. 1). Dentro de los sistemas eléctricos se tiene una variable muy importante a tener en cuenta, esta es, la tensión.

2.2.1. Tensión

Se denomina tensión eléctrica a la diferencia de nivel eléctrico que existe entre dos puntos de un circuito eléctrico. Esta diferencia de potencial entre dos puntos del circuito es necesaria para que la corriente circule entre ellos. La unidad de tensión en el SI es el voltio, aunque a veces pueden usarse múltiplos y submúltiplos de este. (Orza, s.f., p. 6)

De esta manera, para cuantificar y medir esta variable, es necesario contar con un instrumento denominado multímetro. “Un multímetro, también denominado *tester*, es un dispositivo eléctrico y portátil, que le permite a una persona medir distintas magnitudes eléctricas que forman parte de un circuito, como ser corrientes, potencias, resistencias, capacidades, entre otras” (Como Funciona, s.f., párr. 2).

2.3. Caldera piro tubular

Son dispositivos diseñados para suministrar calor a una masa de agua que puede estar o no en reposo, con el fin de provocar en ella el cambio de estado. Estos dispositivos son conocidos como calderas y funcionan poniendo en contacto el agua a evaporar con superficies a temperaturas elevadas conocidas como superficies de calefacción, logrando así que el calor viaje de las

superficies con temperaturas altas hacia el agua que se encuentra a una temperatura más baja. (Osejo, 2017, p. 19)

[Las calderas piro-tubulares] son las más antiguas y de uso más extendido debido a su diseño simple y sus bajos costos. En este tipo de calderas, los tubos de acero se encuentran sumergidos en un tanque cilíndrico que actúa como cámara de agua y de vapor, mientras que, por el interior, los gases de combustión circulan a alta temperatura. (Osejo, 2017, p. 23)

Todos estos factores influyen en el rendimiento energético de la caldera, lo que da una idea de la cantidad de energía que se pierde y el porcentaje que es aprovechado. Por ello, a continuación, se presenta el rendimiento de una caldera piro-tubular.

2.3.1. Rendimiento energético

El rendimiento energético en calderas industriales puede oscilar en un rango variable en función del uso, el tipo de combustible y el grado de sobredimensionamiento, entendiéndose este último como la cantidad de vapor que es capaz de producir la caldera y que sobrepasa la cantidad real necesaria demandada por el consumidor. En un estudio realizado en Serbia a un 25 % de las calderas instaladas el rendimiento energético se encuentra alrededor del 89,4 %. En el libro Generadores de vapor se considera que las calderas piro-tubulares operan en un rango de eficiencia bruta entre 88 % y 92 %. En el caso particular de los generadores de vapor es indispensable la medición instantánea de parámetros operacionales para comprobar que la energía disponible se aproveche de la manera más eficiente posible. Un aspecto importante en la evaluación del generador de vapor es la inclusión de la exergía en el análisis termodinámico, dicha propiedad permite incluir la calidad de la energía en los balances exergéticos de los procesos. (Jiménez et al., 2015, p. 136)

Para determinar el rendimiento energético de una caldera es necesario realizar mediciones in situ durante el periodo de estabilización del trabajo de parámetros como: la distribución de temperatura superficial, la composición de los gases de escape y el flujo de agua alimentar. A partir del uso de técnicas no invasivas y con el auxilio de equipos como la cámara termográfica, el flujómetro ultrasónico y el analizador de gases de la combustión. (Jiménez et al., 2015, p. 137)

2.3.1.1. Pirómetro de radiación

Un pirómetro es un instrumento que se utiliza para medir temperaturas a distancia, las cuales se clasifican en un rango amplio: desde los -40 °C hasta los 4000 °C. Este instrumento se emplea sobre todo para medir objetos o sustancias en movimiento, o en lugares donde se requiere una

medición sin contacto. Se usa, por ejemplo, para medir la temperatura en hornos, metales incandescentes o gases. El pirómetro de radiación capta la radiación emitida por el cuerpo cuya temperatura se quiere determinar, y este tipo de pirómetro se funda en la ley Stefan-Boltzmann.

2.3.1.2. Cámara termográfica

Una cámara infrarroja contiene un sistema óptico que enfoca la energía infrarroja en un detector especial (conjunto del sensor) que contiene miles de píxeles organizados en una cuadrícula. Cada píxel del conjunto del sensor reacciona a la energía infrarroja concentrada en él y produce una señal electrónica. El procesador de la cámara toma la señal de cada píxel y utiliza un cálculo matemático para crear un mapa de color de la temperatura aparente del objeto. A cada valor de temperatura se le asigna un color diferente. La matriz de colores resultante se envía a la memoria y a la pantalla de la cámara como una imagen de la temperatura (imagen térmica) de ese objeto. (Fluke, s.f., párr. 2-3)

2.3.1.3. Analizador de gases de combustión

Es una herramienta, generalmente portátil, utilizada para que se conozca de manera exacta los niveles de contaminantes que hay en los gases de combustión. Hay modelos que sirven para identificar varios tipos de gases, separarlos y arrojar una cifra de forma individual, para que se tenga conocimiento preciso de lo que está emitiendo el vehículo.

La función principal de un analizador gases combustión es conocer con precisión los tipos de gases que salen por el tubo de escape tras la quema de combustible y la cantidad producida; de igual forma sirven para identificar la presencia de fugas de gases.

Las emisiones que se miden son el dióxido de carbono, el monóxido de carbono (CO), el óxido de nitrógeno (NO) y los hidrocarburos no quemados (HC), los cuales pueden salir alterados según la temperatura de la combustión, la homogeneidad de la mezcla, la presión, la turbulencia, entre otros. (Escapes Mendoza, 2019, párr. 3-5)

2.4. Mantenimiento

El mantenimiento se puede definir como el control constante de las instalaciones (en el caso de una planta) o de los componentes (en el caso de un producto), así como el conjunto de trabajos de reparación y revisión necesarios para garantizar el funcionamiento regular y el buen estado de conservación de un sistema en general. (Muñoz, s.f., p. 4)

Adicionalmente, existen algunos tipos de mantenimiento: el preventivo, el correctivo y el predictivo. Estos cumplen, en conjunto, la función de dar soporte y control a los equipos. A continuación, se describe cada uno de ellos.

2.4.1. *Mantenimiento preventivo*

“Es el conjunto de actividades programadas de antemano, tales como inspecciones regulares, pruebas, reparaciones, etc., encaminadas a reducir la frecuencia y el impacto de los fallos de un sistema” (Commet, s.f., párr. 6). Dentro del mantenimiento preventivo se tiene el método de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM).

2.4.1.1. *RCM*

El RCM se centra en la relación entre una organización y los activos físicos que posee y opera. Antes de que se pueda explorar esta relación detalladamente, es necesario saber qué tipo de activos físicos existen en la empresa, y decidir cuáles son los que deben estar sujetos al proceso de aplicación de RCM. En la mayoría de los casos, esto significa que debe realizarse un inventario de activos completo si aún no existe.

Cada activo debe haberse adquirido para unos propósitos determinados. En otras palabras, deberá tener una función o funciones específicas. La pérdida total o parcial de estas funciones afecta a la organización en cierta manera.

Como resultado de lo anterior, el RCM comienza definiendo las funciones y los estándares de funcionamiento asociados a cada elemento, componente y sistema de los activos en su contexto operacional.

Cuando se establece el funcionamiento deseado, el RCM pone especial énfasis en la necesidad de cuantificar los estándares de funcionamiento siempre que sea posible. Estos estándares se extienden a la operación, la calidad del producto, el servicio al cliente, las afectaciones al medio ambiente, el costo operacional y la seguridad. (Moubray, 2021, p. 7)

2.4.1.2. *Norma SAE JA1011*

“La norma SAE JA1011 establece los criterios mínimos que debe cumplir una metodología para que pueda definirse como RCM; especifica que cualquier proceso de RCM debe asegurarse de responder satisfactoriamente en secuencia las preguntas que se muestran” (Universidad Francisco de Paula Santander, s.f., p. 4)



Ilustración 2-2: Proceso del RCM

Fuente: Moubray, 2021.

2.4.1.3. Análisis de modos y efectos de fallas (AMEF)

El paso siguiente es tratar de identificar los modos de falla que tienen más probabilidad de causar la pérdida de una función. Esto permite comprender exactamente qué es lo que se está tratando de manejar.

En la realización de este paso, es importante identificar cuál es la causa real de cada falla. Esto asegura no malgastar el tiempo y el esfuerzo tratando los síntomas en lugar de las causas. Al mismo tiempo, cada modo de falla debe ser considerado en el nivel apropiado, evitando aquellos sobre los cuales la organización no tiene control.

Cuando se identifica cada modo de falla, los efectos de las fallas también deben registrarse, un efecto en otras palabras es lo que pasaría si ocurriera el modo de falla analizado. Este paso permite visualizar la importancia de cada falla y, por lo tanto, decidir qué nivel de intervención (si lo hubiera) sería necesario.

El proceso de contestar solo a las cuatro primeras preguntas genera oportunidades sorprendentes y, a menudo, muy importantes para mejorar el funcionamiento y la seguridad, y para eliminar errores. También mejora enormemente los niveles de comprensión acerca del funcionamiento de los equipos. (Moubray, 2021, p. 8).

2.4.1.4. Número de prioridad de riesgo (NPR)

[...] El número de prioridad de riesgo (RPN) se determina multiplicando las puntuaciones de gravedad, incidencia y detección; el grupo de trabajo puede usar este número para priorizar qué pasos marcar para las acciones correctivas y la reevaluación. Una puntuación más alta de RPN

indica un área de necesidad más urgente para la intervención y mejora del proceso, mientras que un RPN bajo indica una tarea o paso de importancia menos inmediata. (Tewfik, 2021, p. 20).

2.4.2. *Mantenimiento correctivo*

Es el conjunto de actividades de reparación y sustitución de elementos deteriorados por repuestos que se realiza cuando aparece el fallo. Este sistema resulta aplicable en sistemas complejos, normalmente componentes electrónicos o en los que es imposible predecir los fallos y en los procesos que admiten ser interrumpidos en cualquier momento y durante cualquier tiempo, sin afectar la seguridad. También para equipos que ya cuentan con cierta antigüedad.

Tiene como inconvenientes, que el fallo puede sobrevenir en cualquier momento, muchas veces, el menos oportuno, debido justamente a que en esos momentos se somete al bien a una mayor exigencia.

Fallos de escaso coste no detectados a tiempo pueden causar daños importantes en otros elementos que se encontraban en buen estado de uso y conservación. (Commet, s.f., párr. 3-5)

Otro inconveniente de este sistema es que se debe disponer de un capital importante para invertirlo en piezas de repuesto (Muñoz, s.f.).

2.4.2.1. *Automatización*

La estructuración de un sistema automatizado puede clasificarse en dos partes claramente diferenciadas: por un lado, lo que denominaremos parte operativa, formada por un conjunto de dispositivos, máquinas o subprocesos, diseñados para la realización de determinadas funciones de fabricación; de forma específica pueden tratarse de máquinas herramienta para la realización de operaciones de mecanizado más o menos sofisticadas o bien subprocesos dedicados a tareas como destilación, fundición, etc. [...]

Por otro lado, tenemos la parte de control o mando, que, independientemente de su implementación tecnológica electrónica, neumática, hidráulica etc., es el dispositivo encargado de realizar la coordinación de las distintas operaciones encaminadas a mantener a la parte operativa bajo control [...]. (Baque et al., 2021, p. 40)

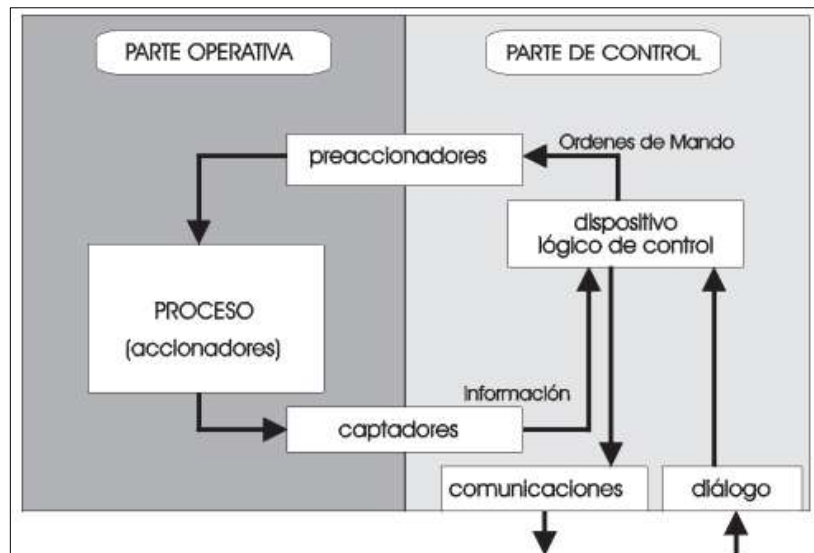


Ilustración 2-3: Modelo estructural de un sistema automatizado

Fuente: García, 1999Contro.

2.4.2.2. *Timer digital programable*

Un temporizador programable o timer es un pequeño dispositivo que, una vez conectado a un enchufe, abre y cierra el circuito eléctrico automáticamente según las especificaciones del usuario. De este modo, brinda la posibilidad de fijar el encendido y apagado de los dispositivos y hacer un uso óptimo de la energía. (El Confidencial, 2021, párr. 4)

2.4.3. *Mantenimiento predictivo*

Es el conjunto de actividades de seguimiento y diagnóstico continuo (monitorización) de un sistema, que permiten una intervención correctora inmediata como consecuencia de la detección de algún síntoma de fallo.

El mantenimiento predictivo se basa en el hecho de que la mayoría de los fallos se producen lenta y previamente, en algunos casos, arrojan indicios evidentes de un futuro fallo, bien a simple vista, o bien mediante la monitorización, es decir, mediante la elección, medición y de algunos parámetros relevantes que representen el buen funcionamiento del equipo analizado. Por ejemplo, estos parámetros pueden ser: la temperatura, la presión, la velocidad lineal, la velocidad angular, la resistencia eléctrica, los ruidos y vibraciones, la rigidez dieléctrica, la viscosidad, el contenido de humedad, de impurezas y de cenizas en aceites aislantes, el espesor de chapas, el nivel de un fluido, etc.

En otras palabras, con este método, tratamos de seguir la evolución de los futuros fallos. (Muñoz, s.f., p. 7)

Ahora bien, el tratamiento del agua que ingresa a la caldera es una forma factible de predecir futuros fallos, pues se controla el parámetro de la calidad del agua.

Muchas plantas usan agua cruda procedente de ríos o lagos como agua de aportación de caldera. Esta agua cruda se trata externamente por sedimentación, filtración, ablandamiento y eliminación de gases disueltos para quitar parámetros presentes en el agua que afectan a correcto funcionamiento de las calderas y más aún la adecuación de la calidad del agua se convierte en un factor muy importante al tratarse de calderas de alta presión.

El agua tal como la encontramos en la naturaleza no es utilizable directamente para el consumo humano ni para la industria, porque, salvo en casos raros, no es suficientemente pura. A su paso por el suelo, por la superficie de la tierra o incluso a través del aire, el agua se contamina y se carga de: materias en suspensión o en solución, partículas de arcilla, residuos de vegetación, organismos vivos, sales disueltas (cloruros, sulfatos, carbonatos de sodio, calcio, hierro, manganeso), materias orgánicas (ácidos húmicos, residuos de fabricación), gases. (Guamán, 2011, pp. 13-14)

Finalmente, para determinar un correcto método de tratamiento de aguas, es necesario realizar ensayos de calidad y establecer parámetros.

Para asegurar esta calidad, también es prioritario cumplir con la normativa vigente que fija los límites recomendados para los parámetros involucrados en el tratamiento del agua en función del tipo de caldera y la presión de trabajo.

Un descuido en el tratamiento de aguas para calderas puede ocasionar costosas reparaciones, labores de mantenimiento continuas o un importante gasto en combustible. Además de un desgaste completo en los equipos.

El uso, por ejemplo, de agua dura –aquella que tiene un alto nivel de minerales, en concreto, sales de magnesio y calcio– puede provocar daños no solo en las calderas, sino también en tuberías, torres de enfriamiento, así como en otros componentes integrados dentro de un mismo proceso.

Las características que debe tener el agua destinada a calderas y generación de vapor deben ser:

- Cero durezas.
- Ph del 10.5-11.5 (rango normal). Valor máximo permisible de 12.5.
- Libre de oxígeno disuelto con un valor de sulfito residual >50ppm.

- Sólidos totales disueltos. En función del tipo de caldera, puede variar desde 3000 ppm (baja presión) hasta menor a 100 ppm para calderas de alta presión.
- Hierro disuelto <1.0 ppm.
- Libre de sólidos suspendidos.
- Sílice desde 120 ppm a 1 ppm en función del tipo de caldera.

Es importante contar con un análisis fisicoquímico del agua para determinar el tratamiento de aguas de calderas más adecuado. Para ello, es primordial tener presentes los siguientes parámetros:

Temperatura del agua

Dependiendo del uso para el cual se vaya a dar, esta necesita estar en un rango de temperatura idóneo para su proceso.

Dureza total

Corresponde a los minerales de calcio y magnesio que están presentes en el agua. Ocasiona la aparición de incrustaciones en las calderas y, por consiguiente, la pérdida por transferencia de calor, el incremento del consumo de energía y sobrecalentamiento en el metal de los tubos de la caldera.

Sólidos suspendidos

Estos sólidos pueden ser eliminados mediante filtración. En la mayoría de las ocasiones con medios filtrantes como la zeolita que elimina sedimentos y partículas de óxido con una eficiencia de 2.8 veces superior a la arena sílice convencional. Esta filtración es el primer paso para llevar a cabo en cualquier sistema de tratamiento de agua para calderas.

Sólidos disueltos

Son los minerales disueltos que se pueden hallar en el agua. Por ejemplo: carbonato de calcio, sulfato de calcio, sílice, sulfato de magnesio, hierro o aluminio. Cuando el agua se evapora, estos minerales disueltos y suspendidos en el agua permanecen en la caldera y se incrementan. Por lo tanto, después de un periodo de tiempo, hay bastantes probabilidades de que los sólidos totales disueltos alcancen niveles críticos. Para controlar precisamente estos niveles, es necesario abrir la válvula de purga de la caldera. Si se da el caso de que el agua de alimentación tiene altos los sólidos totales disueltos, las purgas se harán constantes. Por consiguiente, y en estos casos, la opción más recomendada es emplear una unidad de ósmosis inversa para reducir considerablemente las sales disueltas y así aumentar la eficiencia de la caldera como veremos más adelante.

Alcalinidad

Es importante controlar el nivel de alcalinidad porque puede causar daños por corrosión e influir en los ciclos de concentración con el fin de aumentar o disminuir las purgas que se emplean en los equipos. (Interempresas, 2021, párr. 8-17)

CAPÍTULO III

3. MARCO METOLÓGICO

3.1. Contexto operacional

La piscina cubierta del Complejo Turístico Los Elenes se encuentra ubicada en el cantón Guano Provincia de Chimborazo. Cuenta con un cuarto de máquinas en el cual se realiza el proceso de calentamiento de agua para climatizar la piscina semiolímpica.

El cuarto de máquinas consta de una caldera que es el elemento principal del proceso por lo cual gran parte de este proyecto técnico se enfoca en esta.

La caldera es de 20 BHP de potencia, de tipo artesanal y sirve como un calentador de agua, su horario de trabajo inicia los jueves en la noche y termina los domingos en horario de la mañana ya que el balneario está abierto al público de viernes a domingo. Los jueves y lunes se realiza el mantenimiento de estos equipos. Cabe recalcar que las horas que la caldera trabaja por día no son exactas ya que dependen netamente del operador del cuarto de máquinas.

La caldera posee un quemador (oil burner) que funciona a base de diésel y proporciona la combustión necesaria para transmitir la energía calorífica al agua. Al ser de tipo artesanal este quemador debe ser encendido manualmente los días de trabajo mediante un interruptor cola de rata.



Ilustración 3-1: Interruptor para el encendido del quemador

Realizado por: Jiménez, R, 2023.

Provocando que el operador del cuarto de máquinas deba encender y apagar esta máquina cada vez que él considere necesario sin ningún fundamento teórico para realizar dicha actividad. Lo cual repercute en el horario de trabajo del quemador ya que algunos días existe el olvido del encendido de este o no se mantienen horarios adecuados de trabajo.

La caldera al ser un equipo que genera calor, gran parte de este calor se disipa a ambiente y es notable pues al encontrarse cerca del caldero se puede apreciar una energía térmica de gran valor, a tal punto de provocar quemaduras si se la palpa directamente sin ningún tipo de protección.

En términos generales el cuarto de máquinas necesita una repotenciación de elementos importantes para el sistema como es el mantenimiento de la caldera, reconfiguración del sistema de encendido, trabajos en el aislamiento de la caldera para evitar pérdidas de calor por radiación y convección.

Por lo cual en este capítulo se va a detallar los pasos a seguir para una repotenciación del sistema de calentamiento de agua de la piscina cubierta del Complejo Los Elenes en tres ejes principales los cuales son: Mantenimiento del sistema, evaluación energética del sistema, automatización del sistema de encendido del quemador.

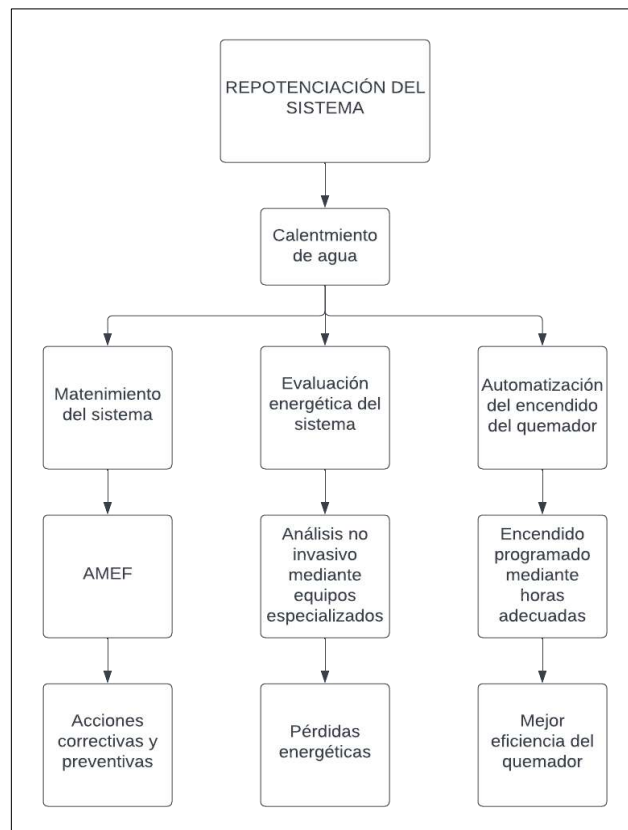


Ilustración 3-2: Diagrama general de la repotenciación

Realizado por: Jimenez, R, 2023.

3.2. Mantenimiento del sistema

Como punto de partida se selecciona el método AMEF (Análisis de modos y efectos de falla) para cubrir todas las necesidades del sistema de calentamiento de agua, el cual ayuda a prevenir los fallos potenciales y corregir averías que pueden desencadenar en paros totales del proceso de calentamiento.

A continuación, se presenta un esquema presentando la metodología a seguir en este apartado:

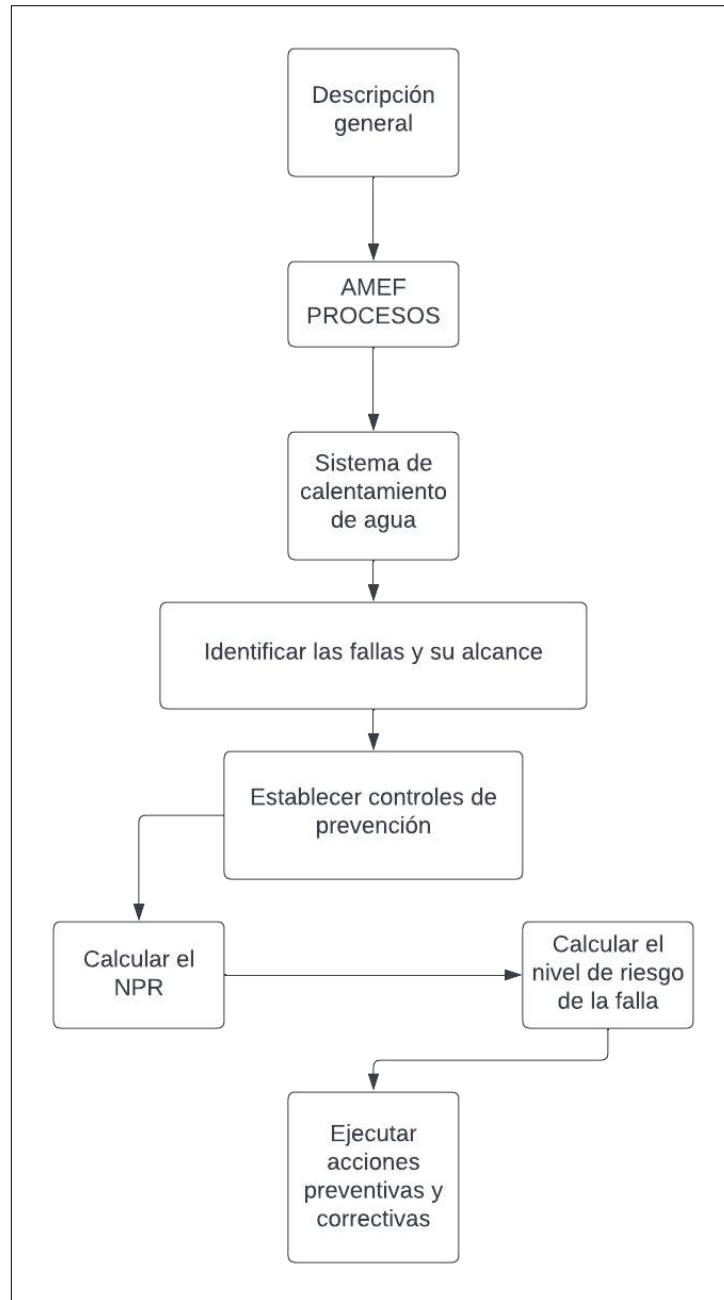


Ilustración 3-3: Metodología para el mantenimiento del sistema

Realizado por: Jimenez, R, 2023.

Siguiendo el diagrama de la metodología a implementar se empieza por la descripción y caracterización del proceso y los equipos que intervienen en el sistema de calentamiento de agua.

3.2.1. Caracterización de equipos

Al mencionar los equipos existentes se hace referencia a todos los elementos que conforman el sistema de calentamiento de agua de la piscina cubierta del Complejo Turístico Los Elenes del cantón Guano, esto para obtener toda la información necesaria de estos.

- **Caldera piro tubular**

La caldera es de tipo horizontal de procedencia artesanal y posee una potencia de 20 BHP. Sirve como un calentador de agua, de ella sale el agua caliente directamente a la piscina semiolímpica.



Ilustración 3-4: Caldera piro tubular

Realizado por: Jimenez, R, 2023.

- **Bomba 20 HP**

Se cuenta con una bomba marca WEG la cual es la encargada de impulsar el agua proveniente del sistema de abastecimiento hacia el filtro a presión.



Ilustración 3-5: Bomba 20 HP

Realizado por: Jimenez, R, 2023.

- Filtro a presión

Es un filtro de agua a presión de tipo ultra rápido vertical, de marca TOBOGAN WATER, encargado de la separación de sólidos suspendidos en el agua.



Ilustración 3-6: Filtro vertical de presión

Realizado por: Jimenez, R, 2023.

- Tuberías y accesorios

Existen tuberías de PVC y de acero negro dependiendo de la aplicación en el sistema de calentamiento.

- Quemador

Se trata de un quemador marca WAYNE de 4 a 15 GPH a 120 Volts el cual es el encargado de atomizar el combustible y genera la chispa para que exista la combustión y así pueda darse inicio el proceso de calentamiento de agua.



Ilustración 3-7: Quemador

Realizado por: Jimenez, R, 2023.



Ilustración 3-8: Placa del quemador

Realizado por: Jimenez, R, 2023.

- Presostato cola de cerdo

Equipo conformado por un manómetro y un pressuretrol (marca HONEYWELL) destinados a la medición y control de la presión de la caldera mediante un sistema de configuración manual para así evitar las sobrepresiones que podrían desencadenar en catástrofes.



Ilustración 3-9: Presostato cola de cerdo

Realizado por: Jimenez, R, 2023.

- Mcdonell

Es un instrumento que sirve como un elemento de seguridad en la caldera al controlar el nivel de agua de la caldera e impedir el retorno de esta, funcionando, así como una válvula check dentro del sistema.



Ilustración 3-10: Mcdonell

Realizado por: Jimenez, R, 2023.

- Sistema eléctrico

Se cuenta con dos cajetines los cuales son los encargados de distribuir la energía necesaria a todos los elementos del sistema.



Ilustración 3-11: Cajetín eléctrico general

Realizado por: Jimenez, R, 2023.

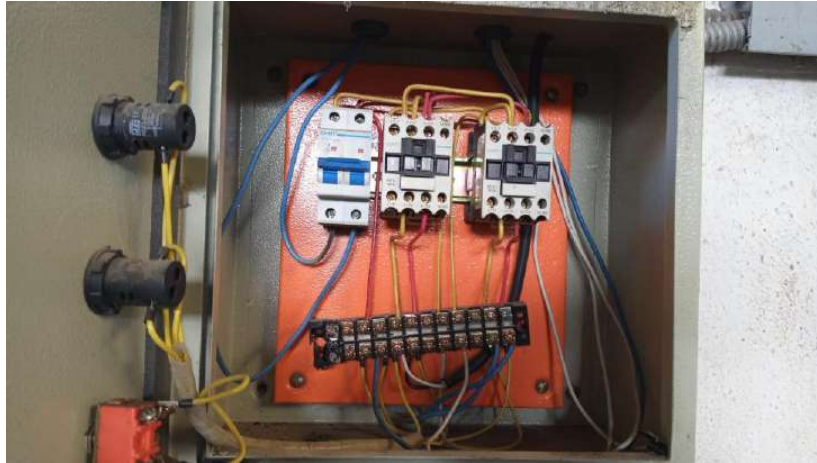


Ilustración 3-12: Cajetín eléctrico del quemador

Realizado por: Jimenez, R, 2023.

Una vez caracterizados los equipos se describe a continuación el proceso de calentamiento de agua:

3.2.2. *Proceso de calentamiento de agua*

El agua de alimentación ingresa de la red de abastecimiento local y es impulsada por una bomba hidráulica hasta el filtro de presión vertical del cual sale y se dirige hacia la caldera piro tubular donde ingresa al compartimiento de agua y adquiere energía en forma de calor haciendo que aumente su temperatura, posteriormente sale de la caldera y se dirige hacia la piscina donde se mezcla con el agua fría, y el proceso se repite hasta que la piscina alcanza una temperatura adecuada para los usuarios.

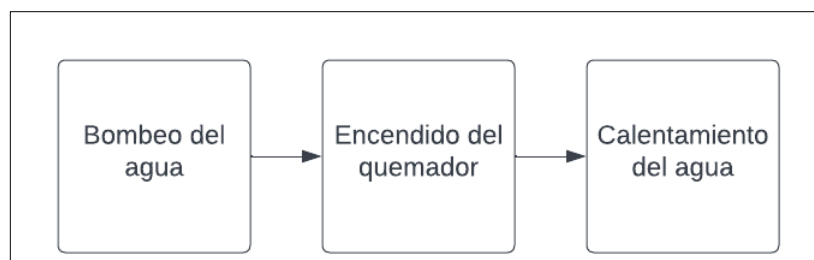


Ilustración 3-13: Diagrama del proceso de calentamiento

Realizado por: Jimenez, R, 2023.

3.2.3. *Identificación de fallos y su alcance*

En la identificación de fallos se hace una revisión de las etapas del proceso identificando qué podría fallar durante el mismo.

Para ello se hace uso de las escalas de severidad, ocurrencia y detección dadas por la Sociedad Americana de Calidad (ASQ).

Severidad		
ASQ (American Society for Quality)		
Clasificación	Efecto	Criterio: Severidad de Efecto Definido (proceso)
10	Critico Peligroso: Sin Aviso	Puede poner en peligro al operador. Modo de fallas afectan la operación segura y/o involucra la no conformidad con regulaciones gubernamentales. La falla ocurrirá SIN AVISO.
9	Critico Peligroso: Con Aviso	Puede poner en peligro al operador. Modo de fallas afecta la operación segura y/o involucra la no conformidad con regulaciones gubernamentales. La falla ocurrirá CON AVISO.
8	Muy Alto	Interrupción mayor a la línea de producción. 100% del producto probablemente sea desechado. Ítem inoperable, pérdida de su función primaria. Cliente muy insatisfecho.
7	Alto	Interrupción menor a la línea de producción. Producto probablemente deba ser clasificada y una porción (menor al 100%) desechada. Ítem operable, pero a un nivel reducido de rendimiento. Cliente insatisfecho.
6	Moderado	Interrupción menor a la línea de producción. Una porción (menor al 100%) probablemente deba ser desechada (no clasificada). Ítem operable, pero algunos ítems de confort/ conveniencia inoperables. Clientes experimentan incomodidad.
5	Bajo	Interrupción menor a la línea de producción. 100% del producto probablemente sea retrabajado. Ítem operable, pero algunos ítems de confort/ conveniencia operables a un nivel reducido de rendimiento. Cliente experimenta alguna insatisfacción.
4	Muy Bajo	Interrupción menor a la línea de producción. El producto probablemente deba ser clasificado y una porción (menor al 100%) retrabajada. Defecto percibido por la mayoría de los clientes.
3	Pequeño	Interrupción menor a la línea de producción. Una porción (menor al 100%) del producto probablemente deba ser retrabajada en línea pero fuera de la estación de trabajo. Defecto es percibido por el cliente promedio.
2	Muy Pequeño	Interrupción menor a la línea de producción. Una porción (menor al 100%) del producto probablemente deba ser retrabajada en la línea y en la estación de trabajo. Defecto es percibido solo por clientes expertos.
1	Ninguno	Ningún efecto.

Ilustración 3-14: Escala del grado de severidad

Fuente: American Society of Quality.

Ocurrencia (Probabilidad de que pase)				
ASQ (American Society for Quality)				
Clasificación	Ocurrencia	Descripción	Frecuencia	Cpk (índice de capacidad real)
10	Muy Alta	La falla del proceso es casi inevitable	1 en 2	0.33
9			1 en 3	0.51
8	Alta	Procesos similares han presentado fallas	1 en 8	0.67
7			1 en 20	
6	Moderada	Muy pocas fallas ocasionales asociadas a procesos similares	1 en 80	0.83
5			1 en 400	1.00
4			1 en 2,000	1.17
3	Baja	Pocas fallas asociadas con procesos similares	1 en 15,000	1.33
2			1 en 150,000	1.5
1	Remota	Falla es improbable. Fallas nunca asociadas con procesos casi idénticos	< 1 en 1,500,000	> 1.67

Ilustración 3-15: Escala del grado de ocurrencia

Fuente: American Society of Quality

Detección			
ASQ (American Society for Quality)			
Clasificación	Probabilidad de detección	Oportunidad de detección	Criterio: Probabilidad de detección por control de procesos
10	Casi Imposible	Sin oportunidad de detección	no hay controles en el proceso capaz de detectar o prevenir la causa potencial de falla
9	Muy Remota	Es probable que no se detecte en ninguna etapa del proceso	Hay una probabilidad muy remota de que el control de proceso detecte o de prevenga la causa potencial del modo de falla
8	Remota	Detección de problemas después del proceso	Hay una probabilidad remota de que el control de proceso detecte o de prevenga la causa potencial del modo de falla
7	Muy Baja	Detección de problemas en la fuente	Hay una probabilidad muy Baja de que el control de proceso detecte o de prevenga la causa potencial del modo de falla
6	Baja	Detección de problemas después del proceso	Hay una probabilidad Baja de que el control de proceso detecte o de prevenga la causa potencial del modo de falla
5	Moderada	Detección de problemas en la fuente	Hay probabilidad moderada de que el control de proceso detecte o de prevenga la causa potencial del modo de falla
4	Altamente Moderada	Detección de problemas después del proceso	Hay una probabilidad muy moderada de que el control de proceso detecte o de prevenga la causa potencial del modo de falla
3	Moderada	Detección de problemas en la fuente	Hay una probabilidad moderada de que el control de proceso detecte o de prevenga la causa potencial del modo de falla
2	Muy Alta	Detección de errores y/o prevención de problemas	Hay muy alta probabilidad de que el control de proceso detecte o de prevenga la causa potencial del modo de falla
1	Casi Seguro	Proceso a prueba de errores	Es casi seguro que el control de proceso es capaz de detectar o de prevenir la causa potencial del modo de falla

Ilustración 3-16: Escala del grado de detección

Fuente: American Society of Quality.

3.2.3.1. Fallos en el bombeo de agua

Tabla 3-1: Nivel de severidad de falla

Parámetros	Nivel de severidad de falla
Poco caudal	5
Sobretensiones en la bomba	4

Realizado por: Jimenez, R, 2023.

El caudal puede ser un fallo del sistema de bombeo pues si no existe un adecuado volumen de este las bombas corren el riesgo de quemarse o cavitarse si existe la presencia de aire dentro de las tuberías.

Las sobretensiones o sobre voltajes afectan al cuadro eléctrico de la bomba produciendo cortocircuitos y quemando el sistema de arranque del motor.

3.2.3.2. Encendido del quemador

Tabla 3-2: Nivel de severidad del quemador

Parámetros	Nivel de severidad de falla
Cortocircuito en el transformador	10
Exceso de aire	7
Exceso de combustible	6
Mala calibración de la boquilla difusora	8

Realizado por: Jimenez, R, 2023.

El quemador posee un transformador el cual es el encargado de enviar el voltaje para generar el chispazo y que se inicie la combustión, si el transformador se quema el quemador no podrá cumplir su objetivo, el exceso de aire en la cámara provoca una combustión no adecuada y hasta peligrosa pues la explosión puede resultar violenta, el exceso de combustible de igual manera puede provocar que no exista ignición o una explosión violenta dentro de la cámara, y por último la mala calibración de la boquilla puede provocar que el diésel no se pulverice de una manera adecuada generando una combustión no idónea.

3.2.3.3. Calentamiento de agua

Tabla 3-3: Nivel de severidad del calentamiento del agua

Parámetro	Nivel de severidad de falla
Temperatura del agua inadecuada	8

Realizado por: Jimenez, R, 2023.

Alcanzar una temperatura adecuada es lo fundamental para asegurar el confort de los visitantes del balneario por lo que una temperatura baja o alta influye en que la comodidad y el nivel de satisfacción se vea alterada.

3.2.4. Nivel de ocurrencia de las fallas

Una vez identificadas las fallas se procede a evaluar su nivel de ocurrencia durante un periodo determinado, asignando una escala del 1 al 10 donde el 10 simboliza una ocurrencia permanente del fallo y el 1 una ocurrencia no existente.

Tabla 3-4: Nivel de ocurrencia de fallas

Fallas	Nivel de ocurrencia
Poco caudal	4
Sobretensiones en la bomba	4
Cortocircuito en el transformador	10
Exceso de aire	8
Exceso de combustible	7
Mala calibración de la boquilla difusora	8
Temperatura del agua inadecuada	9

Realizado por: Jimenez, R, 2023.

3.2.5. Nivel de detección de la falla

Una vez priorizado el nivel de ocurrencia de fallas se hace un hincapié al nivel de detección que se tiene sobre estas, es decir si existe un programa o un control sobre estas para mermarlas en caso de que ocurran. El nivel de evaluación va del 1 al 10 siendo el número 10 un nivel de detección alto.

Tabla 3-5: Nivel de detección de fallas

Fallas	Nivel de detección
Poco caudal	5
Sobretensiones en la bomba	4
Cortocircuito en el transformador	10
Exceso de aire	10
Exceso de combustible	7
Mala calibración de la boquilla difusora	8
Temperatura del agua inadecuada	10

Realizado por: Jimenez, R, 2023.

3.2.6. Cálculo del NPR

El número prioritario de riesgo es un valor que indica en qué orden y prioridad deberían atenderse los fallos que se han identificado durante el proceso.

A continuación, se calcula el NPR:

Tabla 3-6: Cálculo del NPR

Fallas	NPR=severidad*ocurrencia*detección
Poco caudal	$5 \times 4 \times 5 = 100$
Sobretensiones en la bomba	$4 \times 4 \times 4 = 64$
Cortocircuito en el transformador	$10 \times 10 \times 10 = 1000$

Exceso de aire	$7 \times 8 \times 10 = 560$
Exceso de combustible	$6 \times 7 \times 7 = 294$
Mala calibración de la boquilla difusora	$8 \times 8 \times 8 = 512$
Temperatura del agua inadecuada	$8 \times 9 \times 10 = 720$

Realizado por: Jimenez, R, 2023.

Según el método AMEF la escala de riesgo puede clasificarse en:

De acuerdo con la sociedad americana de calidad (ASQ) se tiene la siguiente escala de riesgo de falla:

Tabla 3-7: Escala de riesgo de falla

Escala	Nivel de falla
500-1000	Alto riesgo de falla
125-499	Riesgo medio de falla
1-124	Riesgo bajo de falla
0	No existe riesgo de falla

Fuente: Sociedad Americana de Calidad

Realizado por: Jimenez, R, 2023.

3.2.7. *Plan de acciones correctivas*

Una vez ejecutado el análisis del modo y efecto de fallas, en base al número prioritario de riesgo (NPR) obtenido se propone un plan de acciones correctivas y preventivas para evitar y corregir los fallos, de acuerdo con su prioridad más alta.

3.2.7.1. *Cortocircuito del transformador del quemador*

El transformador del quemador es el encargado de que el electrodo genere el chispazo para realizar la combustión.

En base a registros anteriores del caldero el transformador del quemador ya lleva algunas ocasiones en las cuales se ha quemado por lo que una acción correctiva es necesaria.

Una limpieza del quemador y los tubos de la caldera es necesaria, así como una inspección visual para generar más opciones de corrección.

3.2.7.2. *Temperatura de agua inadecuada*

La temperatura del agua para una piscina semiolímpica oscila entre los 28°C para una recreación adecuada y al depender de todo el sistema de calentamiento de agua su número prioritario de riesgo medio.

Una acción correctiva es ubicar termómetros flotantes en la piscina para conocer la temperatura del agua en tiempo real y así poder calibrar las horas que debe permanecer encendida la caldera para lograr este objetivo, esto mediante un sistema automático que controle el tiempo.

3.2.7.3. Calibrar la boquilla difusora del diésel

La boquilla difusora es la encargada de atomizar el combustible para que así se produzca una llama adecuada en la cámara de combustión.

Una limpieza o ajuste de esta conlleva a un mejor funcionamiento de esta por lo que la acción correctiva y preventiva es realizar una limpieza a fondo de esta y si el problema persiste la mejor opción es el cambio de esta.

3.2.7.4. Calibrar el ventilador del quemador para obtener una combustión adecuada

El quemador posee un ventilador que es el encargado de suministrar aire a la cámara de combustión (hogar) para que se dé la combustión, pero un exceso de aire puede conllevar a reducciones en el rendimiento.

Una acción correctiva es calibrar la potencia del ventilador mediante una metodología de prueba error establecer la potencia adecuada para que la llama producto de la combustión no sobrepase los límites del hogar.

3.3. Evaluación energética de la caldera

En base al contexto de operacional se obtiene una pérdida palpable de calor en el ambiente por lo que se procede a realizar una evaluación de energía térmica en la caldera.

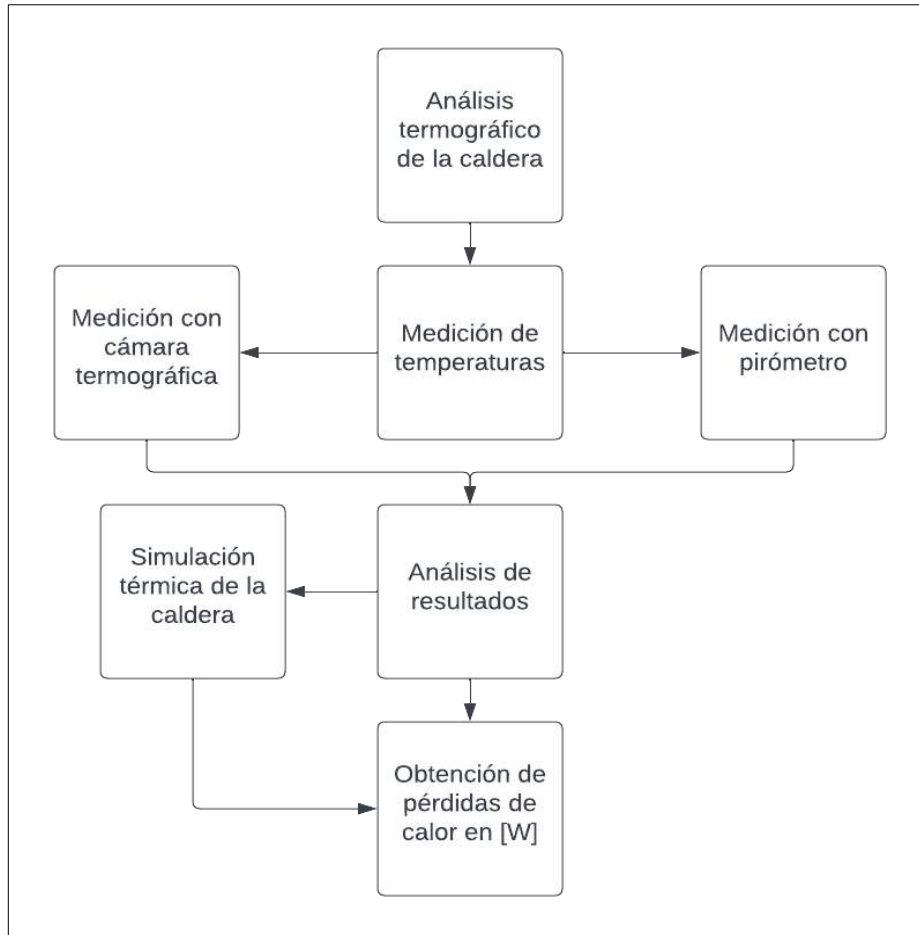


Ilustración 3-17: Diagrama del proceso de evaluación térmica

Realizado por: Jimenez, R, 2023.

De acuerdo con el trabajo de Borges et al. (2016) una caldera puede ser evaluada mediante un método indirecto y no invasivo mediante el uso de equipos como una cámara termográfica y un analizador de gases de combustión los cuales permiten identificar factores de pérdida tanto de energía en forma de calor y energía que se pierde en la combustión del diésel dentro del quemador de la caldera.

3.3.1. Equipos para los análisis no invasivos

Tabla 3-8: Equipos utilizados

Equipo	Modelo
Cámara termográfica	Flir T640
Analizador de gases de combustión	Testo 330-1 LL
Pirómetro	EXTECH VIR 50

Realizado por: Jimenez, R, 2023.

3.3.2. *Análisis termográfico*

Mediante el uso de una cámara termográfica se obtienen los puntos donde la caldera está perdiendo energía térmica en forma de calor que se disipa al ambiente circundante. Este método es adecuado pues no interrumpe el proceso productivo del equipo, las mediciones pueden ser tomadas in situ y a las condiciones de operación reales. Y para corroborar la medición se usa también un pirómetro con cámara incluida para una comparación de resultados.



Ilustración 3-18: Uso de la cámara termográfica

Realizado por: Jimenez, R, 2023.



Ilustración 3-19: Imagen termográfica posterior

Realizado por: Jimenez, R, 2023.

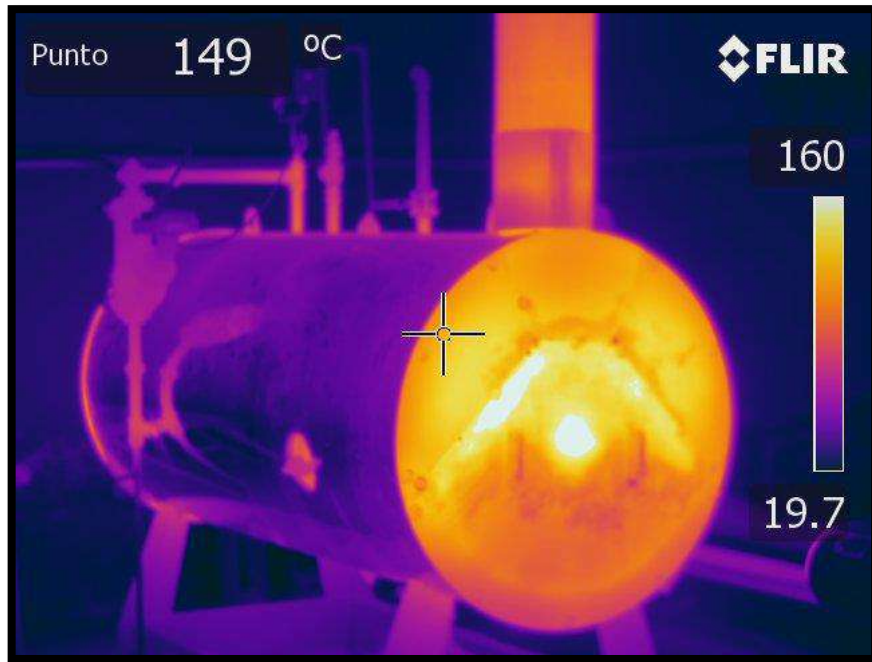


Ilustración 3-20: Imagen termográfica isométrica

Realizado por: Jimenez, R, 2023.

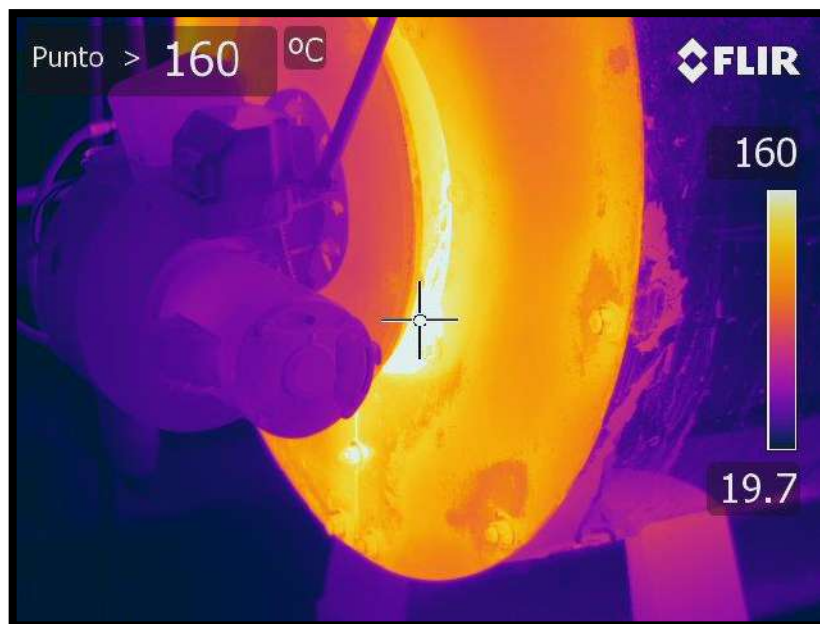


Ilustración 3-21: Imagen termográfica frontal

Realizado por: Jiménez, R, 2023.



Ilustración 3-22: Imagen termográfica lateral

Realizado por: Jiménez, R, 2023.

En las ilustraciones 2-3, 3-3, 4-3 y 5-3 se observa el calor que emite la caldera en su estructura lo cual se traduce a pérdidas por radiación y convección con el exterior.

Ahora con el uso del pirómetro se verifica las áreas tildadas como críticas y no críticas para obtener un valor promedio de temperatura y así poder trabajar con resultados más cercanos a la realidad.



Ilustración 3-23: Imagen cara frontal con el pirómetro

Realizado por: Jiménez, R, 2023.



Ilustración 3-24: Imagen pared lateral con el pirómetro

Realizado por: Jiménez, R, 2023.



Ilustración 3-25: Imagen cara posterior con el pirómetro

Realizado por: Jiménez, R, 2023.

Tabla 3-9: Temperaturas en la caldera

Paredes críticas analizadas	Temperatura cámara termográfica (°C)	Temperatura pirómetro (°C)
Cara frontal	160	132.2
Cara posterior	160	212.5
Pared lateral	25	27.6

Realizado por: Jimenez, R, 2023.

En base a la apreciación del instrumento se escogen las lecturas de la cámara termográfica por su precisión de ± 2 °C o ± 2 % de lectura

Las caras posterior y frontal alcanzan temperaturas de hasta 160°C con una media de 140°C en cuanto a su pared lateral su temperatura promedio es de 27°C. Corroborando con esto que se está perdiendo energía con lo cual el rendimiento de la caldera se ve mermado.

3.3.3. Cálculo de la potencia irradiada por las paredes de la caldera

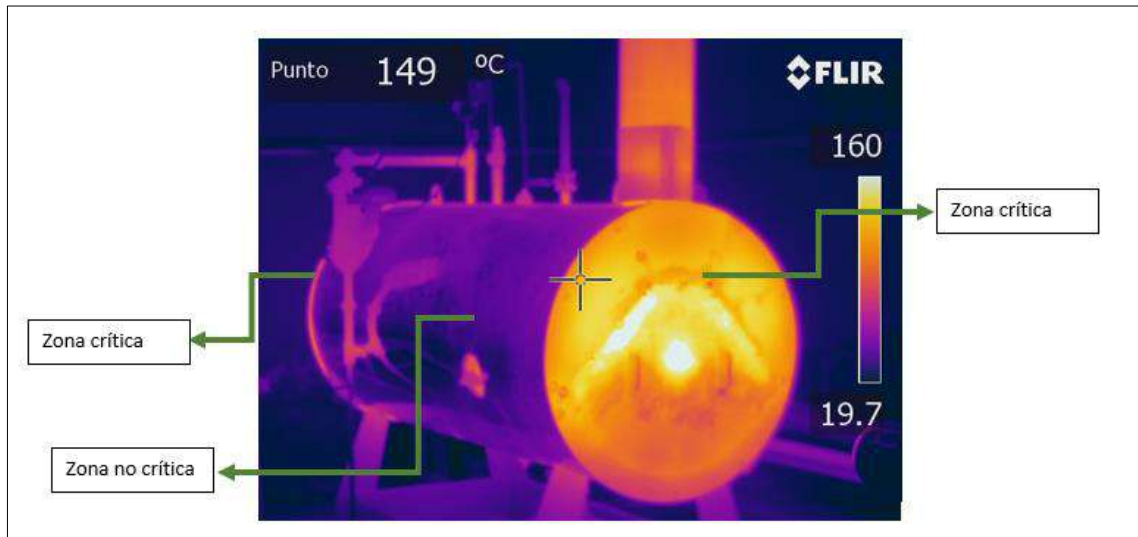


Ilustración 3-26: Identificación de zonas críticas

Realizado por: Jimenez, R, 2023.

El coeficiente de transferencia de calor por radiación se lo calcula mediante la ecuación:

$$\alpha_{rad} = E * C_o(T_p + T_{af})(T_p^2 + T_{af}^2)$$

3.3.3.1. Cálculo en la cara frontal

- Coeficiente de emisividad del material de la caldera piro tubular: $E = 0.74$
- Coeficiente de Stefan Boltzmann: $C_o = 5.97 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4}$
- Temperatura superficial: $T_p = 433.15 \text{ } ^\circ K$
- Temperatura ambiente: $T_{af} = 292.15 \text{ } ^\circ K$

$$\alpha_{rad} = E * C_o(T_p + T_{af})(T_p^2 + T_{af}^2)$$

$$\alpha_{rad} = 0.74 * 5.97 \times 10^{-8} (433.15 + 292.15)(433.15^2 + 292.15^2)$$

$$\alpha_{rad} = 8.7466 \frac{W}{m^2 K}$$

- Área:

$$D = 1.03 \text{ m}$$

$$A = \pi \frac{D^2}{4} = \pi \frac{1.03^2}{4}$$

$$A = 0.833 \text{ m}^2$$

$$P = \alpha_{rad} * A * (T_p - T_{af})$$

$$P_{cara-frontal} = 8.7466 * 0.833 * (433.15 - 292.15)$$

$$P_{cara-frontal} = 1027.3144 \text{ W}$$

3.3.3.2. Cálculo en la cara posterior

- Coeficiente de emisividad del material de la caldera piro tubular: $E = 0.74$
- Coeficiente de Stefan Boltzmann: $C_o = 5.97 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4}$
- Temperatura superficial: $T_p = 433.15 \text{ }^\circ K$
- Temperatura ambiente: $T_{af} = 292.15 \text{ }^\circ K$

$$\alpha_{rad} = E * C_o (T_p + T_{af})(T_p^2 + T_{af}^2)$$

$$\alpha_{rad} = 0.74 * 5.97 \times 10^{-8} (433.15 + 292.15)(433.15^2 + 292.15^2)$$

- Área:

$$D = 1.03 \text{ m}$$

$$A = \pi \frac{D^2}{4} = \pi \frac{1.5^2}{4}$$

$$A = 0.833 \text{ m}^2$$

$$\alpha_{rad} = E * C_o (T_p + T_{af})(T_p^2 + T_{af}^2)$$

$$\alpha_{rad} = 0.74 * 5.97 \times 10^{-8} (433.15 + 292.15)(433.15^2 + 292.15^2)$$

$$\alpha_{rad} = 8.7466 \frac{W}{m^2 K}$$

$$P = \alpha_{rad} * A * (T_p - T_{af})$$

$$P_{cara-posterior} = 8.7466 * 0.833 * (433.15 - 292.15)$$

$$P_{cara-posterior} = 1027.3144 \text{ W}$$

3.3.3.3. Cálculo en la cara lateral

- Coeficiente de emisividad del material de la caldera piro tubular: $E = 0.74$
- Coeficiente de Stefan Boltzmann: $C_o = 5.97 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4}$
- Temperatura superficial: $T_p = 298.15 \text{ }^\circ K$
- Temperatura ambiente: $T_{af} = 292.15 \text{ }^\circ K$
- Área:

$$P = 4.7123 \text{ m}$$

$$A = L * P = (2.5)(4.7123)$$

$$A = 11.78 \text{ m}^2$$

$$\alpha_{rad} = E * C_o (T_p + T_{af})(T_p^2 + T_{af}^2)$$

$$\alpha_{rad} = 0.74 * 5.97 \times 10^{-8} (298.15 + 292.15)(298.15^2 + 292.15^2)$$

$$\alpha_{rad} = 4.544 \frac{W}{m^2 K}$$

$$P = \alpha_{rad} * A * (T_p - T_{af})$$

$$P_{pared-lateral} = 4.544 * 11.78 * (298.15 - 292.15)$$

$$P_{pared-lateral} = 321.170 \text{ W}$$

$$P_{pared-lateral} = 1415.988 \text{ KJ/h}$$

Tabla 3-10: Cuadro resumen de potencia irradiada

Paredes críticas	P [W]
Cara frontal	1027.3144
Cara posterior	1027.3144
Pared lateral	321.17

Realizado por: Jimenez, R, 2023.

Obteniendo así que las paredes denominadas críticas obtienen un valor de potencia irradiada al ambiente mucho mayor que la pared lateral por lo cual colocar un aislamiento en estas es una solución factible para mermar la pérdida de energía térmica.

3.3.4. Simulación térmica de la caldera

La simulación térmica de una caldera ya construida es importante porque permite:

- Evaluar su rendimiento y eficiencia energética actual.
- Identificar y solucionar problemas técnicos existentes.
- Optimizar el funcionamiento y ajustar los parámetros de operación para mejorar la eficiencia.
- Evaluar la seguridad y prevenir situaciones peligrosas, como el sobrecalentamiento o la deformación de los componentes.
- Planificar la mantención preventiva y mejorar la durabilidad de la caldera.

En resumen, la simulación térmica es esencial para garantizar el buen funcionamiento, la seguridad y la eficiencia de una caldera ya construida, y para prolongar su vida útil.

Para la realización de una simulación de la caldera es necesario que se esquematice la caldera en un software de diseño, para lo que es necesario tomar medidas para proceder al dibujo CAD.

3.3.4.1. Toma de medidas de la caldera

Mediante el uso de un flexómetro y de un calibrador pie de rey se tomaron las medidas generales de la caldera para su esquematización CAD.



Ilustración 3-27: Toma de medida del diámetro

Realizado por: Jimenez, R, 2023.



Ilustración 3-28: Medida de altura de la chimenea

Realizado por: Jimenez, R, 2023.



Ilustración 3-29: Medida del perímetro del hogar

Realizado por: Jimenez, R, 2023.



Ilustración 3-30: Medida de espesores de las planchas

Realizado por: Jimenez, R, 2023.

3.3.4.2. *Modelación en SolidWorks*

El modelado de una caldera piro tubular en SolidWorks es un proceso que requiere un conocimiento detallado de las características y especificaciones técnicas de la caldera. Para crear un modelo preciso, primero se deben definir las dimensiones y la geometría de la caldera, incluyendo la forma y tamaño de los tubos, la estructura del cuerpo de la caldera y la posición de los componentes internos.

Una vez definidas las características principales de la caldera, es importante tener en cuenta los materiales que han sido utilizados. Esto incluye la selección del tipo de acero o aleaciones metálicas, que deben cumplir con los estándares de calidad y seguridad requeridos para este tipo de equipo. Además, el modelado debe tener en cuenta las normativas y regulaciones de seguridad relacionadas con la construcción de calderas, siguiendo el modelo ya fabricado para un proceso de ingeniería a la inversa. A continuación, se muestran ilustraciones del proceso de esquematización de la caldera:

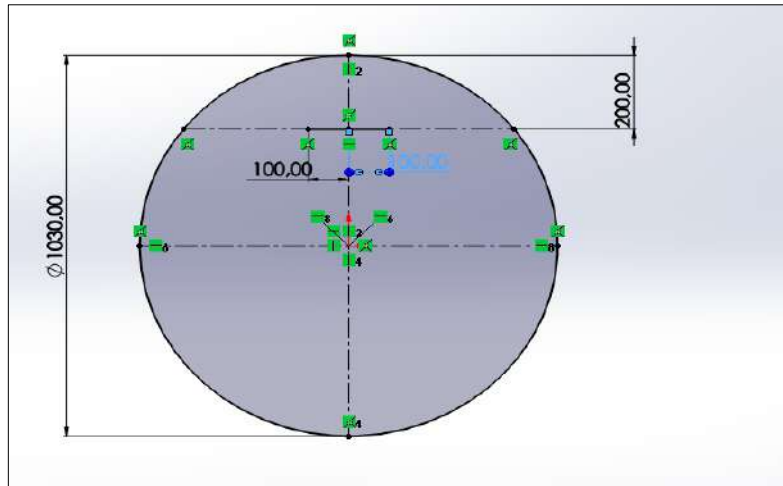


Ilustración 3-31: Dibujo de caldera No. 1

Realizado por: Jimenez, R, 2023.

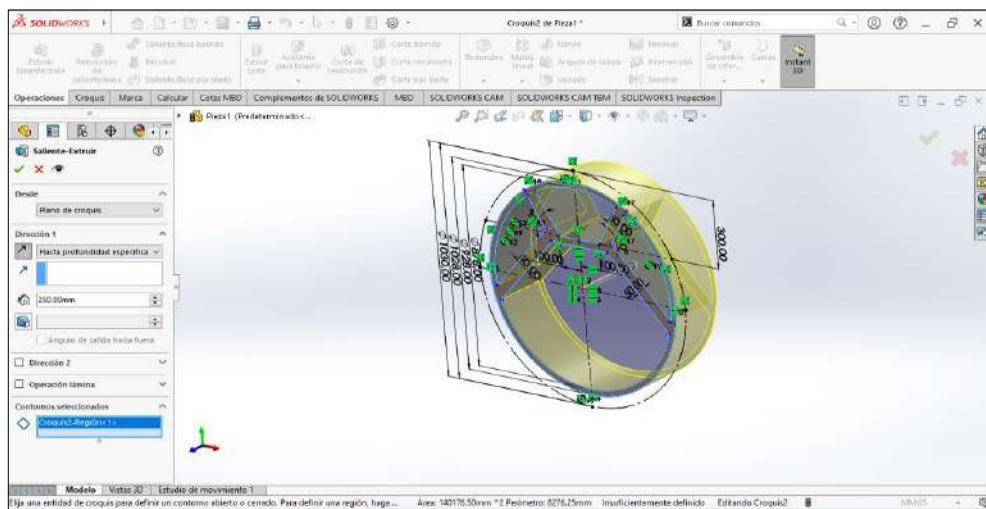


Ilustración 3-32: Dibujo de caldera No. 2

Realizado por: Jimenez, R, 2023.

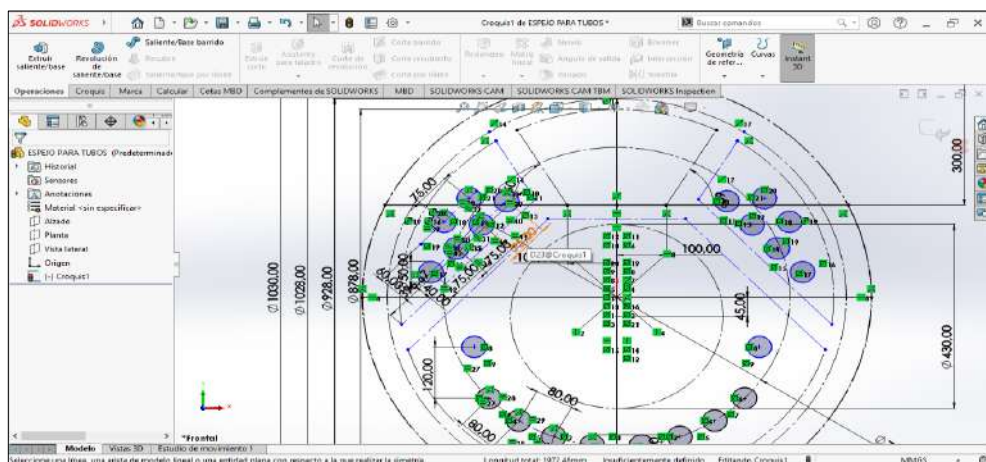


Ilustración 3-33: Dibujo de caldera No. 3

Realizado por: Jimenez, R, 2023

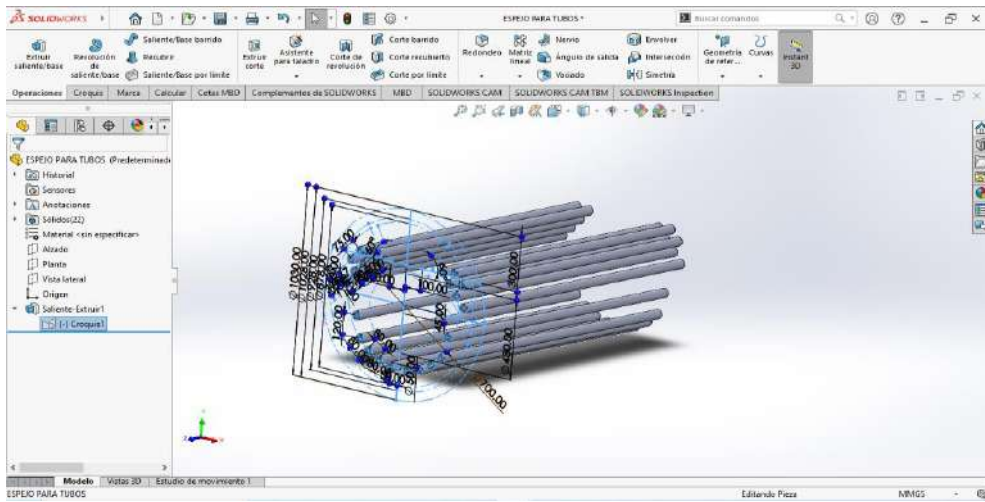


Ilustración 3-34: Dibujo de caldera No. 4

Realizado por: Jimenez, R, 2023.

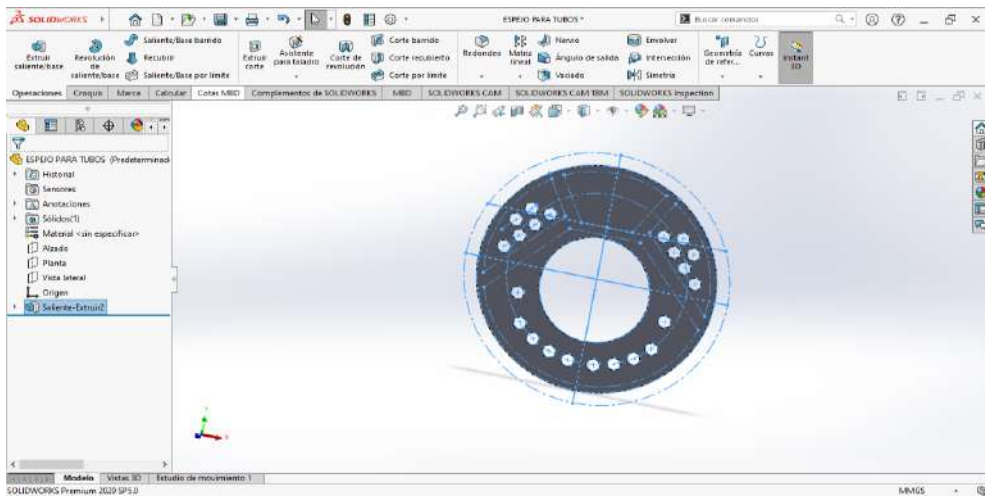


Ilustración 3-35: Dibujo de caldera No. 5

Realizado por: Jimenez, R, 2023.

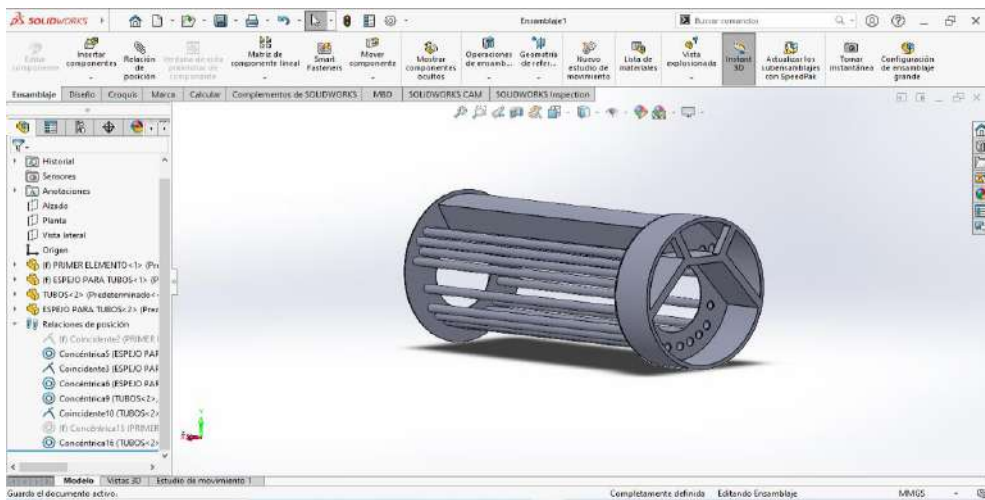


Ilustración 3-36: Dibujo de caldera No. 6

Realizado por: Jimenez, R, 2023.

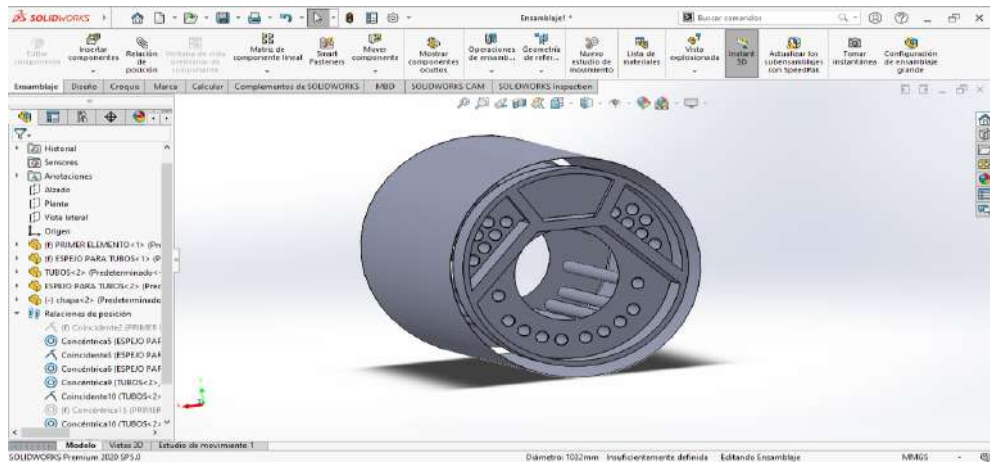


Ilustración 3-37: Dibujo de caldera No. 7

Realizado por: Jimenez, R, 2023

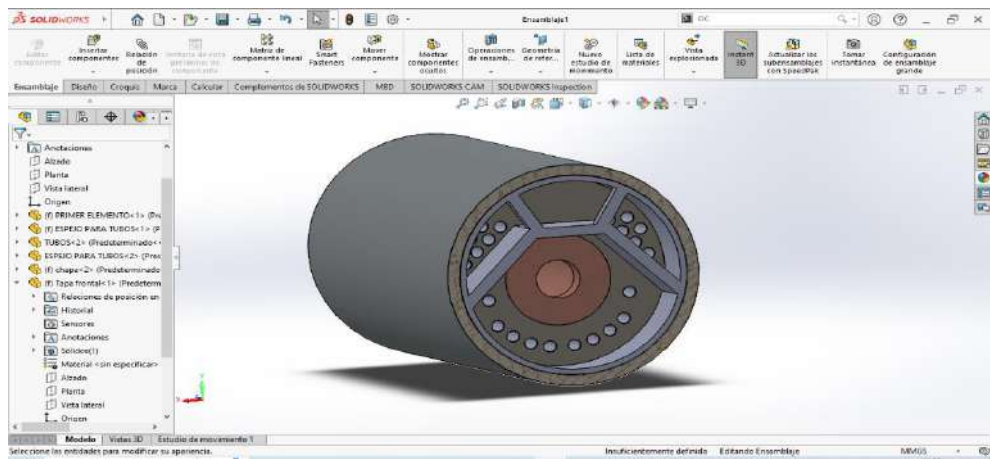


Ilustración 3-38: Dibujo de caldera No. 8

Realizado por: Jimenez, R, 2023.

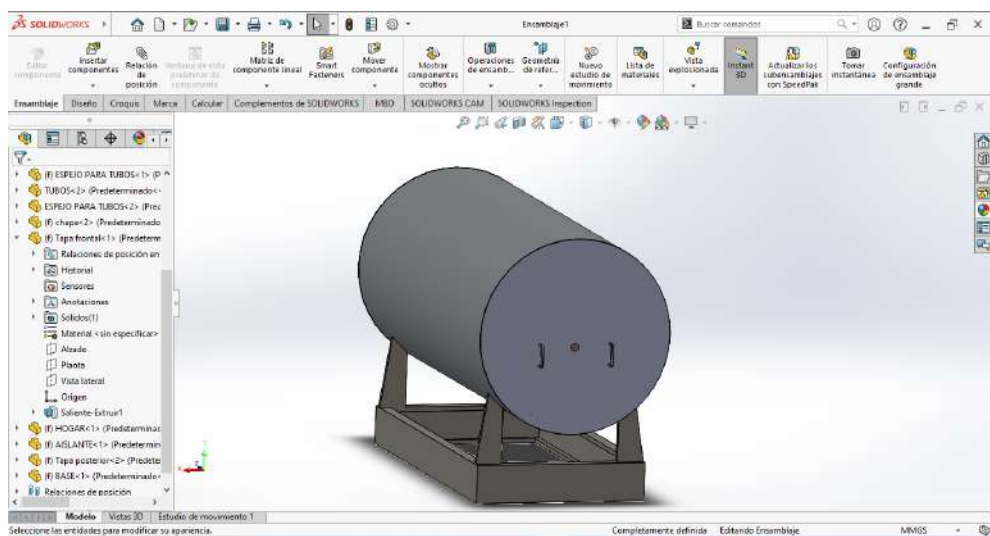


Ilustración 3-39: Dibujo de caldera No. 9

Realizado por: Jimenez, R, 2023.

3.3.4.3. Simulación en Flow Simulation sin aislamiento

Se toma como punto de partida un análisis en 2D del flujo de calor emitido por el hogar que afecta a las paredes denominadas frontal, lateral y posterior.

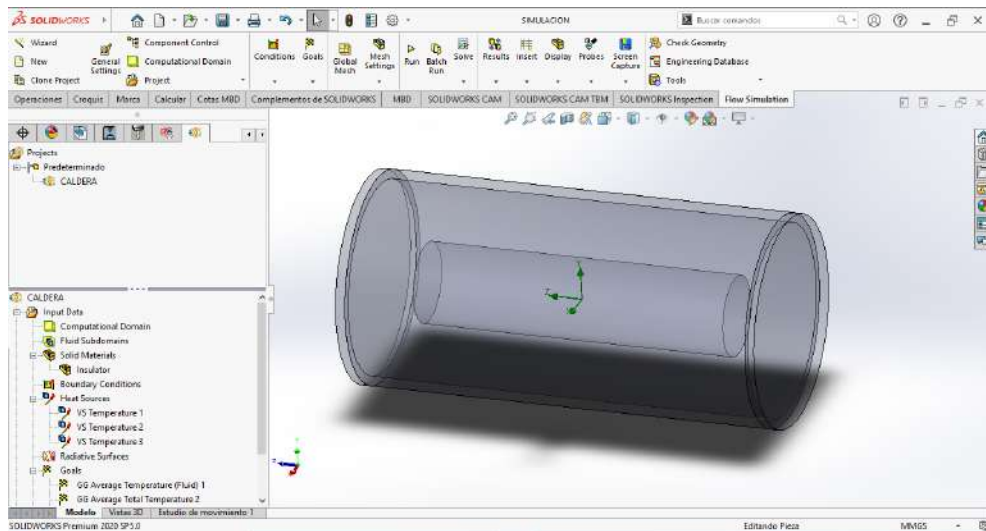


Ilustración 3-40: Geometría a simular

Realizado por: Jimenez, R, 2023.

En Solidworks Flow Simulation se dibuja la geometría simplificada de la caldera y del hogar y luego pasar esta a un análisis en 2D para observar el flujo de calor que se emite hacia las paredes críticas sin emplear el material aislante en la cara frontal y posterior de la caldera.

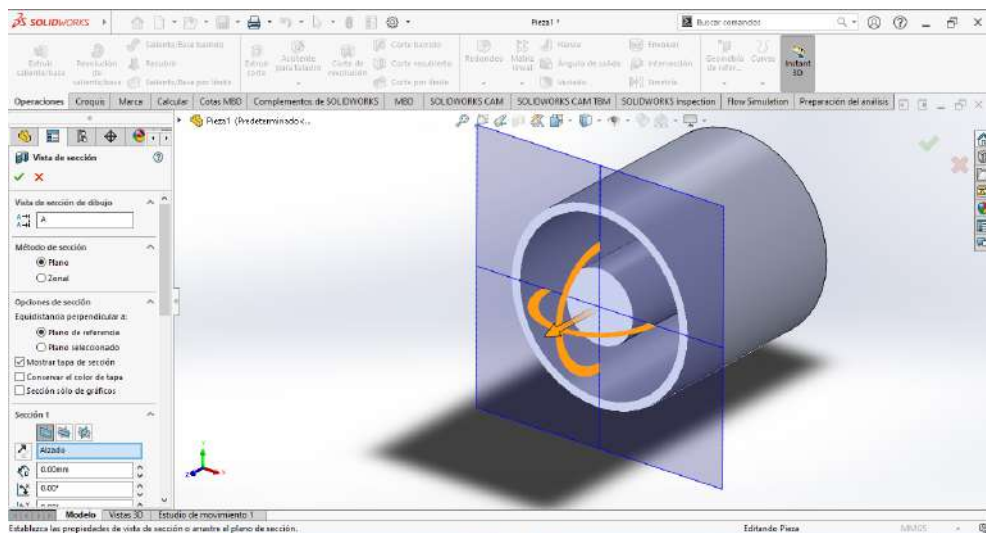


Ilustración 3-41: Vista de sección de la geometría

Realizado por: Jimenez, R, 2023.

El hogar donde se produce la combustión y la generación de calor se lo toma como una fuente de calor en volumen donde se le asigna la temperatura máxima alcanzada medida con la cámara termográfica.

A las paredes frontal y posterior se le asigna el material acero, y la pared lateral un aislante con densidad 60 kg/m^3 .

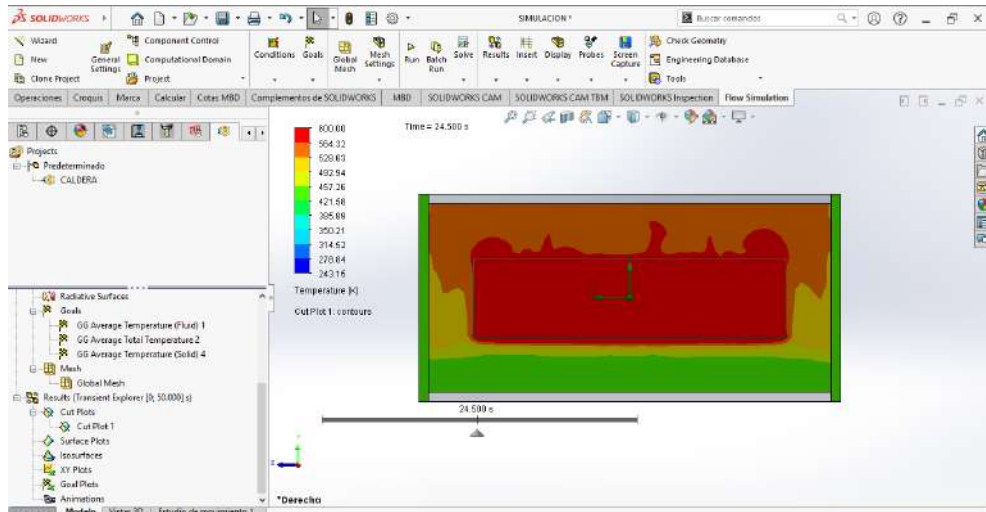


Ilustración 3-42: Simulación del flujo de calor

Realizado por: Jimenez, R, 2023.

La distribución del aire caliente al ser menos denso empieza desde la parte superior y por gravedad va descendiendo hasta cubrir toda la geometría de la caldera donde las paredes frontal y posterior alcanzan temperaturas de 160°C aproximadamente.

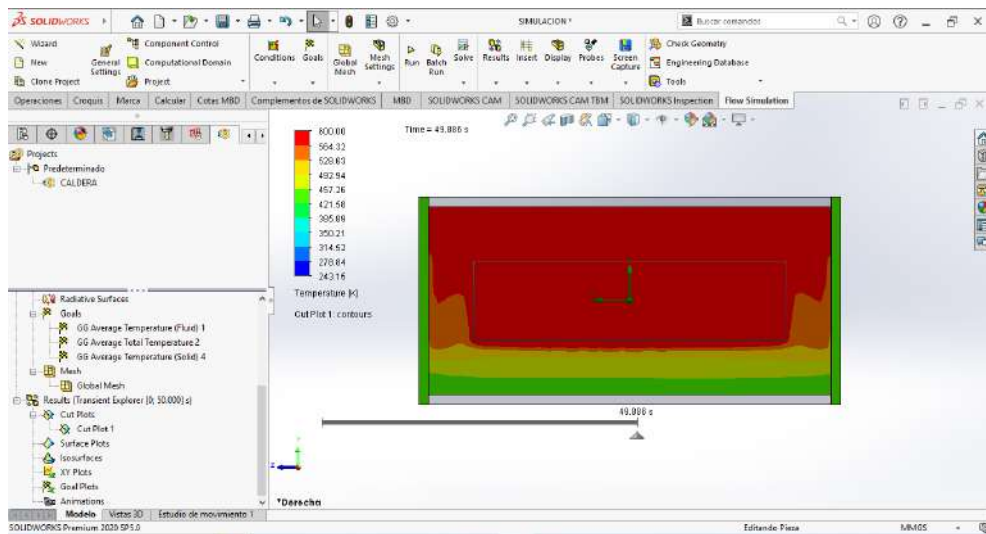


Ilustración 3-43: Simulación del flujo de calor finalizada

Realizado por: Jimenez, R, 2023

3.3.4.4. Simulación en Flow Simulation con aislamiento

Se realiza el mismo procedimiento anterior con la modificación de que las paredes frontal y posterior se les asigna un material aislante de fibra de vidrio con una densidad de 60 kg/m^3 .

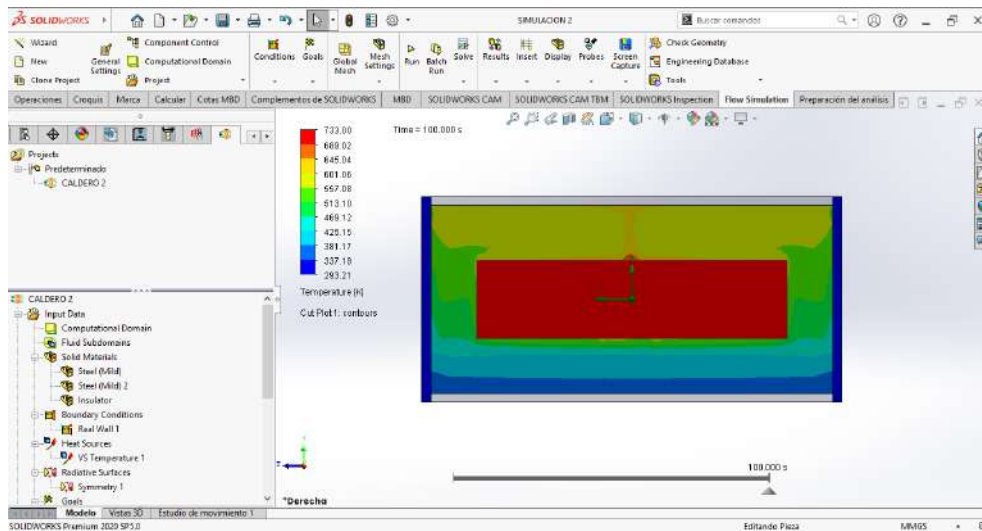


Ilustración 3-44: Simulación del flujo de calor usando aislamiento

Realizado por: Jimenez, R, 2023.

Las paredes frontal y posterior usando aislamiento de lana de vidrio mineral, material que se encuentra en la base de datos de Solidworks Flow Simulation, similar a lana de roca mineral que se pretende utilizar. Empleando las mismas condiciones de simulación se llega a alcanzar temperaturas de aproximadamente 23°C .

Demostrando así que es viable la implementación de un aislamiento con lana mineral de roca para reducir la temperatura superficial en las paredes críticas y mermar la potencia irradiada al ambiente.

3.3.5. Aislamiento de la caldera

El aislamiento térmico en calderas piro tubulares es un aspecto crucial en el mantenimiento y mejora de la eficiencia de estas. Este aislamiento ayuda a reducir las pérdidas térmicas, evitando que el calor se disperse hacia el ambiente externo y manteniendo una temperatura óptima en el interior de la caldera.

Además, el aislamiento térmico en calderas piro tubulares también ayuda a reducir los costos energéticos y aumentar la vida útil de la caldera. Esto se logra al disminuir la carga de trabajo de la caldera, lo que permite un uso más eficiente de la energía y un mejor desempeño a largo plazo.

En resumen, el aislamiento térmico es un aspecto fundamental para garantizar la eficiencia y el rendimiento de estas. La inversión en un buen aislamiento térmico puede ayudar a reducir los costos energéticos, aumentar la vida útil de la caldera y mejorar la eficiencia en el uso de la energía.

En base al análisis termográfico realizado se puede constatar que las partes críticas de la caldera por donde se pierde calor por radiación son las tapas frontal y posterior. Por lo que el aislamiento debe ser realizado en estos espacios críticos.

3.3.5.1. *Cálculo del área útil*



Ilustración 3-45: Área útil frontal

Realizado por: Jimenez, R, 2023.



Ilustración 3-46: Área útil posterior

Realizado por: Jimenez, R, 2023.

3.3.5.2. *Área útil frontal*

Es el área de la circunferencia total de la caldera menos el área del hogar del quemador por lo que se obtuvo el perímetro de la circunferencia de este último para obtener su área.

$$\text{Perímetro}_{\text{hogar}} = 132 \text{ cm} = 1.32 \text{ m}$$

$$P = 2\pi r$$

$$r = \frac{P}{2\pi}$$

$$r = \frac{1.32 \text{ m}}{2\pi}$$

$$r = 0.210 \text{ m}$$

$$D_{\text{hogar}} = 2r = 2(0.210) = 0.420 \text{ m}$$

$$A_{\text{hogar}} = \frac{\pi}{4} * D_{\text{hogar}}^2 = \frac{\pi}{4} * 0.420^2$$

$$A_{\text{hogar}} = 0.139 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{cara frontal}} = \frac{\pi}{4} * D_{\text{cara frontal}}^2 = \frac{\pi}{4} * 1.03^2$$

$$A_{\text{cara frontal}} = 0.833 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{útil frontal}} = A_{\text{cara frontal}} - A_{\text{hogar}}$$

$$A_{\text{útil frontal}} = 0.833 - 0.139 = 0.694 \text{ m}^2$$

3.3.5.3. Área útil posterior

Es el área total de la circunferencia posterior menos el área del orificio de inspección del hogar y menos el área de las agarraderas de la tapa posterior.

$$A_{\text{cara frontal}} = \frac{\pi}{4} * D_{\text{cara frontal}}^2 = \frac{\pi}{4} * 1.03^2$$

$$A_{\text{cara frontal}} = 0.833 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{orificio de inspección}} = \frac{\pi}{4} * D_{\text{orificio de inspección}}^2 = \frac{\pi}{4} * 0.05^2$$

$$A_{\text{orificio de inspección}} = 0.00196 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{agarraderas}} = 2(\text{base}_{\text{agarradera}} * \text{altura}_{\text{agarradera}})$$

$$A_{\text{agarraderas}} = 2(0.02 \text{ m} * 0.16 \text{ m})$$

$$A_{\text{agarraderas}} = 0.0064 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{útil posterior}} = A_{\text{cara posterior}} - A_{\text{orificio de inspección}} - A_{\text{agarraderas}}$$

$$A_{\text{útil frontal}} = 0.833 - 0.00196 - 0.0064 = 0.825 \text{ m}^2$$

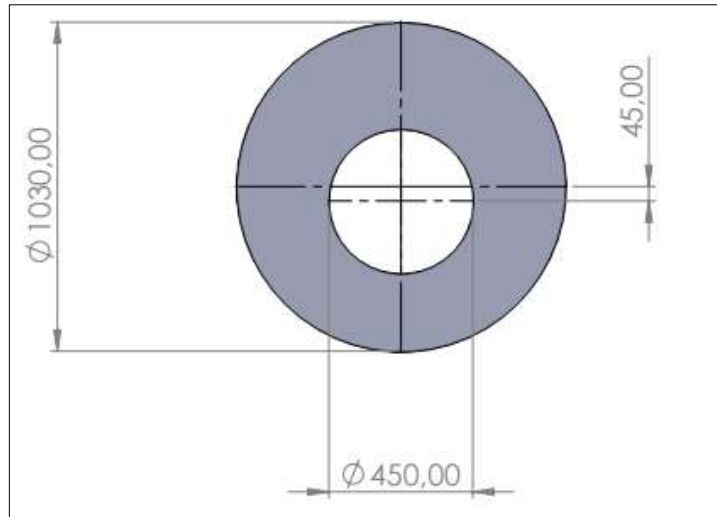


Ilustración 3-47: Esquema del área útil frontal

Realizado por: Jimenez, R, 2023.

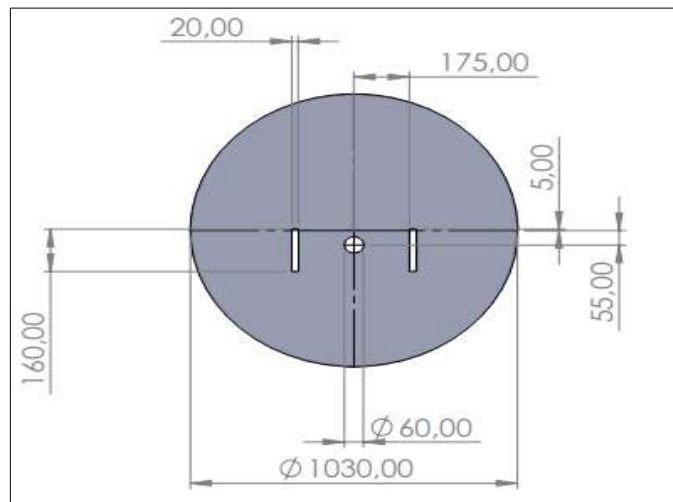


Ilustración 3-48: Esquema del área útil posterior

Realizado por: Jimenez, R, 2023.

En el aislamiento de la caldera teniendo en cuenta que los puntos críticos por pérdida de calor de esta son las caras posterior y frontal por lo cual se procederá a instalar lana de roca (rockwool), esto debido a que es un producto con una conductividad térmica adecuada para aislar la transferencia de calor por radiación y convección al exterior, la lana mineral de roca posee además propiedades térmicas idóneas para esta aplicación, pues gracias a su elevado punto de fusión cercano a los 1100°C asegura una adecuada estabilidad mecánica.



Ilustración 3-49: Lana de roca

Fuente: Lian Acústica

3.3.5.4. *Características de la lana de roca*

- Densidad: 32 kg/m³
- Espesor: 5 cm
- Temperatura máxima: 650 °C
- No inflamable
- Liviano
- No crea hongos ni bacterias

3.3.5.5. *Implementación del aislamiento*

La adaptación a la caldera se la hace mediante planchas de tol IPAC plancha galvanizada ASTM A653 CSB cortadas a las medidas del área útil y sujetadas mediante mordazas para un desarmado fácil que proporcione acceso al interior de la caldera para cualquier mantenimiento respectivo.



Ilustración 3-50: Corte de las planchas

Realizado por: Jimenez, R, 2023.



Ilustración 3-51: Perforación de agujeros

Realizado por: Jimenez, R, 2023.

La lana de roca se ubicó en la mitad entre la plancha galvanizada y la tapa del caldero, respetando los agujeros de inspección, agarraderas y el diámetro del hogar.



Ilustración 3-52: Corte y adaptación del aislante
Realizado por: Jimenez, R, 2023.



Ilustración 3-53: Sujeción de la placa frontal
Realizado por: Jimenez, R, 2023.



Ilustración 3-54: Aislamiento pared frontal

Realizado por: Jimenez, R, 2023.



Ilustración 3-55: Aislamiento pared posterior

Realizado por: Jimenez, R, 2023.

3.3.5.6. *Sujeción del aislamiento*

La caldera no puede ser intervenida debido a que esta necesita un mantenimiento periódico, por lo cual las planchas galvanizadas con aislamiento deben ser removibles para la facilidad del operador. Por esto es necesario implementar unas mordazas de sujeción para que por presión se adapte la plancha galvanizada a las tapas frontal y posterior de la caldera.

Al no encontrarse en el mercado mordazas adecuadas para esta aplicación, se procede a realizarlas artesanalmente, para una mejor adaptación al trabajo propuesto.



Ilustración 3-56: Mordazas de sujeción

Realizado por: Jimenez, R, 2023.

3.3.6. *Análisis de los gases de combustión de la caldera*

Dentro del análisis energético de la caldera se contempla el análisis de los gases de combustión al tener una estrecha relación con la eficiencia de esta.

El análisis de los gases de combustión en una caldera piro tubular es un aspecto clave para garantizar la eficiencia y el correcto funcionamiento de esta. Este análisis permite identificar los componentes presentes en los gases de escape y determinar si están en las concentraciones adecuadas para una combustión óptima.

El análisis de los gases de combustión también es útil para detectar posibles problemas en la caldera, como la presencia de monóxido de carbono o una mala proporción de aire y combustible. Estos problemas pueden afectar la eficiencia de la caldera y ser perjudiciales para el medio ambiente y la salud humana.

Por lo tanto, se puede concluir que el análisis de los gases de combustión es una herramienta esencial para garantizar la seguridad y eficiencia de una caldera piro tubular. Este análisis permite detectar posibles problemas en la caldera y asegurar que se están utilizando los combustibles de

manera eficiente y segura. Por lo tanto, es importante realizar regularmente el análisis de los gases de combustión en una caldera piro tubular.

Para realizar el análisis de los gases de combustión se usa un equipo marca TESTO 330-1



Ilustración 3-57: Testo 330-1

Fuente: Testo

Realizado por: Jimenez, R, 2023.

Como primer paso se debe ubicar la chimenea de salida de los gases de combustión y un lugar adecuado donde el sensor de tiro del equipo TESTO pueda estar en contacto directo con los gases. Comúnmente la chimenea cuenta con un orificio de toma de muestras, pero en este caso se tiene que tomar las mediciones directo de la salida debido a la falta de una perforación para el muestreo.



Ilustración 3-58: Ubicación de la chimenea

Realizado por: Jimenez, R, 2023.

Para la medición se debe ubicar el tiro en la salida de los gases de la caldera y esperar por un lapso de aproximadamente tres minutos y luego detener el análisis. Es importante recalcar que el equipo debe estar configurado para el sitio de análisis y un factor importante es el tipo de combustible, GASOLEO TIPO C, debido a las impurezas que presenta el diésel para calderas.



Ilustración 3-59: Configuración del equipo TESTO

Realizado por: Jimenez, R, 2023.




Ilustración 3-60: Toma de la medición de gases

Realizado por: Jimenez, R, 2023.

Una vez realizado el análisis se procede a imprimir los resultados usando el software Testo Easyheat 2.11 SP1.

Flue gas measurement

Owner DIRECCION	Location  S I T U A C I O N
Measurement Time: 11/10/2022 Instrument: testo 330-1 Serial number: 03136628 Fuel: Gasoleo C Oil derivate:	Smoke number 1 Smoke number 2 Smoke number 3 Mean smoke number Smoke pump number HCT

11/10/2022 10:55:48	Fecha/hora
174.3	°C TH
474	ppm COcor
7.9	%O2
12	ppm CO
1.60	lambda
14.91	% CO2
6.3	% qA
6.3	% qAbr.
25.6	°C TA
174.3	°C TH
-0.15	mbar Tiro
93.7	% REN
93.7	% RENbr.
-	ppm COamb
-	ppm CO2amb
52.5	°C td

Ilustración 3-61: Resultados gases de combustión

Realizado por: Jimenez, R, 2023.

En los valores que se obtienen al detener el análisis y procesar los datos mediante el software se pueden notar la siguiente nomenclatura:

Tabla 3-11: Nomenclatura de las variables de los gases de combustión

Variables	Nomenclatura
°C TH	Temperatura de los gases de combustión
ppm COcor	CO corregido en partes por millón
% O2	O2 en porcentaje
ppm CO	CO diluido en partes por millón
lambda	Índice de exceso de aire
% CO2	CO2 en porcentaje
% qA	Pérdidas de rendimiento en %
% qAbr.	Pérdidas de rendimiento en chimenea en %
°C TA	Temperatura ambiente en °C
°C TH	Temperatura de los gases de combustión

mbar Tiro	Tiro de la chimenea en mbar
% REN	Rendimiento
% RENbr.	Rendimiento
ppm COamb	CO en el ambiente en ppm
ppm CO2amb	CO2 en el ambiente en ppm
°C td	Temperatura de punto de rocío del gas

Realizado por: Jimenez, R, 2023.

El análisis de los resultados obtenidos en este ensayo es presentado en el capítulo IV de este proyecto técnico.

A continuación, se presenta una reseña de cada variable:

3.3.6.1. *Temperatura de los gases de combustión*

La temperatura que presentan los humos al salir de la caldera puede indicar el tipo de caldera con el que se está trabajando.

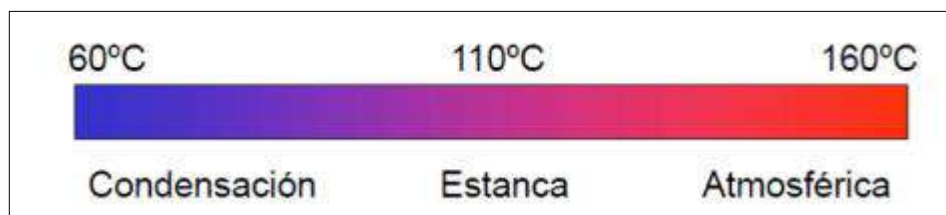


Ilustración 3-62: Clasificación de la caldera por su temperatura

Fuente: Testo.

3.3.6.2. *CO corregido*

El monóxido de carbono no diluido es provocado a partir de una combustión incompleta del diésel por lo que el gas que se genera en concentraciones muy elevadas de aproximadamente 700 ppm en un cuarto cerrado con poca ventilación podría causar mareos de las personas quienes lo inhalen e incluso la muerte si se sobrepasa las 3 horas de exposición.

3.3.6.3. *O₂ en porcentaje*

El oxígeno presente en la cámara de combustión se suele combinar con el hidrógeno que contiene el combustible formando agua de esta manera, agua que puede convertirse en vapor o condensados esto debido a la temperatura de los gases de combustión.

3.3.6.4. *CO diluido en ppm*

El monóxido de carbono en el ambiente debe medirse con el equipo a la altura de la nariz, en un instante en que la caldera se encuentre trabajando a toda su capacidad, aproximadamente durante 5 minutos se debe realizar esta medición.

El monóxido en exceso dentro del ambiente circundante puede significar que los gases de la combustión del diésel no están siendo extraídos de manera correcta hacia el exterior, e incluso estos mismos podrían estar retrocediendo, lo que puede provocar problemas en la salud de quienes se encuentren inhalando en este ambiente.

3.3.6.5. *Índice de exceso de aire (λ)*

El índice de exceso es una relación entre el aire que se usa para la combustión y el aire teóricamente necesario para que esta ocurra.

Se conoce que para que exista una buena combustión debe existir un exceso de aire, pero si este es demasiado elevado puede influir negativamente en el rendimiento de la caldera.

3.3.6.6. *CO₂ en porcentaje*

El dióxido de carbono presente se encuentra en una relación inversamente proporcional a la cantidad de oxígeno presente, recordando que la caldera para realizar una combustión de manera adecuada necesita un porcentaje adecuado de O₂. Pero si existe una alta presencia de oxígeno el índice de dióxido de carbono sería muy pequeño, indicando así una combustión no adecuada.

3.3.6.7. *Pérdidas de rendimiento en porcentaje*

Este tipo de pérdida se da en los gases de combustión que son expulsados por la chimenea y matemáticamente se puede expresar como la resta entre el contenido calorífico de los gases de combustión y el contenido calorífico del aire presente en la combustión.

Con un valor mayor de contenido calorífico de los gases de combustión menor es el rendimiento de la caldera, obteniendo así una relación inversamente proporcional entre estas dos variables.

El porcentaje obtenido representa una pérdida no solo en el rendimiento si no también en el consumo de combustible ya que al año ese porcentaje se usa para dar poder calorífico a los gases de combustión.

3.3.6.8. *Temperatura ambiente en grados centígrados (°C)*

Es la temperatura del ambiente circundante donde se encuentra ubicada la caldera

3.3.6.9. *Tiro de la chimenea*

Es el diferencial de presión existente para extraer y eliminar los gases residuales producto de la combustión.

Los gases de combustión calientes al ser menos densos que el aire frío del exterior crean un vacío parcial en el tubo de la chimenea superando cualquier resistencia de la caldera.

3.3.6.10. *Rendimiento*

Es el dato más importante desde el punto de vista de rendimiento energético. Es la ratio entre la energía útil suministrada y la energía absorbida.

Cuanto mayor rendimiento tenga el equipo su eficiencia será superior, este valor siempre será menor que la unidad y se expresa en porcentaje.

Gracias a los datos obtenidos en el análisis de los gases de combustión se puede hacer una comparativa con valores estándar para determinar soluciones adecuadas y aumentar la eficiencia de la caldera en caso de ser necesario.

3.3.7. *Análisis técnico del agua de alimentación de la caldera*

Es importante asegurarse de que el agua de alimentación sea de calidad adecuada para evitar problemas como la acumulación de minerales y la corrosión en el interior de la caldera. Además, se recomienda realizar regularmente mantenimiento y limpieza de la caldera para garantizar su correcto funcionamiento y prolongar su vida útil.

Por lo cual se puede mencionar que el agua de alimentación es un aspecto crucial en una caldera utilizada como calentador de agua, ya que afecta la eficiencia y el correcto funcionamiento de esta. Por lo tanto, es importante asegurarse de que el agua de alimentación sea de calidad adecuada y realizar mantenimiento regular en la caldera.

Siguiendo una metodología experimental en la cual se observó, manipuló y se registró la variable que en este caso es la calidad del agua se logró determinar los parámetros necesarios para establecer un análisis fisicoquímico del agua de alimentación del Cantón Guano para su uso en calderas.

3.3.7.1. Caracterización del agua

Tabla 3-12: Caracterización del agua utilizada

Temperatura	19 °C
Localización	Cantón Guano
Coordenadas	-1.6181117443907194, -78.60978216261321
Tipo de agua	Agua entubada

Realizado por: Jimenez, R, 2023.

3.3.7.2. Toma de muestras

Durante un mes calendario se recolectó muestras de agua de 1 l de la casa de máquinas de la piscina cubierta del Complejo Los Elenes las cuales fueron llevadas hasta el laboratorio de Calidad del Agua de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo para su análisis correspondiente.

3.3.7.3. Análisis de la calidad del agua

Las cinco muestras fueron analizadas no simultáneamente durante el mes de noviembre del 2022 para obtener una comparativa en sus datos y lograr una media en sus resultados para minimizar el error en estos.

3.3.7.4. Análisis de solidos disueltos (TDS)



Ilustración 3-63: Análisis TDS

Realizado por: Jimenez, R, 2023.

Mediante el uso del instrumento de medición de características del agua marca OAKTON PC2700 se logró determinar la cantidad de solidos disueltos en una muestra de agua de 15 ml, midiéndose estos en ppm (partículas por millón).



Ilustración 3-64: Uso del equipo OAKTON PC2700

Realizado por: Jimenez, R, 2023.

3.3.7.5. *Análisis de conductividad*



Ilustración 3-65: Análisis de conductividad

Realizado por: Jimenez, R, 2023.

Mediante el uso del instrumento de medición de características del agua marca OAKTON PC2700 se logró determinar la conductividad que presenta la muestra de agua de 15 ml, midiéndose esta en μS .

3.3.7.6. *Análisis de Ph*



Ilustración 3-66: Análisis de Ph

Realizado por: Jimenez, R, 2023.

Mediante el uso del instrumento de medición de pH marca METROHM 744 se logró determinar el pH que presenta la muestra de agua de 15 ml, midiéndose esta en pH.

3.3.7.7. *Caracterización por titulación*

Siguiendo los parámetros establecidos para realizar pruebas de caracterización mediante titulación se procedió a realizar análisis de dureza, calcio, cloruros y alcalinidad del agua de alimentación de la caldera de la casa de máquinas del Complejo Los Elenes.



Ilustración 3-67: Toma de 25 ml de muestra

Realizado por: Jimenez, R, 2023.



Ilustración 3-68: Titulación de las muestras

Realizado por: Jimenez, R, 2023.



Ilustración 69-3: Resultados de la titulación de las muestras

Realizado por: Jimenez, R, 2023.

Obteniéndose así los volúmenes desplazados en cada análisis lo cual representa los valores que caracterizan a las variables manipuladas en este apartado.

3.3.7.8. *Análisis por espectrofotometría*

Mediante el uso del equipo espectrofotómetro marca HACH DR 2800 se logró realizar pruebas de sulfatos, fosfatos, hierro y bicarbonatos presentes en el agua de alimentación.



Ilustración 3-69: Análisis de sulfatos

Realizado por: Jimenez, R, 2023.



Ilustración 3-70: Análisis de hierro

Realizado por: Jimenez, R, 2023.



Ilustración 3-71: Análisis de fosfatos

Realizado por: Jimenez, R, 2023.



Ilustración 3-72: Análisis de bicarbonatos

Realizado por: Jimenez, R, 2023

Cumpliendo así con los análisis más importantes para una adecuada caracterización del agua de alimentación y así poder proponer un tratamiento adecuado del agua para el buen mantenimiento de la caldera de la casa de máquinas de la piscina cubierta del Complejo.

3.3.7.9. Datos obtenidos en la caracterización del agua

Tabla 3-13: Datos de las variables de la calidad del agua

Determinaciones	Unidades	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5	Media aritmética
pH	u	7,25	7,52	7,47	7,44	7,77	7,49
Conductividad	µS	701,5	700,5	702	702,5	707	702,7
Cloruros	mg/L	21,1	20,5	22,1	19,7	27,6	22,2
Dureza	mg/L	365	360	361	361	373	364
Calcio	mg/L	36,5	36,5	37,2	36,7	37,1	36,8
Magnesio	mg/L	65	65,7	65,3	66,7	67,8	66,1
Alcalinidad expresada como CaCO ₃	mg/L	338	335	338	340	349	340
Bicarbonatos	mg/L	345,8	345,7	346,2	345,7	350,6	346,8
Sulfatos	mg/L	48	51	52	47	52	50
Fosfatos	mg/L	1,01	0,98	1,03	1,01	1,22	1,05
Hierro	mg/L	0,03	0,02	0,02	0,04	0,04	0,03
Sólidos disueltos	ppm	433,8	441,6	432,5	434,7	435,9	435,7

Realizado por: Jimenez, R, 2023.

Según la asociación chilena de seguridad los valores permanecen dentro de los límites establecidos para un correcto funcionamiento de la caldera, a excepción de la dureza la cual no debe exceder los 35 ppm y en este caso se obtuvo un valor de 364 ppm por lo cual lo más recomendable es seleccionar e instalar un ablandador de agua.

3.4. Automatización del encendido del quemador

En base al contexto operacional se menciona que el encendido del quemador se lo hace mediante un interruptor cola de rata de forma manual por lo que el operador del cuarto de máquinas enciende y apaga el proceso de calentamiento del agua según su conveniencia. Pero no se rigen ni se tienen horas adecuadas de trabajo para una eficiencia óptima de este proceso.

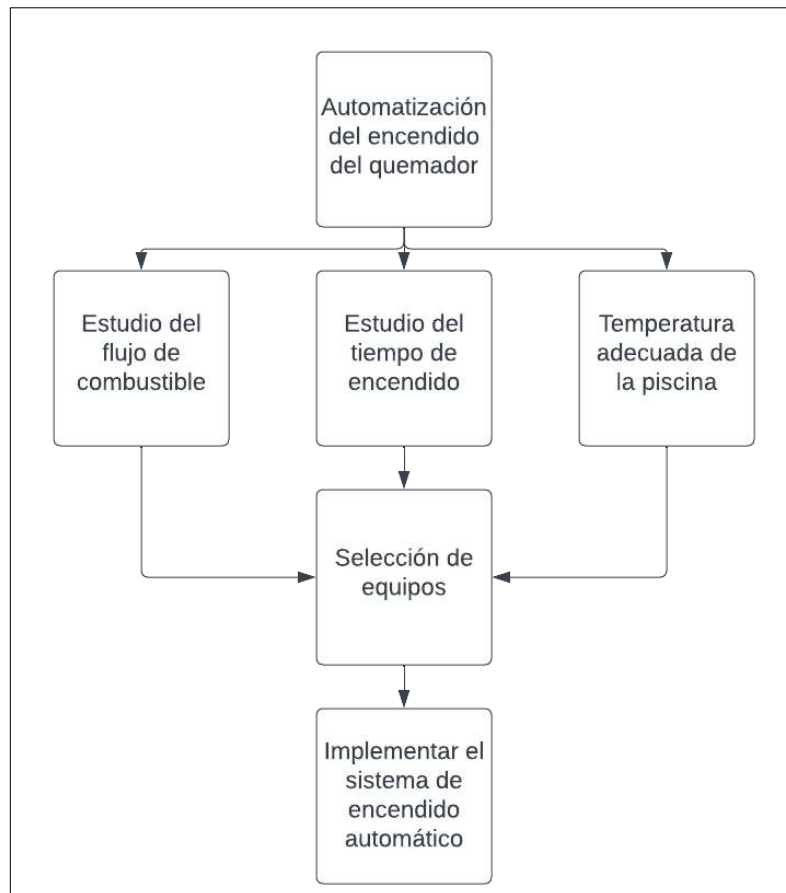


Ilustración 3-73: Diagrama del encendido del quemador

Realizado por: Jimenez, R, 2023.

La automatización del encendido del quemador de la caldera se refiere al uso de un sistema automático para controlar el proceso de encendido de la caldera y asegurar un funcionamiento eficiente y seguro. Este sistema puede incluir sensores, dispositivos de control y un sistema de regulación que supervisa y controla la temperatura, la presión y el flujo de agua y combustible. La automatización del encendido de una caldera puede mejorar la eficiencia energética y la seguridad del sistema, ya que permite un control preciso de la temperatura y la presión, y puede detener el proceso de encendido en caso de un problema o emergencia. Además, la automatización del encendido puede reducir los costos de energía y el tiempo de inactividad de la caldera, y mejorar la eficiencia en general del sistema.

La automatización del encendido es una solución tecnológica que permite un control preciso y seguro del proceso de encendido, y puede mejorar la eficiencia y la seguridad del sistema.

3.4.1. Estudio del flujo de combustible

El cuarto de máquinas de la piscina cubierta cuenta con un tanque de almacenamiento de 1000 galones donde se almacena el combustible tipo diésel.



Ilustración 3-74: Tanque de almacenamiento

Realizado por: Jimenez, R, 2023.

El mismo que cuenta con un medidor de nivel de tipo artesanal en el cual se puede constatar si el tanque está lleno o vacío y mediante el cual se hace el análisis de consumo de combustible cuando la caldera está en su funcionamiento.



Ilustración 3-75: Medidor de nivel

Realizado por: Jimenez, R, 2023.

Se toma la medida del nivel de combustible y se observa cuánto disminuye en una hora de trabajo.

Dando como resultado un consumo de aproximadamente 55 litros/hora.

A continuación, se presenta el cálculo del flujo másico del combustible:

Tipo de combustible: Diésel

$$\text{densidad} = \rho = 837 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

$$\rho = 0.837 \frac{\text{Kg}}{\text{lt}}$$

$$\text{consumo promedio: } cp = 55 \frac{\text{lt}}{\text{h}}$$

$$\dot{m} = cp * \rho$$

$$\dot{m} = (55)(0.837)$$

$$\dot{m} = 46.035 \frac{\text{Kg}}{\text{h}} * \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}}$$

$$\dot{m} = B = 0.0127875 \frac{\text{Kg}}{\text{s}}$$

Es decir que la caldera consume 0.0127 Kg/s de diésel durante su horario de trabajo.

3.4.2. *Tiempos de encendido y apagado*

La caldera cuenta con un presostato cola de cerdo por el cual se rigen sus tiempos de encendido y apagado durante su horario de trabajo ya que al alcanzar una presión máxima seteada esta se apaga para evitar daños y presuntas explosiones dentro del cuarto de máquinas.

Sin embargo, no se puede llevar a cabo un registro del consumo de combustible y de las repeticiones de su encendido y apagado debido a que esta no trabaja las mismas horas todos los días pues su encendido manual lo impide.

Por lo cual el automatizado del encendido del quemador proyectando las horas necesarias para que el proceso de calentamiento se dé de una manera adecuada es primordial.

3.4.2.1. *Tiempo adecuado de encendido del quemador*

La piscina cubierta debe estar en temperatura adecuada para los usuarios los viernes, sábados y domingos por lo que la caldera debe empezar a trabajar los jueves en la noche.

Mediante el uso de termómetros flotadores para piscinas ubicados en cada extremo de la piscina se evidencia que la temperatura del agua al inicio del proceso es de 18°C.



Ilustración 3-76: Temperatura al inicio del proceso

Realizado por: Jimenez, R, 2023.

Según el RITE (Reglamento de instalaciones térmicas) la temperatura del agua de la piscina para recreación y confort de los usuarios debe estar en aproximadamente 28°C.

Luego de dos horas de iniciado el proceso de calentamiento del agua, los termómetros flotadores marcan la temperatura de 20°C aproximadamente.



Ilustración 3-77: Temperatura después de dos horas

Realizado por: Jimenez, R, 2023.

Repitiéndose el proceso por 3 días consecutivos corroborando que efectivamente la temperatura del agua aumentaba 1,2 grados por cada hora por lo cual se puede establecer que las horas de trabajo necesarias para aproximarse a la temperatura adecuada debe ser de 12 horas de trabajo.

Para lo cual en base al horario de apertura del complejo y al horario de trabajo del operador se establece un horario que inicia los jueves a las 22H00 y termina el viernes a las 10H00, proceso

que debe repetirse los viernes, sábado y domingo, siendo este el último día en el que se termina el proceso a las 10H00. Cumpliendo así con las 12 horas de trabajo propuestas.

3.4.3. Selección de equipos

Para seleccionar los equipos adecuados de la instalación como primer paso se tiene que medir la corriente de todo el circuito para poder elegirlos en base a su tensión



Ilustración 3-78: Medición del voltaje

Realizado por: Jimenez, R, 2023.

Para el control del proceso de encendido se usa un controlador de tiempo programable tipo KG316T a 110V de la marca CAMSCO con 16 tipos de programaciones distintas.



Ilustración 3-79: Micro-computer timer swich

Realizado por: Jimenez, R, 2023.

También se usa un relé de la misma marca. El relé térmico" es un dispositivo electrónico que protege un sistema eléctrico o mecánico de sobrecalentamiento al activarse y desconectar el circuito cuando se alcanza una temperatura predeterminada.



Ilustración 3-80: Relé térmico

Realizado por: Jimenez, R, 2023.

Mediante la implementación de este sistema se busca regular las horas de trabajo de la caldera aumentando la eficiencia térmica de la caldera y su consumo de combustible.

3.4.4. Implementación del sistema de encendido

Para la implementación del circuito de automatización se reutilizó el cajetín metálico que se tenía para el encendido manual del quemador.

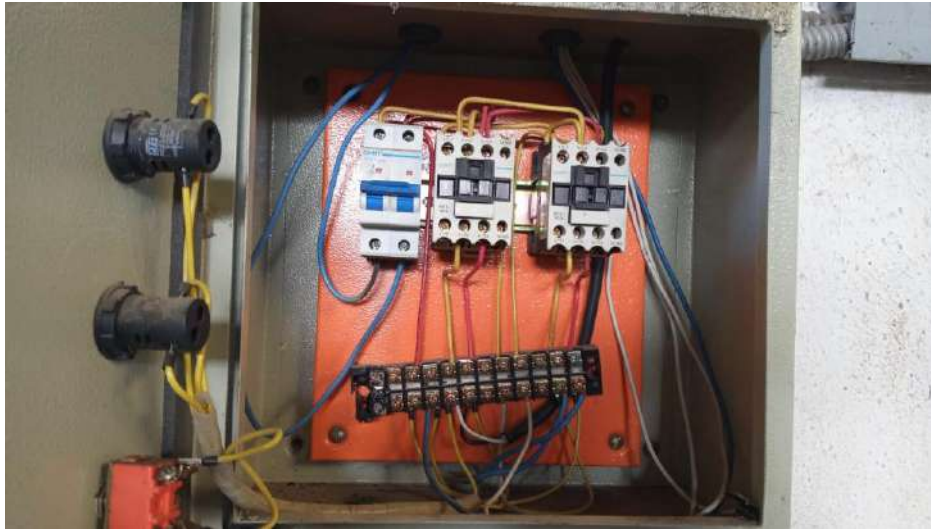


Ilustración 3-81: Circuito manual de encendido

Realizado por: Jimenez, R, 2023.

El circuito consta de dos contactores, un interruptor termomagnético de dos polos, una regleta de conexiones y un interruptor cola de rata.

Mediante la ampliación del riel se incluyó el relé, el controlador de tiempo y se reemplazó cables de conexión y la regleta que se encontraban sulfatados, además de reemplazar el interruptor cola de rata por un selector de tres posiciones para que la caldera pueda trabajar en modo automático, modo manual, para futuros mantenimientos, y una posición de apagado. De igual manera se implementa una luz piloto verde para indicar que el quemador se encuentra encendido y trabajando en modo automático.

La programación del controlador se usó 4 de sus 16 posibles programaciones de tiempo en las cuales se indica lo siguiente:

Tabla 3-14: Programación de horarios de encendido y apagado

HORARIO	ESTADO ON/OFF
Jueves 10 PM	ON
Viernes 10 AM	OFF
Viernes 10 PM	ON
Sábado 10 AM	OFF
Sábado 10 PM	ON
Domingo 10 AM	OFF

Realizado por: Jimenez, R, 2023.

Logrando de esta manera un control eficaz sobre el encendido del quemador que activa el proceso de calentamiento de agua pudiendo así recopilar datos fiables del consumo de combustible y eficiencia de la caldera.

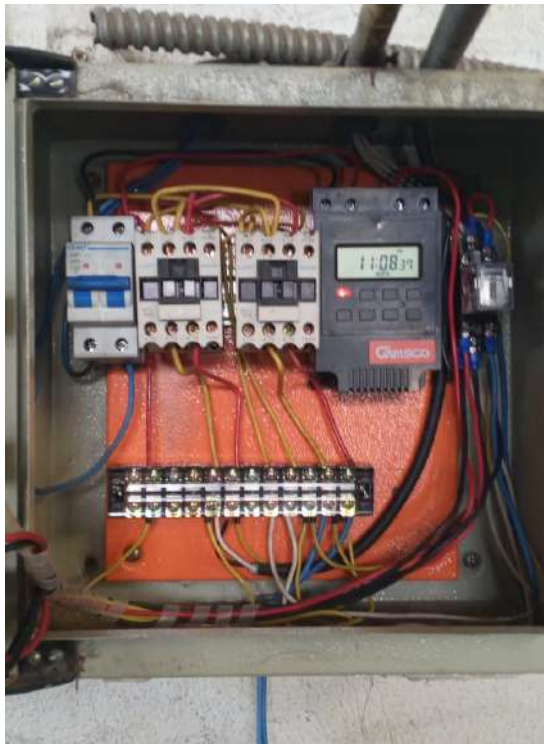


Ilustración 3-82: Circuito automático de encendido

Realizado por: Jimenez, R, 2023.



Ilustración 3-83: Selector tres posiciones y luz piloto
Realizado por: Jimenez, R, 2023.

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos al dar solución a las recomendaciones de intervención generadas en los tres ejes planteados: mantenimiento, evaluación energética y automatización del encendido.

4.1. Resultados del mantenimiento

De acuerdo con los valores obtenidos del NPR (Número prioritario de riesgo) se presentan a continuación los resultados del mantenimiento de los equipos.

4.1.1. Cortocircuito en el transformador



Ilustración 4-1: Control de encendido del quemador

Realizado por: Jimenez, R, 2023.

Para corregir la falla del cortocircuito en el transformador del encendido del quemador, se identificó la presencia de electrodos que generan el chispazo inicial, los cuales permanecían encendidos durante todo el proceso de calentamiento, originando una fundición de estos lo que desencadenaba en cortocircuitos.

La acción correctiva fue instalar un timer analógico seteado a 21 segundos, tiempo que fue medido experimentalmente para un adecuado funcionamiento del transformador, ya que este es el tiempo que se necesita para que se genere el chispazo y luego se desconecte el transformador para así evitar sobrecalentamientos y cortocircuitos.



Ilustración 4-2: Timer analógico

Realizado por: Jimenez, R, 2023.

Se realizaron pruebas de encendido durante los tres días del trabajo del complejo obteniendo resultados favorables pues desde su instalación el chispazo que enciende el quemador de diésel solamente trabaja 21 segundos y se desconecta.

4.1.2. *Temperatura del agua inadecuada*

La temperatura del agua es un factor importante para el confort de los usuarios, sin embargo, el complejo al no contar con un medidor de temperatura a la cual se encuentra la piscina es imposible controlar los tiempos que debería trabajar el caldero, a razón de esto la acción correctiva fue ubicar dos termómetros flotantes, uno en cada esquina opuesta de la piscina para así medir de una manera directa la temperatura del agua, al igual que sirve de información a los usuarios.



Ilustración 4-3: Termómetro flotante No 1

Realizado por: Jimenez, R, 2023.

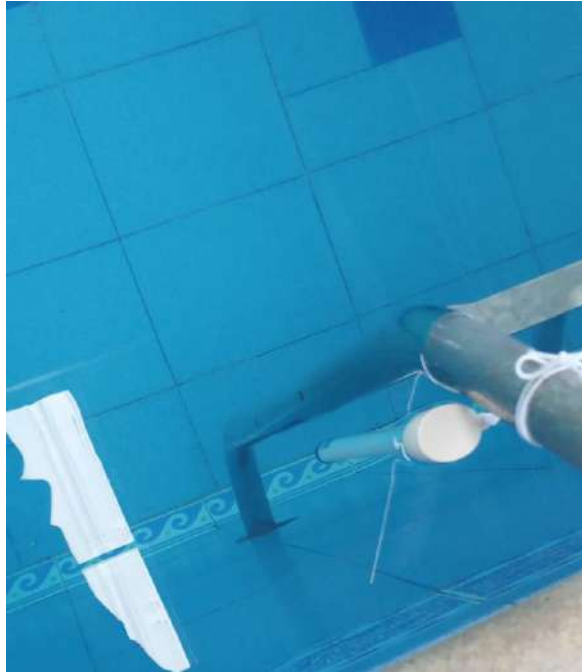


Ilustración 4-4: Termómetro flotante No 2

Realizado por: Jimenez, R, 2023.

4.1.3. Calibración de la boquilla difusora de diésel

La boquilla difusora es un aspecto importante para el buen funcionamiento del quemador, como primer paso se inspeccionó y se determinó que se encuentra en buen estado por lo cual simplemente se realizó una limpieza de esta.



Ilustración 4-5: Boquilla difusora

Realizado por: Jimenez, R, 2023.

4.1.4. Calibración del ventilador

Un aspecto importante durante la combustión es la presencia de aire dentro de la cámara por lo cual el ventilador y su potencia de soplado es indispensable, por lo que se procedió a destapar el caldero para primero realizar una limpieza a los ductos de aire y al hogar.



Ilustración 4-6: Caldera desmantelada

Realizado por: Jimenez, R, 2023.



Ilustración 4-7: Limpieza de tubos

Realizado por: Jimenez, R, 2023.



Ilustración 4-8: Sopleteado de tubos

Realizado por: Jimenez, R, 2023.

Mediante la limpieza del hollín que se genera por la combustión del diésel se obtiene un mejor flujo de aire dentro de la caldera lo que permite que ingrese de mejor manera el oxígeno y se establezca una combustión con parámetros adecuados.



Ilustración 4-9: Calibración del ventilador

Realizado por: Jimenez, R, 2023.

Una vez limpios los tubos la calibración de la potencia del ventilador fue necesaria para lograr una llama adecuada dentro del hogar y evitar que se generen sobre presiones dentro de la caldera.



Ilustración 4-10: Combustión descalibrada

Realizado por: Jimenez, R, 2023.



Ilustración 4-11: Combustión controlada

Realizado por: Jimenez, R, 2023.

De esta forma se logra que la llama generada en la combustión solamente abarque el volumen del hogar y no se sobrepase, consiguiendo una combustión adecuada para las medidas de la caldera una vez sellada.

4.2. Resultados de la evaluación energética de la caldera.

Mediante el análisis energético implementado se pudo constatar la presencia de pérdidas de energía en forma de calor por las paredes denominadas críticas, por lo que se sugirió la instalación de aislamiento en estas paredes mediante la comprobación de la temperatura superficial alcanzada en la simulación usando Flow Simulation lo cual vuelve factible el alcanzar una temperatura de 23 grados centígrados aproximadamente gracias al aislamiento de las caras frontal y posterior de la caldera. Como resultado se instaló el aislamiento con lana de roca mineral de 60kg/m^3 , se volvió a medir las temperaturas que irradian las superficies, obteniendo así un nuevo análisis térmico.



Ilustración 4-12: Imagen termográfica con aislamiento

Realizado por: Jimenez, R, 2023.

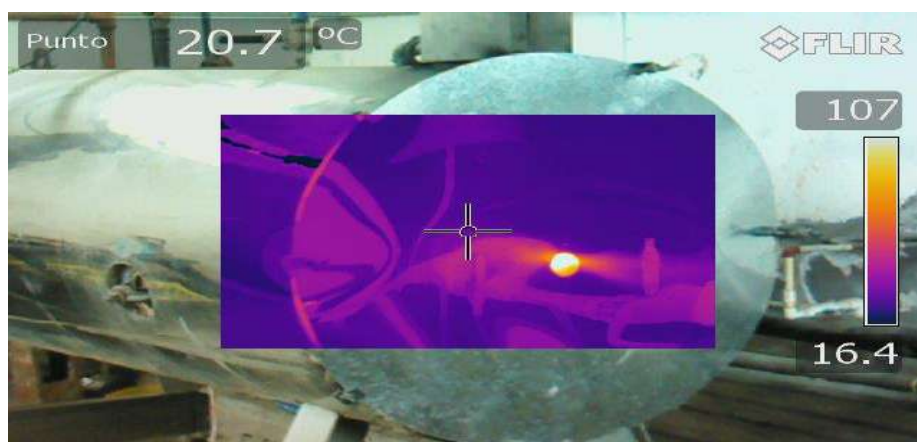


Ilustración 4-13: Imagen termográfica de la cara posterior con aislamiento

Realizado por: Jimenez, R, 2023.

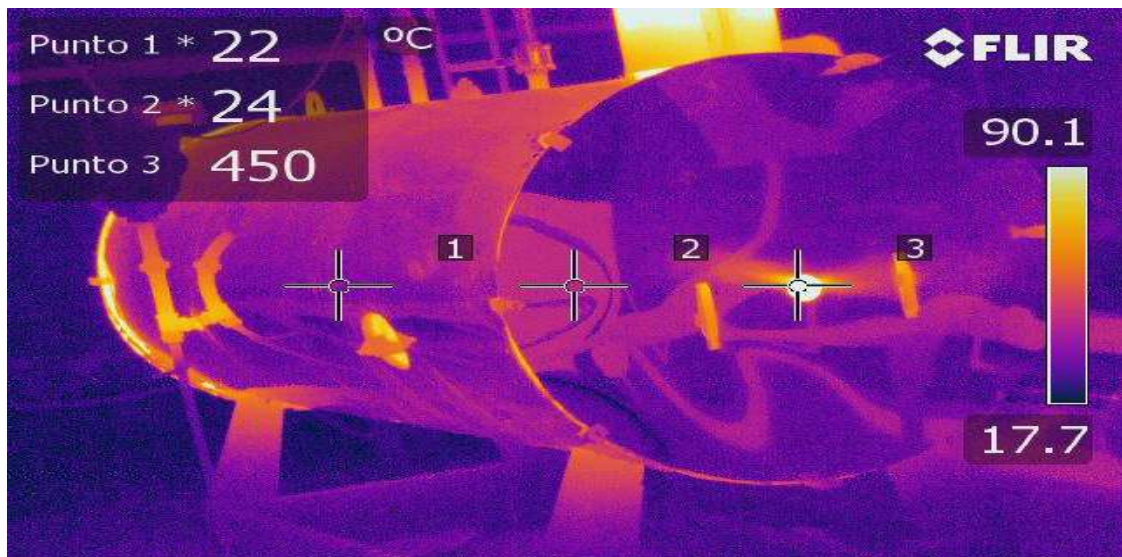


Ilustración 4-14: Imagen termográfica de la cara posterior con aislamiento en tres puntos

Realizado por: Jimenez, R, 2023.



Ilustración 4-15: Imagen termográfica de la cara frontal con aislamiento

Realizado por: Jimenez, R, 2023.

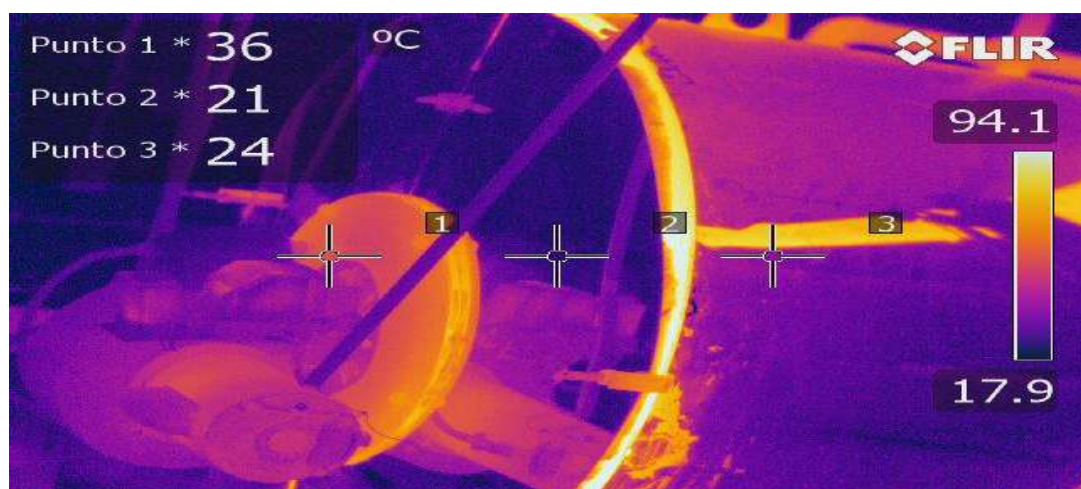


Ilustración 4-16: Imagen termográfica de la cara frontal con aislamiento en tres puntos

Realizado por: Jimenez, R, 2023.

En las ilustraciones 33, 34, 35, 36 y 37 se puede visualizar imágenes termográficas de las caras críticas en la caldera luego de instalado el aislamiento, pudiendo así constatar gráficamente el resultado del trabajo, lo cual se refleja en la reducción de la temperatura superficial de estas caras. Las imágenes que poseen temperaturas en tres puntos como son las ilustraciones 35 y 37 permiten comparar los niveles de calor emitidos a la superficie en tres espacios diferentes al mismo tiempo para verificar el funcionamiento de la lana de roca mineral.

4.2.1. *Cálculo de la potencia irradiada por las paredes de la caldera*

La temperatura durante la simulación alcanzó los 23°C y la temperatura medida con la cámara termográfica alcanzó temperaturas de aproximadamente 25°C por lo cual se procedió a realizar los cálculos con 25°C o 298,15°K

El coeficiente de transferencia de calor por radiación se lo calcula mediante la ecuación:

$$\alpha_{rad} = E * C_o(T_p + T_{af})(T_p^2 + T_{af}^2)$$

4.2.1.1. *Calculo en la cara frontal*

- Coeficiente de emisividad del material de la caldera piro tubular: $E = 0.74$
- Coeficiente de Stefan Boltzmann: $C_o = 5.97 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4}$
- Temperatura superficial: $T_p = 298.15 \text{ } ^\circ K$
- Temperatura ambiente: $T_{af} = 292.15 \text{ } ^\circ K$

$$\alpha_{rad} = E * C_o(T_p + T_{af})(T_p^2 + T_{af}^2)$$

$$\alpha_{rad} = 0.74 * 5.97 \times 10^{-8} (298.15 + 292.15)(298.15^2 + 292.15^2)$$

$$\alpha_{rad} = 4.544 \frac{W}{m^2 K}$$

- Área:

$$D = 1.03 \text{ m}$$

$$A = \pi \frac{D^2}{4} = \pi \frac{1.03^2}{4}$$

$$A = 0.833 \text{ m}^2$$

$$P = \alpha_{rad} * A * (T_p - T_{af})$$

$$P_{cara-frontal} = 4.544 * 0.833 * (298.15 - 292.15)$$

$$P_{cara-frontal} = 22.71 \text{ W}$$

4.2.1.2. Cálculo en la cara posterior

- Coeficiente de emisividad del material de la caldera piro tubular: $E = 0.74$
- Coeficiente de Stefan Boltzmann: $C_o = 5.97 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4}$
- Temperatura superficial: $T_p = 298.15 \text{ } ^\circ K$
- Temperatura ambiente: $T_{af} = 292.15 \text{ } ^\circ K$

$$\alpha_{rad} = E * C_o(T_p + T_{af})(T_p^2 + T_{af}^2)$$

- Área:

$$D = 1.03 \text{ m}$$

$$A = \pi \frac{D^2}{4} = \pi \frac{1.03^2}{4}$$

$$A = 0.833 \text{ m}^2$$

$$\alpha_{rad} = E * C_o(T_p + T_{af})(T_p^2 + T_{af}^2)$$

$$\alpha_{rad} = 0.74 * 5.97 \times 10^{-8} (298.15 + 292.15)(298.15^2 + 292.15^2)$$

$$\alpha_{rad} = 4.544 \frac{W}{m^2 K}$$

$$P = \alpha_{rad} * A * (T_p - T_{af})$$

$$P_{cara-posterior} = 4.544 * 0.833 * (298.15 - 292.15)$$

$$P_{cara-posterior} = 22.71 \text{ W}$$

4.2.1.3. Cálculo en la cara lateral

- Coeficiente de emisividad del material de la caldera piro tubular: $E = 0.74$
- Coeficiente de Stefan Boltzmann: $C_o = 5.97 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4}$
- Temperatura superficial: $T_p = 298.15 \text{ } ^\circ K$
- Temperatura ambiente: $T_{af} = 292.15 \text{ } ^\circ K$
- Área:

$$P = 4.7123 \text{ m}$$

$$A = L * P = (2.5)(4.7123)$$

$$A = 11.78 \text{ m}^2$$

$$\alpha_{rad} = E * C_o(T_p + T_{af})(T_p^2 + T_{af}^2)$$

$$\alpha_{rad} = 0.74 * 5.97 \times 10^{-8} (298.15 + 292.15)(298.15^2 + 292.15^2)$$

$$\alpha_{rad} = 4.544 \frac{W}{m^2 K}$$

$$P = \alpha_{rad} * A * (T_p - T_{af})$$

$$P_{pared-lateral} = 4.544 * 11.78 * (298.15 - 292.15)$$

$$P_{pared-lateral} = 321.170 W$$

Tabla 4-1: Resumen de pérdidas y potencia irradiada con aislamiento

Superficies	$P [W]$
Cara frontal	22.71
Cara posterior	22.71
Pared lateral	321.17

Realizado por: Jimenez, R, 2023.

Tabla 4-2: Cuadro comparativo de potencias

Superficies	$P \text{ antes } [W]$	$P \text{ después } [W]$	Reducción [%]
Cara frontal	1027.3144	22.71	97.79
Cara posterior	1027.3144	22.71	97.79
Pared lateral	321.15	321.15	0

Realizado por: Jimenez, R, 2023.

Presentando una reducción significativa del 97.79% de potencia irradiada al ambiente antes y después de la instalación del aislamiento en las caras frontal y posterior.

Esto representa también un ahorro en el consumo de combustible pues la caldera alcanza su máximo punto de trabajo en un menor tiempo gracias a la reducción del calor que se pierde al ambiente lo que se demuestra en los tiempos de encendido y apagado que son controlados por el pressuretrol instalado.



Ilustración 4-17: Seteo del pressuretrol

Realizado por: Jimenez, R, 2023.

Al tomarle menos tiempo alcanzar la máxima presión seteada gracias al aislamiento instalado, el quemador se apaga mucho más rápido, y se demora más tiempo en encenderse ahorrando el uso del combustible.

Tabla 4-3: Cuadro comparativo intervalo de tiempos de encendido en un ciclo

<i>Uso de aislamiento</i>	<i>Tiempo encendido durante un ciclo [s]</i>	<i>Tiempo que dura apagado [s]</i>	<i>Total, de ciclos durante el día [ciclos]</i>
Sin aislamiento	1800	1680	12.41
Con aislamiento	1560	3000	9.47

Realizado por: Jimenez, R, 2023.

En conclusión, se puede apreciar una reducción el número total de ciclos que realiza el caldero durante un día de trabajo presentando una minoría de 2.94 ciclos en porcentaje es 23.69% lo cual representa un menor tiempo en el que el quemador permanecerá encendido, reflejando un ahorro en el combustible utilizado de aproximadamente 23.81% logrando mantener la temperatura del agua para la piscina.

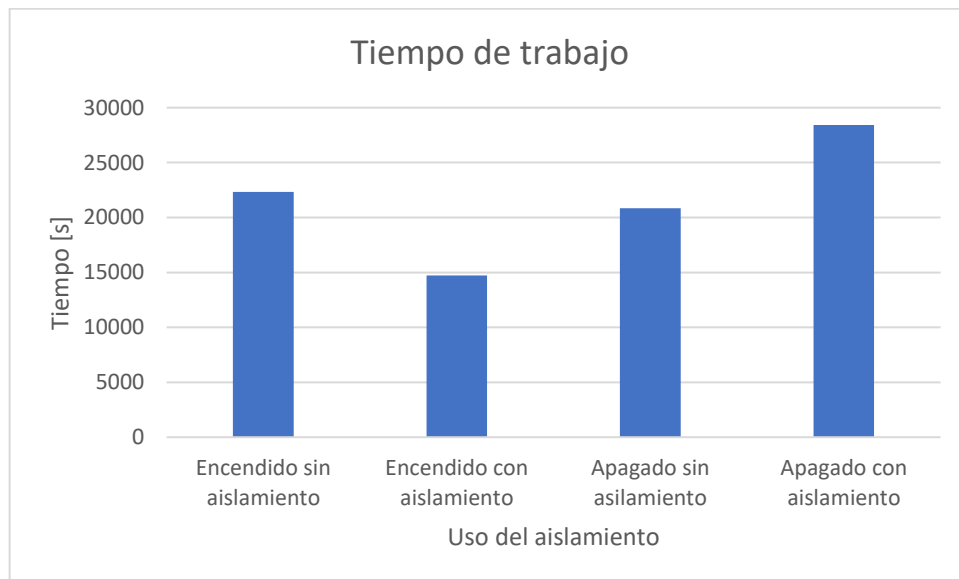


Ilustración 4-18: Tiempos en un día de trabajo

Realizado por: Jimenez, R, 2023.

4.3. Interpretación de los resultados del analizador de gases de combustión

Una vez realizada la medición después de las acciones correctivas en los tres ejes se procede a realizar una comparación de los datos obtenidos por el equipo antes y después, además de ser contrastados con la interpretación de la normativa española referente a instalaciones térmicas en edificios por Paulino Rivas (2017).

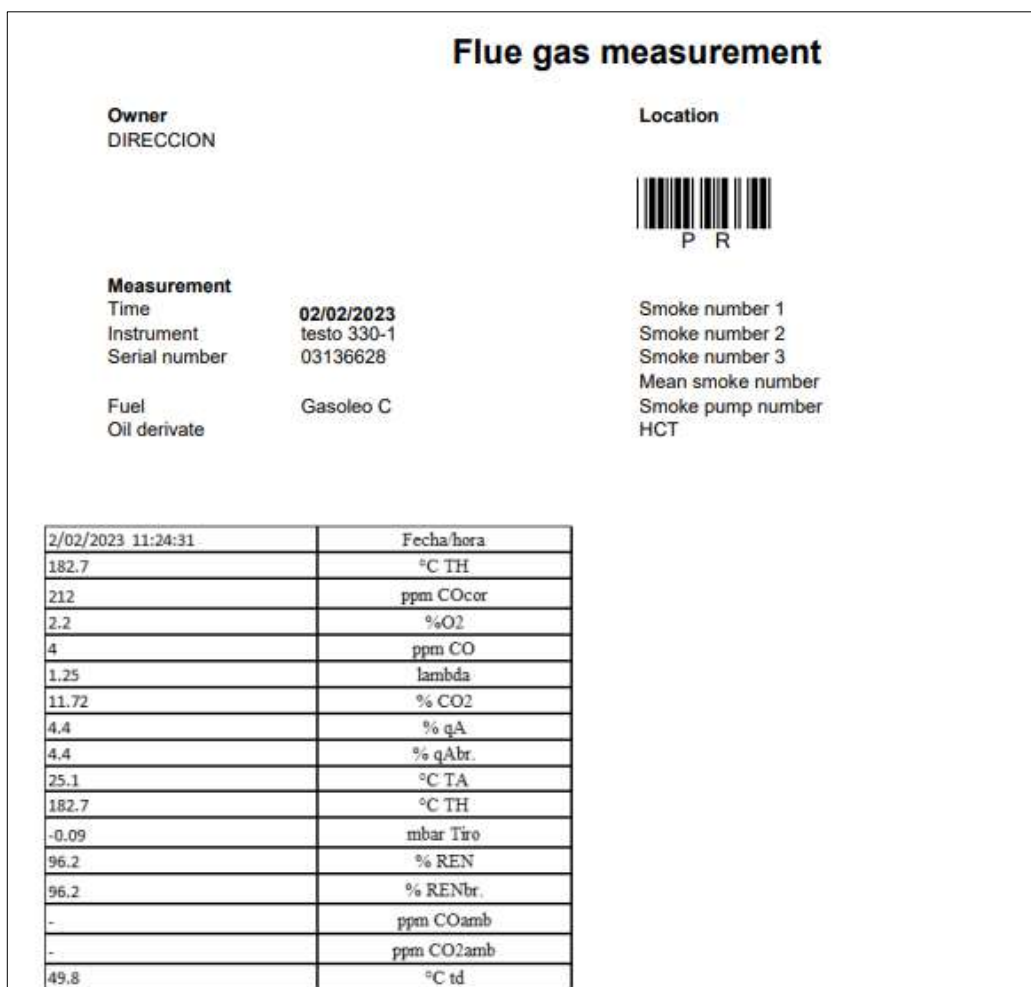


Ilustración 4-19: Resultados del analizador de gases de combustión

Realizado por: Jimenez, R, 2023.

El nuevo análisis de los gases de combustión tomados en la chimenea de la caldera luego de los trabajos de mantenimiento efectuados da como resultado una mejora notable en cuanto a la reducción del monóxido de carbono y el porcentaje de exceso de aire que se presentó en un inicio concluyendo que la calibración del ventilador, el ajuste de la boquilla difusora y la limpieza de los ductos de aire contribuyeron a una mejora en la eficiencia y rendimiento del proceso de combustión.

Tabla 4-4: Resultados del análisis de los gases de combustión

Variables	Valores antes del aislamiento	Valores después del aislamiento	Valores referenciales
°C TH	174.3 °C	182.7 °C	-
ppm COcor	474 ppm	4 ppm	500 ppm
% O2	7.9 %	2.2%	2-5 %
ppm CO	12 ppm	4 ppm	50 ppm
lambda	1.60	1.25	1.15-1.30

% CO2	14.91%	11.72%	11-14 %
% qA	6.3%	4.4%	-
% qAbr.	6.3%	4.4%	-
°C TA	25.6°C	25.1 °C	-
°C TH	174.3 °C	182.7 °C	-
mbar Tiro	-0.15 mbar	-0.09 mbar	-0.03 a -0.10 mbar
% REN	93.7%	96.2%	>85%
% RENbr.	93.7%	96.2%	>85%
ppm COamb	-	-	-
ppm CO2amb	-	-	-
°C td	52.5°C	49.8	-

Realizado por: Jimenez, R, 2023.

Una vez hecho el contraste se puede notar que los nuevos valores de las variables encajan perfectamente dentro de los límites propuestos por Paulo Rivas en vigencia con la normativa española.

A continuación, se presenta una reseña de cada variable:

4.3.1. Temperatura de los gases de combustión

La temperatura que presentan los humos al salir de la caldera puede indicar el tipo de caldera con el que se está trabajando.

En nuestro caso la temperatura es de 182.7 °C lo cual hace clasificar a la caldera como atmosférica.

4.3.2. CO corregido

Se conoce que el monóxido de carbono es peligroso a partir de los 500 ppm pero en este caso se obtuvo 4 ppm lo cual es inofensivo para las personas circundantes que respiren el aire en el cuarto de máquinas.

4.3.3. O₂ en porcentaje

El oxígeno presente en rangos normales va del 2 al 5% pero en nuestro caso se obtuvo un valor de 2.2% lo cual indicaría que el oxígeno se encuentra dentro de los valores permitidos para una correcta combustión

4.3.4. *CO diluido en ppm*

Este valor para ser nocivo para la salud debe superar los 50 ppm en nuestro caso se obtiene 4 ppm haciéndolo inofensivo.

4.3.5. *Índice de exceso de aire (λ)*

Corroborando lo obtenido en la presencia de O₂, en este índice de exceso de aire se pueden tener valores entre 1.15 y 1.30, en nuestro caso se obtiene 1.25 lo cual confirma que hubo una reducción en el exceso del aire dejándolo en parámetros adecuados.

4.3.6. *CO₂ en porcentaje*

El dióxido de carbono tiene un rango normal de presencia del 11 al 14% cuando se trabaja con gasóleo, en este caso se tiene 11.72% lo cual cae dentro del rango normal.

4.3.7. *Pérdidas de rendimiento en porcentaje*

No se cuenta con valores referenciales, pero cabe mencionar que mientras más bajo sea este valor, mejor será el rendimiento de la caldera, obteniéndose un valor de 4.4% lo cual es aceptable.

4.3.8. *Tiro de la chimenea*

En calderas de tipo atmosféricas se tienen valores nominales entre -0.03 a -0.10 mbar, en este caso se obtiene -0.09 mbar cayendo dentro de los valores normales.

4.3.9. *Rendimiento*

El rendimiento de la combustión debería estar por encima del 85%, en este caso se obtiene un rendimiento de 96.2% lo cual es bastante alto.

4.4. *Resultados del análisis técnico del agua*

El agua, al ser un solvente universal, se encuentra en su forma pura en la naturaleza. Sin embargo, todas las fuentes de suministro de agua contienen sustancias extrañas conocidas como impurezas que pueden ser perjudiciales y causar problemas en el funcionamiento de la caldera. Por lo tanto, estas impurezas deben ser tratadas químicamente para su eliminación. Las impurezas en el agua

de alimentación incluyen sales disueltas y suspendidas que causan incrustaciones, corrosión, fragilidad ácida, espumeo y arrastre. Estas incrustaciones pueden causar un mayor consumo de combustible, una pérdida de eficiencia en las calderas, recalentamiento en los tubos, fallas costosas y una corrosión acelerada bajo las incrustaciones.

Es por eso por lo que es necesario tratar y purificar el agua antes de utilizarla en las calderas. El tratamiento químico puede incluir la eliminación de sales, la eliminación de minerales y la neutralización de ácidos y alcalinos. La eliminación efectiva de impurezas mejorará el funcionamiento de la caldera, disminuirá el consumo de combustible y aumentará la eficiencia, previniendo fallas costosas y prolongando la vida útil de la caldera y las tuberías. En resumen, tratar adecuadamente el agua antes de su uso en las calderas es fundamental para garantizar su correcto funcionamiento y prolongar su vida útil.

Gracias al estudio técnico del agua de alimentación de la caldera se pudo determinar que la dureza sobrepasa los límites propuestos por lo que se procedió con la selección y propuesta de un ablandador de agua para el caso estudiado.

4.4.1. Propuesta del ablandador

La caldera tiene una potencia de 20 BHP.

La dureza después del estudio tiene un valor de 364 ppm.

Por medios de datos experimentales se tiene que para satisfacer la demanda de 1 BHP se requieren 0,069 galones americanos por minuto o 0.261 litros por minuto. (Guananga, 2017 pág. 82)

Es necesario un trabajo de 12 horas por día, lo que transformado a minutos es 720 minutos.

La fórmula para calcular el número de granos que deberá tener el ablandador de agua es:

$$\text{No Granos} = 1.6 * \text{Potencia} * \text{Caudal} * \text{tiempo de trabajo} * \text{dureza} * \text{factor de conversión}$$

Donde el factor de conversión de ppm a granos por cada galón es:

$$1 \text{ ppm} = 0.058 \text{ granos por cada galón}$$

$$\text{No Granos} = 1.6 * 20 \text{ BHP} * 0.069 \text{ GPM} * 720 \text{ min} * 364 \text{ ppm} * \frac{0.058 \text{ granos por cada galón}}{1 \text{ ppm}}$$

$$\text{No Granos} = 33194.18 \text{ granos}$$

El caudal necesario en consideración a la potencia de caldera de 20 BHP es de 1.38 GPM.

Datos con los cuales se selecciona el siguiente ablandador:



Ilustración 4-20: Suavizador de agua tanque gemelo serie sf-900f con válvula fleck

Fuente: Pure Aqua Inc

4.4.1.1. Descripción del ablandador

El Sistema Suavizante Serie SF-900F Doble tiene una mayor capacidad de operación comercial y ocupa menos espacio que otros sistemas en el mercado. La combinación de los dos depósitos de minerales y el tanque de salmuera más grande que usted proporciona con 24 horas de agua blanda continua. Al establecer el dial de la capacidad, en base a la dureza del agua en su área, la unidad monitorea el uso de agua blanda y sólo se regenera cuando sea necesario.

Pure Aqua ofrece ablandadores de agua y sistemas de suavizante de agua que pueden proporcionar agua limpia para sus aplicaciones comerciales. Tenemos varios clientes satisfechos en todo el mundo que utilizan nuestras soluciones de suavizante de agua.

Especificaciones de Operación									
• Alimentación Eléctrica: 115V/1Ph/60Hz			• Temperatura de Operación: 35 - 100°F (2 - 38°C)			• Presión de Operación: 30 - 125 psi (2 - 8.5 bar)			
Número de Modelo	Máxima Capacidad de Intercambio (Granos)	Caudales de Servicio (GPM)		Caudal de Retro Lavado (GPM)	Resina Ft3	Tamaño del Tanque (Pulgadas)		Almacenamiento de Sal (lbs)	Peso en Seco (Libras)
		Promedio	Máximo			Suavizador	Salmuera		
9100 Control - 3/4" Serie Econominder - Tamaño de tubería de 3/4"									
91F715	15000	11	15	1.5	0.5X2	7 X 44	18 X 33	400	110
91F822	22000	12	16	1.5	0.75X2	8 X 44	18 X 33	400	170
91F930	30000	14	18	2.4	1.0X2	9 X 48	18 X 33	400	180
91F1050	45000	15	19	3	1.5X2	10 X 54	18 X 33	400	240

Ilustración 4-21: Selección del modelo de ablandador

Fuente: Pure Aqua Inc.

Realizado por: Jimenez, R, 2023.

Con base a las características como son el número de granos y el caudal se selecciona el modelo 91F1050 ya que cumple y sobre pasa las condiciones requeridas para brindarle una mayor seguridad al sistema de ablandamiento de agua.

Características Estandar:
<ul style="list-style-type: none">• Tanque mineral de fibra de vidrio premium• Válvula de control de pistón motorizada totalmente automática, control de 5 ciclos• Presión de funcionamiento: 30 - 125 psi (2 - 8.6 bares)• Temperatura de funcionamiento: 35 - 100 ° F (2 - 38 ° C)• Regulador de retro lavado autoajustable• Controlador de flujo para limitar el flujo de retro lavado• Control de llenado de salmuera programado• Resina de poliestireno de alta capacidad de intercambio• Tanque rígido de salmuera de polietileno con válvula de salmuera de seguridad, cubierta de polvo y tubería• No bypass de agua dura

Ilustración 4-22: Características del ablandador

Fuente: Pure Aqua Inc.

El costo del ablandador se lo puede ver en el ANEXO A

4.5. Resultados del sistema de encendido automático

Al implementar un sistema de encendido automático en el quemador de la caldera se obtienen los siguientes resultados:

4.5.1. Mejora de la eficiencia

El sistema de encendido automático permite un arranque más suave y rápido de la caldera, lo que resulta en una mejor eficiencia en la combustión del combustible.

4.5.2. Reducción del consumo de combustible:

Al mejorar la eficiencia de la combustión, se reduce el consumo de combustible y, por lo tanto, se ahorra dinero en costos de energía. Esto es medible pues al realizar una medición a la reducción

del combustible presente en el tanque de almacenamiento después de un día de trabajo se obtuvo que el consumo en las 12 horas fue de 503 litros. En comparación a los 660 litros que aproximadamente consumía antes del sistema de encendido automático y aislamiento, se puede recalcar un ahorro de 157 litros al día lo cual representa un ahorro del 23.81% frente al consumo anterior.

4.5.3. *Aumento de la vida útil:*

Al mejorar la calidad del encendido, se reduce el desgaste en las piezas de la caldera, lo que puede prolongar su vida útil.

4.5.4. *Mayor seguridad*

Un encendido automático es más seguro que un encendido manual, ya que reduce la posibilidad de errores humanos que puedan causar problemas de seguridad.

4.5.5. *Mayor comodidad*

Con un sistema de encendido automático, la caldera se enciende y apaga de manera automática sin la necesidad de intervención humana, lo que resulta en mayor comodidad y conveniencia para el usuario.

4.6. *Análisis de costos*

A continuación, se detalla el análisis de costos que significó la repotenciación del sistema de calentamiento de agua. Incluyendo en el análisis costos directos e indirectos.

4.6.1. *Costos directos*

Estos gastos están asociados directamente con la producción o la construcción, incluyendo insumos, herramientas, trabajo directo, transporte, y otros factores similares.

En la tabla se presentan los valores de los implementos adquiridos, junto a su respectivo precio.

Tabla 4-5: Costos directos

N°	Descripción	Cantidad	Precio unitario	Total
1	Selector tres posiciones	1	3,00	3,00
2	Micro-computer Timer Switch	1	30,00	30,00
3	Relé electromagnético	1	7,00	7,00
4	Cable N°16	20	0,70	14,00
5	Ferules tipo U	1	4,00	4,00
6	Ferules tipo punta	1	4,00	4,00
7	Riel din	1	1,25	1,25
8	Plancha galvanizada 1220x2440x70	1	30,00	30,00
9	Termómetros flotadores	2	12,50	25,00
10	Plancha acero A36	1	50,00	50,00
11	Pernos milimétricos M10	8	2,50	20,00
12	Arandelas de presión	8	0,12	0,96
13	Tuercas	16	0,07	1,12
14	Discos de corte	2	2,50	5,00
15	Broca escalonada	1	10,80	10,80
16	Pernos 3/4 in	8	0,10	0,80
17	Aislante lana de roca 5 cm	5,3	6,00	31,80
18	Spray gun	1	35,00	35,00
19	Temporizador analógico	1	25,00	25,00
Total				298,73

Realizado por: Jimenez, R, 2023.

Los costos de la mano de obra que se han implementado en el presente proyecto se detallan en la siguiente tabla.

Tabla 4-6: Costos mano de obra

N°	Descripción	Horas-hombre	Costo por hora	Sub total
1	Herrero	20,00	6,00	120,00
2	Eléctrico	8,00	6,00	48,00
Total				168,00

Realizado por: Jimenez, R, 2023.

Los costos de herramientas y equipos empleados durante la ejecución del proyecto se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 4-7: Costos de herramientas y equipos

N°	Descripción	Horas-equipos	Costo por hora	Sub total
1	Amoladora	4,00	2,50	10,00
Total				10,00

Realizado por: Jimenez, R, 2023.

El costo del transporte empleado para trasladarse hasta el complejo y llevar los equipos usados se detallan en la tabla

Tabla 4-8: Costos de transporte

N°	Descripción	Sub total
1	Carrera camioneta	48,8
2	Transporte personal	84
Total		132,8

Realizado por: Jimenez, R, 2023

El total de costos directos es \$609.53

4.6.2. Costos indirectos

Estos son gastos que no están directamente relacionados con el desarrollo del proyecto en sí, como los costos de materiales extras, planificación y diseño, ingeniería y mano de obra no directamente involucrada en la repotenciación.

Tabla 4-9: Costos de transporte

N°	Descripción	Sub total
1	Costo ingenieril (10%)	60,00
2	Imprevistos	50,00
		110,00

Realizado por: Jimenez, R, 2023

4.6.3. Costos totales

Es la suma total entre los costos directos e indirectos, dando así el costo total empleado en la repotenciación del sistema de calentamiento de la piscina cubierta del Complejo Turístico Los Elenes.

Tabla 4-10: Costos totales

N°	Descripción	Sub total
1	Costo directo	609,53
2	Costo indirecto	110
Total		719,53

Realizado por: Jimenez, R, 2023

CONCLUSIONES

La calibración del ventilador del quemador dentro del mantenimiento del sistema de calentamiento de agua redujo el índice de exceso de aire (λ) de 1.60 a 1.25 estableciéndose dentro del rango permitido para la existencia de una combustión adecuada

El aislamiento de las caras críticas de la caldera con lana de roca mineral redujo su temperatura superficial de 160°C hasta los 25°C lo cual representa una disminución de la potencia irradiada al ambiente en un 97.79%.

El aislamiento térmico permite que el calor no se pierda por convección al ambiente permitiendo que los ciclos de encendido y apagado sean más eficientes representando una disminución de los tiempos de trabajo de la caldera en un 23.69%

La automatización del sistema de encendido del quemador permite que este trabaje el tiempo adecuado representando así un ahorro del combustible utilizado en un día de trabajo presentando una reducción del consumo hasta en un 23,81% lo cual conlleva a un ahorro de 157 l/día.

Mediante el analizador de gases de combustión luego de los trabajos realizados en los tres ejes propuestos se observa una reducción del monóxido de carbono, reducción del porcentaje de pérdidas y un aumento de la temperatura de los gases de salida, los cuales son indicadores de mejoría dentro de la combustión y que se encuentran dentro de los límites establecidos en este el trabajo técnico.

Se concluye que se debe instalar la propuesta de selección del ablandador de tanque tipo gemelo serie SF-900F debido a que a dureza obtenida dentro del análisis fisicoquímico del agua fue de 364 ppm.

RECOMENDACIONES

Implementar un plan de mantenimiento preventivo que incluya los números altos de prioridad de riesgo como son la limpieza continua de los ductos de aire de la caldera, el mantenimiento de las conexiones eléctricas y la calibración constante de la boquilla difusora y el ventilador del quemador.

Mantener el selector de tres posiciones en automático, y sólo moverlo a manual cuando se proponga a realizar un mantenimiento del equipo.

Se recomienda instalar fusibles de protección térmica en todas las instalaciones eléctricas para evitar sobretensiones que puedan afectar a los equipos.

No mover el temporizador analógico del transformador de 21 segundos para evitar daños en los electrodos de encendido.

Construir una cubierta en el tanque de almacenamiento de combustible.

Instalar lo antes posible el ablandador de agua propuesto en este trabajo técnico.

BIBLIOGRAFÍA

AGUIRRE & HIDALGO. Diseño y construcción de un equipo motorreductor aplicando la metodología QFD. [book auth.] Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba : Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 2022.

APRAÍZ, José. *Tratamientos térmicos de los aceros.* Madrid : Patronato de publicaciones de la escuela especial de ingenieros industriales, 1949.

ASKELAND, DONALD, Fulay, Pradeep & WRIGHT, Wendelin. *Ciencia e ingeniería de materiales.* México : CENGAGE Learning, 2011. 978-607-481-620-4.

ASTM. *ASTM E18-00: Standard Test Methods for Rockwell Hardness and Rockwell Superficial Hardness of Metallic Materials.* West Conshohocken : ASTM, 2000.

AUTOSOLAR. s.f. Bombas de agua superficie. [En línea] s.f. [Citado el: 12 de noviembre de 2022.] <https://autosolar.es/bombas-de-agua-superficie?page=3>.

AVNER, Sydney. *Introducción a la metalurgia física.* [trad.] José Estrada. México : McGraw&Hill, 1988. 968-6046-01-1.

BENITEZ, Luis. Las fallas en los engranajes. *Ingeniería e investigación.* Bogotá : s.n., 1985, Vol. 1, pp. 40-52.

BIBLIOTECA ATRIUM DE INSTALACIONES DE AGUA. s.f. Conceptos básicos de hidráulica. *Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico del Agua (CIDTA).* [En línea] s.f. [Citado el: 12 de noviembre de 2022.] https://cidta.usal.es/cursos/simulacion/modulos/libros/uni_03/hidraulica.PDF.

BLANCO, E., VELARDE, S. & FERNÁNDEZ, J. *Sistemas de bombeo.* Gijón : Universidad de Oviedo, 1994. [consulta: 12 de noviembre de 2022] ISBN 978-84-268-1563-7. https://agasca.net/wp-content/uploads/2018/08/PDF_SistemasdeBombeo2.pdf.

CALLISTER, William. 2016. *Introducción a la ciencia e ingeniería de materiales.* Barcelona : Reverte, 2016. págs. 338-340. 978-84-291-7251-5.

CLEMENS, MT. Material Selection and Heat Treatment. Michigan : Gear technology, 1985, págs. 40-46.

COMMET. s.f. Tipos de mantenimiento industrial. [En línea] s.f. [Citado el: 12 de noviembre de 2022.] <https://commet.es/blog/documentos-tecnicos/tipos-de-mantenimiento-industrial/>.

COMO FUNCIONA. s.f. Cómo funciona un multímetro. [En línea] s.f. [Citado el: 12 de noviembre de 2022.] <https://como-funciona.co/un-multimetro/>.

DÍAZ DEL CASTILLO, Felipe & REYES, Alberto. *Aceros, estructuras y tratamientos térmicos*. México : Universidad Nacional Autónoma de México, 2012. pp. 105-113.

EL CONFIDENCIAL. Los 10 mejores temporizadores programables para ahorrar. [En línea] 2021. [Citado el: 12 de noviembre de 2022.] https://www.elconfidencial.com/decompras/gadgets/2021-12-03/mejores-temporizadores-programables-ahorrar_3333498/.

ERRICHELLO, Robert & MULLER, Jane. How to analyze gear failures. s.l. : Geartech, 1994, pp. 35-40.

ESCAPES MENDOZA. ¿Qué es un analizador de gases combustión? [En línea] 2019. [Citado el: 12 de noviembre de 2022.] <http://www.escapasmendoza.cl/blog/que-es-un-analizador-de-gasescombustion/#:~:text=Es%20una%20herramienta%2C%20generalmente%20port%C3%A1til,en%20los%20gases%20de%20combusti%C3%B3n..>

ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA. *Tratamientos térmicos protocolo*. Segunda. Bogotá : Facultad de Ingeniería Industrial, 2008.

FEDERACIÓN DE ENSEÑANZA DE CC. OO. DE ANDALUCÍA. *Tratamientos termoquímicos*. Andalucía : Revista digital para profesionales de la enseñanza., 2011. 1989-4023.

FLUKE. S.f. Cómo funcionan las cámaras infrarrojas. [En línea] s.f. [Citado el: 12 de noviembre de 2022.] <https://www.fluke.com/es-co/informacion/blog/captura-de-imagenes-termograficas/como-funcionan-las-camaras-infrarrojas>.

GARCÍA, E. *Automatización de procesos industriales: robótica y automática*. Valencia : Universidad Politécnica de Valencia, 1999. [consulta: 12 de noviembre de 2022] ISBN 9788477217596.

https://gdocu.upv.es/alfresco/service/api/node/content/workspace/SpacesStore/e8e93e52-34be-44c8-a377-364b03b76cfd/TOC_6607_01_01.pdf?guest=true.

GASPARIN, Alexandre, et. al. Polyamide Worm Gear: Manufacturing and Performance. Caxias do Sul : UCS, 2012.

GUAMÁN, R. *Elaboración de un programa informático para control de calidad de agua para consumo en calderas pertenecientes a la compañía Cartones Nacionales S. A.* Cuenca : Universidad de Cuenca, 2011.

GUANANGA, Andres. Dspace ESPOCH. *Dspace ESPOCH*. [En línea] 2017. [Citado el: 2 de Febrero de 2023.] <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/8076>.

HERRERA, ANDERSON, Iván, Jaimes & QUIROGA, Javid. Estudio experimental de fallas en engranajes rectos por desalineación, excentricidad y diente roto. [book auth.] Universidad del norte. *Ingeniería y desarrollo*. Santander : Universidad del norte, 2016.

INEN. *CPE INEN 003: Código de dibujo técnico-mecánico*. Quito : INEN, 1989.

INTEREMPRESAS. Tratamiento de agua para calderas. [En línea] 2021. [Citado el: 12 de noviembre de 2022.] <https://www.interempresas.net/Agua/Articulos/356671-Tratamiento-de-agua-para-calderas.html>.

KEYSER, Carl. *Ciencia de materiales para Ingeniería*. Ohio : Limusa, 1985. 968-18-0605-0.

LARBURU, Nicolas. 1989. *Máquinas prontuario*. Madrid : Paraninfo, 1989. 84-283-1618-X. *Método para la evaluación de la eficiencia e impacto ambiental de un generador de vapor*.

JIMÉNEZ, R., et. al.. Ingeniería Energética [en línea], Vol. 37, págs. 135-144. ISSN 1815-5901.

MOLERA, Pere. *Tratamientos térmicos de los metales*. Barcelona : marcombo, 1991. 978-84-267-0826-7.

MOUBRAY, J. Mantenimiento centrado en confiabilidad. *Soporte & Compañía*. [En línea] 2021. [Citado el: 12 de noviembre de 2022.] <https://soporteycia.com/system/files/articulos-pdf/rcm-articulo-mantenimiento-centrado-confiabilidad-03-dic-2021.pdf>.

MUÑOZ, M. s.f. Mantenimiento industrial. *Ingemecánica*. [En línea] s.f. [Citado el: 12 de noviembre de 2022.] <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/objetos/tutorial501.pdf>.

ORTÍZ, MARTÍN, et al. *Tratamientos térmicos*. Sahagún : Ingenio y Conciencia Boletín Científico de la Escuela Superior Ciudad Sahagún, 2020. 2007-784X.

ORZA, A. s.f. Tema 1: La electricidad: conceptos, fenómenos y magnitudes. *Consellería de Cultura, Educación e Universidade*. [En línea] s.f. [Citado el: 12 de noviembre de 2022.] <https://www.edu.xunta.gal/centros/cpiantonioorzacouto/system/files/TEMA%202%20LA%20ELECTRICIDAD%20I.pdf>.

OSEJO, D. *Diseño de una caldera de generación de vapor piro tubular de 10 BHP expandible a 25 BHP mediante módulos*. Bogotá : Fundación Universidad de América, 2017.

PANÍĆ, NENAD, Katana, Branko & Ivan, Zvonimir. DETERMINING AN ALLOWABLE WEAR OF WORM WHEELS. Osijek : FAMENA, 2017, Vol. 1, pp. 55-60.

PEREZ & TORRE. *Guía de diseño para calcular el desgaste abrasivo entre componentes no lubricados*. Lerdo : Ciencia, Ingeniería y Desarrollo Tec Lerdo, 2015. 2448-623X.

PERNÍA, Alpha and al., et. *Prácticas de mecanizado en torno y fresadora*. España : Universidad De La Rioja, 2018. pp. 17-18.

PONCE, Ernesto, MARTÍNEZ, Luis & VARGAS, José. Boronizado de aleaciones de base cobre. Arica : Facultad de ingeniería, 2004, Vol. 12, pp. 57-62.

SMITH & HASHEMI. *Fundamentos de ciencia e ingeniería de materiales*. México : McGraw&Hill, 2004. 970-10-5638-8.

SMITH, William. *Fundamentos de la ciencia e ingeniería de materiales*. Madrid : McGraw&Hill, 1998. 0-07-059241-1.

TOTAL ENERGIES. Conoce mejor el sistema eléctrico al que te conectas. [En línea] 2020. [Citado el: 12 de noviembre de 2022.] <https://www.totalenergies.es/es/pymes/blog/conoce-el-sistema-el%C3%A9ctrico-al-que-te-conectas#:~:text=El%20sistema%20el%C3%A9ctrico%20se%20define,%3A%20generaci%C3%B3n%20de%20transporte%20y%20distribuci%C3%B3n..>

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER. s.f.. Normas SAE JA 1011 - SAE JA 1012 . *Scribd*. [En línea] s.f. [Citado el: 12 de noviembre de 2022.] <https://es.scribd.com/presentation/507265130/Sae-Ja1011-Saeja1012>.

WIKIPEDIA. s.f.. Caudal (fluido). [En línea] s.f. [Citado el: 12 de noviembre de 2022.] [https://es.wikipedia.org/wiki/Caudal_\(fluido\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Caudal_(fluido)).

ZACARIAS, Miguel, AGUILAR, Roberto & LOPEZ, Marta. Caracterización metalográfica y mecánica de las estructuras cristalinas obtenidas durante el proceso de cementación en aceros din 16crni4 y din 16mncr5 y su relación con la dureza y tenacidad resultante en engranajes de dientes rectos. Concepción : Universidad de Concepción, 2015.

ZÁRATE, José al., et. *Ciencia y Tecnología de Materiales*. México : Éxodo, 2016. pp. 175-201. 978-607-9443-72-6.

ANEXOS

ANEXO A: COSTO ABLANDADOR DE AGUA



2230 South Huron Drive
Santa Ana CA 92704
United States
sales@pureaqua.com
(714) 432-9996
www.pureaqua.com

Quote

#QU002515

2/20/2023

Quote # QU002515
Created: 2/20/2023

Expires: 3/22/2023

Lead Time	Payment Terms	Prepared By	Freight Terms	Shipping Method
10-12 weeks	50% down, 50% before shipping	May Higazy	Factory USA	To be advised

Item	Description	Quantity	Rate	Amount
91F1045	10" FRP Tank Twin Alternating Water Softener: - (2) 10" Diameter FRP Tanks - 9100 Fleck softener valve with meter - 3/4" Pipe size - Brine Tank - 110V/1ph/60Hz - Max Pressure: 100 PSI	1	\$1,465.00	\$1,465.00
Wire transfer fee	Wire Transfer Fee	1	\$35.00	\$35.00

Subtotal	\$1,500.00
Shipping Cost	\$0.00
Tax Total (0%)	\$0.00
Total	\$1,500.00

ANEXO B: HOJA TÉCNICA LANA DE ROCA



Expertos en Ingeniería de Aislamientos

Ficha Técnica SONOWALL SAFB



Material fibroso elaborado de Lana Mineral de Roca con un punto de fusión aproximado a 1.177°C.

Especificaciones Técnicas	
Densidad	32 kg/m ³ 60 kg/m ³
Dimensiones	0.61 m x 1.22 m
Espesor	2in a 4in con incrementos de 1/2in
Temperatura de operación	Hasta 454 °C
Conductividad térmica	0.22 BTU.in/vt.2h.°F a >100 °F



Descripción

El Sonowall SAFB consiste en finas fibras de Lana Mineral de Roca elástica y aglutinada, en forma de placas, con un espesor y una densidad constante sin ningún tipo de recubrimiento, actúa como barrera al paso de calor y del ruido, mejora la pérdida por transmisión, absorbiendo el sonido en la cavidad de la partición e incrementando la masa total de la misma.

Aplicaciones

- El Sonowall SAFB ha sido diseñado como material de aislamiento acústico, térmico y protección contra incendios en particiones verticales y horizontales en sistemas de construcción liviana o tradicional.

Ventajas

- El Sonowall SAFB es un producto totalmente inorgánico, por lo tanto no es hábitat para roedores, insectos, bacterias y hongos, a la vez que no corroe ni ataca los sustratos donde son aplicados.
- Es 100% libre de asbesto.
- Es un producto clasificado como incombustible.
- Permanece inalterable en el tiempo sin perder sus propiedades físicas.
- Es fácil de instalar.
- Absorción de humedad <0.01% del volumen.

El SONOWALL SAFB tiene muy baja conductividad térmica, minimizando la transferencia de calor en una partición, lo que ayuda a reducir el consumo total de energía en más del 50%.

DESEMPEÑO ACÚSTICO ASTM 423

Coefficientes de Absorción por Frecuencia

Espesor	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 KHz	2 KHz	4 KHz	NRC
1in	0.14	0.25	0.65	0.9	1.01	1.01	0.7
1.5in	0.18	0.44	0.94	1.04	1.02	1.03	0.85
2.5in	0.28	0.6	1.09	1.09	1.05	1.07	0.95
3.5in	0.52	0.96	1.18	1.07	1.05	1.05	1.05
4in	0.86	1.11	1.2	1.07	1.08	1.07	1.1

www.calorcol.com

¡La densidad si importa!



Compromiso Ambiental

La Lana Mineral de Roca es un producto amigable con el medio ambiente, con su aplicación en todos nuestros sistemas de aislamiento contribuimos eficientemente con el desarrollo ambiental sostenible, disminuyendo drásticamente los consumos de energía y combustibles, por lo tanto, se reduce la emisión de gases y humos, la contaminación del aire, el efecto invernadero y la lluvia ácida; en su manufactura no se utilizan agentes gasificantes de tipo CFC o HCFC.

El SONOWALL SAFB mejora la pérdida por transmisión, absorbiendo el sonido en la cavidad de la partición e incrementando la masa total de la misma.

Está demostrado que el nivel de aislamiento de una partición mejora, cuando se incrementa la masa. Esto es factible, aumentando la densidad del material. La absorción de sonido de un material mejora con el incremento de la resistencia al flujo de aire, ésta indica qué tan absorbente es un material evaluando qué tanto aire puede pasar a través del mismo a una tasa de flujo volumétrico dado.

El Sonowall SAFB aporta un 150% más de la masa por unidad de área respecto a su equivalente en fibra de vidrio.

En un estudio realizado por la National Research Council Canadá (NRC) IR-761 titulado "Summary Report For Consortium on Gypsum Board Wall: Sound Transmission Results", se midió la resistencia al flujo de aire de la Lana Mineral de Roca y la fibra de vidrio.

Los resultados muestran que debido a la alta densidad de la Lana Mineral de Roca, se obtiene una resistencia al flujo de aire superior a la fibra de vidrio. Si un material de aislamiento tiene una alta resistencia al flujo de aire, tendrá una mejor absorción del sonido.

CUMPLIMIENTO DE NORMATIVAS

ASTM C 665	Aislamiento térmico de Lana Mineral	Cumple
CAN/ULC S702	Aislamiento térmico de Lana Mineral para edificios	Cumple
ASTM E 136	Determinación de No-Combustibilidad	Incombustible
CAN/ULC S114	Determinación de No-Combustibilidad	Incombustible
UL 723 (ASTM E 84)	Características de combustión de la superficie	Generación de humos = 0, Propagación de llama = 0
CAN/ULC S102	Características de combustión de la superficie	Generación de humos = 0, Propagación de llama = 0
CAN/ULC S129	Resistencia a la combustión sin humo	0.09%
ASTM C 518	Propiedades de transmisión térmica	R/in = 4.3, RSI = 29.9 m ² K/W
ASTM E 90	Pérdida de transmisión sonora	Probado
ASTM E 413	Clasificación para el grado de sonido	Probado
ASTM C 423	Coefficientes de absorción de sonido	Probado
ASTM 1090	Impedancia y absorción	Probado



Acoustical Society of America

an organization of acoustical scientists and engineers



Calorcol S.A. Presenta esta ficha técnica de producto como una guía y no se responsabiliza del uso que se le de. Se reserva el derecho de modificar información sin previo aviso. Para mayor información favor consultar departamento técnico.

Oficina principal

Calle 46 N° 71-121
 PBX: (574) 274 4149
 Email: info@calorcol.com
 Copacabana - Antioquia - Colombia

Centros de distribución

Bogotá: Cra 97 N° 24C - 75 Bq 40 Fontibón PBX (571) 4321940

Barranquilla:
 Cel. 316 5278492

Calí:
 Cel. 316 5278486

Perseira:
 Cel. 312 8765703

Bucaramanga:
 Cel. 316 2550568

Barranca Bermeja:
 Cel. 316 7404321

Exportaciones:
exportaciones@calorcol.com

Línea nacional: 316 5272521

www.calorcol.com

ANEXO C: RESULTADOS ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DEL AGUA DE ALIMENTACIÓN DE CALDERAS



ESPOCH
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

INFORME DE ANALISIS FISICO-QUIMICO DE AGUAS

Solicitado por: Sr. Ricardo Jimenez

Fecha de entrega de resultados: 12 de diciembre del 2022

Tipo de muestra: Agua para uso en calderas

Localidad: Canton Guano

Determinaciones	Unidades	*Valores Referenciales	Resultados
pH	Unid	6.5 - 8.5	7.49
Conductividad	μ Siemens/cm	< 1 250	702.7
Cloruros	mg/L	250	22.7
Dureza	mg/L	300	364.0
Calcio	mg/L	40	36.8
Magnesio	mg/L	70	66.1
Alcalinidad expr. como CaCO ₃	mg/L	300	340.0
Bicarbonatos	mg/L	300	346.8
Sulfatos	mg/L	200	50.0
Fosfatos	mg/L	0.3	1.05
Hierro	mg/L	0.3	0.03
Sólidos Disueltos	mg/L	500	435.7

* Valores referenciales para aguas de consumo doméstico

Observaciones: Valores de fosfatos elevados fuera de los valores referenciales

Atentamente,

Dra. Gina Álvarez R.
RESP. LAB. ANÁLISIS

Nota: El presente informe afecta solo a la muestra analizada.