



UNIVERSIDAD TECNICA DE COTOPAXI

DIRECCIÓN DE POSGRADOS

Proyecto de Investigación y Desarrollo en opción al Grado Académico de Magister en
Gestión de Energías

Cohorte 2 014

TEMA: “Diagnóstico energético del sistema de calentamiento de agua en la piscina del Complejo de Natación Carlos Costales de la ciudad de Riobamba. Propuesta de alternativas de solución.”

Autor:

MORENO Pinduisaca, Ligia Elena

Tutor:

PhD. Héctor Luis Laurencio Alfonso

LATACUNGA – ECUADOR

Marzo – 2018

ÍNDICE

ELEMENTOS DEL DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	2
Justificación de la investigación	2
Delimitación problema y objeto:	3
Problema de investigación.....	3
Objeto de estudio	3
Objetivo y campo de acción:	4
Objetivo general	4
Campo de acción de la investigación	4
Objetivos específicos.....	4
Sistema de tareas por objetivos específicos.....	4
Objetivos específicos.....	4
Métodos y Técnicas de investigación.....	4
HIPÓTESIS	6
CAPÍTULO 1	
MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL	7
1.1 Antecedentes del estudio.....	7
1.2 Fundamentación teórica	8
1.2.1 Auditoría Energética	8
1.2.2 Diagnóstico de primer grado.....	9
1.2.3 Diagnóstico de segundo grado	9
1.2.4 Diagnóstico de tercer grado	9
1.2.5 Diagnóstico de cuarto grado	9
1.2.6 Eficiencia energética	10
1.2.7 Sistema de Gestión Eficiente de Energía	10
1.2.8 Diagrama de Pareto.....	11
1.2.9 Gráficos de control.....	12
1.3 Transferencia de calor.....	13
1.3.1 Conducción	13
1.3.2 Convección.....	13
1.3.3 Radiación	13
1.4 Generador de vapor a diésel.....	13
1.4.1 Partes de un generador de vapor	14
1.5 Gases de combustión en una caldera.....	15
1.5.1 Aire de combustión	15
1.5.2 Productos de la combustión	16
1.5.3 Pérdida de calor debido a la combustión	16
1.5.4 Productos de la combustión	17
1.6 Temperatura óptima del agua en una piscina.....	17
1.6.1 Pérdidas de calor presentes en las instalaciones de una piscina	18
1.7 Calentamiento de agua en una piscina con energía alternativa.....	19
1.7.1 Calentadores solares.....	19
1.7.2 Bombas de calor.....	22
1.8 Fundamentación legal	25

1.9	Definición de Términos Básicos	25
1.10	Conclusiones del capítulo	27

CAPITULO 2

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN UTILIZADA EN EL DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO DEL PROCESO DE CALENTAMIENTO DE AGUA DE UNA PISCINA

28

2.1	Modalidad de la investigación	28
2.2	Tipo de investigación	28
2.2.1	Matriz causa y efecto	29
2.2.2	Operacionalización de las variables	29
2.3	Método de Investigación	31
2.4	Técnicas e instrumentación de la investigación	31
2.5	Diseño de la investigación	32
2.5.1	Procedimiento para análisis de gases de combustión.....	32
2.5.2	Eficiencia del sistema.....	34
2.6	Fundamentos matemáticos	38
2.6.1	Pérdidas de calor en una piscina	38
2.6.2	Calor necesario para calentar el agua de la piscina.....	42
2.6.3	Calor requerido en la piscina	42
2.6.4	Rendimiento de la caldera.....	42
2.6.5	Diseño del nuevo sistema de calentamiento mediante energía solar	43
2.6.6	Determinación del número de colectores solares.....	43
2.7	Conclusiones del capítulo	44

CAPÍTULO 3

ANALISIS E INTERPRETACION DE RESULTADOS EN EL PROCESO DE CALENTAMIENTO DE AGUA DE UNA PISCINA

45

3.1	Funcionamiento del sistema de calentamiento del agua de la piscina del complejo deportivo Carlos Costales	45
3.1.1	Succión del agua de la piscina	46
3.1.2	Proceso de calentamiento de agua	46
3.1.3	Descarga del agua hacia la piscina.....	47
3.2	Auditoría Energética en la piscina del complejo de natación Carlos Costales	47
3.3	Toma de datos y registro	48
3.3.1	Temperatura de agua de la piscina	48
3.3.2	Número de ocupantes de la piscina.....	49
3.4	Pérdidas de calor en la piscina	49
3.4.1	Cálculo de pérdidas por evaporación	50
3.4.2	Cálculo de pérdidas por radiación.....	51
3.4.3	Cálculo de pérdidas por convección	52
3.4.4	Cálculo de pérdidas por renovación.....	52
3.4.5	Cálculo de pérdidas por conducción	52
3.4.6	Resumen de pérdidas de calor en la piscina.....	55
3.5	Cálculo del calor necesario para calentar el agua de la piscina	57
3.6	Calor entregado por el quemador a la caldera.....	58

3.7	Cálculo del rendimiento de la caldera.....	58
3.7.1	Análisis del rendimiento de la caldera	59
3.8	Consumo del combustible.....	60
3.8.1	Análisis del consumo de combustible.....	62
3.8.2	Costo del combustible utilizado en el funcionamiento del sistema	63
3.9	Eficiencia de la combustión	63
3.10	Conclusiones del capítulo	65

CAPÍTULO 4

PROPUESTA DE MEJORA

66

4.1	Sistema de calentamiento de agua con Energía Solar.....	66
4.1.1	Recurso energético disponible	67
4.1.2	Selección del número de colectores solares necesarios para satisfacer los requerimientos actuales de servicio	70
4.1.3	Selección del número de colectores solares necesarios para satisfacer los requerimientos ideales de servicio	72
4.1.4	Análisis económico de la instalación de paneles al sistema de calentamiento de agua de la piscina Carlos Costales	73
4.2	Sistema de calentamiento de agua con bombas de calor	74
4.2.1	Selección de la bomba de calor para el sistema	74
4.2.2	Análisis económico de la instalación de paneles al sistema de calentamiento de agua de la piscina Carlos Costales	76
4.3	Comparación entre las alternativas de solución	77
4.4	Cálculo del TIR y VAN para el sistema seleccionado.....	78
4.5	Impacto Ambiental.....	79
4.6	Conclusiones del capítulo	80

CONCLUSIONES GENERALES

81

LISTA DE TABLAS

<i>Tabla 1.1 Temperatura óptima del agua de la piscina</i>	17
<i>Tabla 2.1 Variable dependiente: Sistema de calentamiento de agua</i>	30
<i>Tabla 2.2 Variable independiente: Diagnóstico energético (Temperatura óptima del agua de la piscina)</i> 30	
<i>Tabla 2.3 Lista de datos de las pruebas de combustión</i>	33
<i>Tabla 2.4 Variable física</i>	34
<i>Tabla 2.5 Especificaciones del termómetro digital</i>	35
<i>Tabla 3.1 Diagnóstico de evaluación de los equipos</i>	48
<i>Tabla 3.2 Temperaturas promedio de agua</i>	49
<i>Tabla 3.3 Datos utilizados en el cálculo de las pérdidas de calor</i>	49
<i>Tabla 3.4 Flujo másico del agua evaporada</i>	50
<i>Tabla 3.5 Flujo másico del agua asociado a la agitación por los bañistas</i>	50
<i>Tabla 3.6 Flujo de evaporación total de agua</i>	51
<i>Tabla 3.7 Pérdidas por radiación</i>	51
<i>Tabla 3.8 Pérdidas por convección</i>	52
<i>Tabla 3.9 Pérdidas por renovación</i>	52
<i>Tabla 3.10 Pérdidas por conducción en las paredes laterales de la piscina</i>	53
<i>Tabla 3.11 Pérdidas por conducción en el fondo de la piscina</i>	54
<i>Tabla 3.12 Pérdidas totales por conducción</i>	54
<i>Tabla 3.13 Resumen de pérdidas de calor en la piscina</i>	55
<i>Tabla 3.14 Resumen de pérdidas de calor en la piscina en diferentes condiciones de funcionamiento</i>	56
<i>Tabla 3.15 Calor necesario del agua de la piscina</i>	57
<i>Tabla 3.16 Calor entregado por el quemador</i>	58
<i>Tabla 3.17 Rendimiento de la caldera</i>	59
<i>Tabla 3.18 Datos para el análisis de la eficiencia de la caldera</i>	59
<i>Tabla 3.19 Datos de consumo de combustible</i>	60
<i>Tabla 3.20 Datos de la temperatura del agua de la piscina</i>	61
<i>Tabla 3.21 Flujo de combustible</i>	62
<i>Tabla 3.22 Consumo de combustible según especificación del quemador</i>	62
<i>Tabla 3.23 Consumo de combustible</i>	62
<i>Tabla 3.24 Costo del combustible utilizado en el sistema</i>	63
<i>Tabla 3.25 Eficiencia de la combustión</i>	64
<i>Tabla 4.1Ciclo diario de Radiación Riobamba</i>	68
<i>Tabla 4.2Radiación solar en Riobamba</i>	69
<i>Tabla 4.3Pérdidas de calor anual y radiación solar neta</i>	71

<i>Tabla 4.4</i>	<i>Resumen de pérdidas de calor en la piscina para 28°C de temperatura</i>	<i>72</i>
<i>Tabla 4.5</i>	<i>Número de colectores solares necesarios para satisfacer los requerimientos ideales del sistema</i>	<i>73</i>
<i>Tabla 4.6</i>	<i>Costos de equipos, accesorios e instalación de paneles solares en la piscina Carlos Costales ...</i>	<i>73</i>
<i>Tabla 4.7</i>	<i>Costos de equipos, accesorios e instalación de bombas de calor en la piscina Carlos Costales ..</i>	<i>76</i>
<i>Tabla 4.8</i>	<i>Comparación entre alternativas de solución</i>	<i>77</i>
<i>Tabla 4.9</i>	<i>Costo anual de operación de los diferentes sistemas de calentamiento de agua en la piscina ..</i>	<i>78</i>
<i>Tabla 4.10</i>	<i>TIR – VAN del sistema seleccionado</i>	<i>78</i>
<i>Tabla 4.11</i>	<i>Cálculo automático de emisiones totales en relación a los consumos energéticos de sus instalaciones</i>	<i>79</i>

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1.1</i>	<i>Diagrama de Pareto</i>	<i>12</i>
<i>Figura 1.2</i>	<i>Generador de vapor</i>	<i>14</i>
<i>Figura 1.3</i>	<i>Eficiencia de la combustión contra exceso de aire</i>	<i>15</i>
<i>Figura 1.4</i>	<i>Sistema de bombeo de recirculación</i>	<i>19</i>
<i>Figura 1.5</i>	<i>Funcionamiento del sistema solar térmico "SST"</i>	<i>21</i>
<i>Figura 1.6</i>	<i>Funcionamiento de la Bomba de Calor</i>	<i>23</i>
<i>Figura 2.1</i>	<i>Matriz Causa – Efecto</i>	<i>29</i>
<i>Figura 2.2</i>	<i>Analizador de gases "Bacharach"</i>	<i>32</i>
<i>Figura 2.3</i>	<i>Termómetro digital</i>	<i>35</i>
<i>Figura 2.4</i>	<i>Termo higrómetro</i>	<i>36</i>
<i>Figura 2.5</i>	<i>Pirómetro</i>	<i>36</i>
<i>Figura 2.6</i>	<i>Piranómetro</i>	<i>37</i>
<i>Figura 3.1</i>	<i>Sistema de calentamiento de agua de la piscina "Carlos Costales"</i>	<i>46</i>
<i>Figura 3.2</i>	<i>Paredes laterales de la piscina</i>	<i>53</i>
<i>Figura 3.3</i>	<i>Superficie de fondo de la piscina</i>	<i>54</i>
<i>Figura 3.4</i>	<i>Análisis de las pérdidas de calor para diferentes condiciones de funcionamiento</i>	<i>56</i>
<i>Figura 3.5</i>	<i>Análisis de la eficiencia de la caldera</i>	<i>59</i>
<i>Figura 3.6</i>	<i>Consumo de combustible</i>	<i>60</i>
<i>Figura 3.7</i>	<i>Temperatura del agua de la piscina</i>	<i>61</i>
<i>Figura 3.8</i>	<i>Resultado de la eficiencia de la combustión</i>	<i>64</i>
<i>Figura 4.1</i>	<i>Parámetros utilizados en una instalación solar térmica</i>	<i>66</i>
<i>Figura 4.2</i>	<i>Configuración básica de una instalación solar térmica</i>	<i>67</i>
<i>Figura 4.3</i>	<i>Ciclo diario de radiación en Riobamba</i>	<i>68</i>
<i>Figura 4.4</i>	<i>Ciclo diario de radiación en Riobamba</i>	<i>70</i>
<i>Figura 4.5</i>	<i>Tipos de colectores solares</i>	<i>71</i>

ELEMENTOS DEL DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

En la actualidad la energía en forma de calor es un recurso ampliamente utilizado, sin embargo la utilización de energías renovables y limpias en varios lugares es bastante limitado lo que representa un alto consumo de combustibles fósiles y por lo tanto un importante costo medioambiental.

El uso ineficiente de la energía es un problema a nivel mundial porque utiliza cantidades excesivas de los escasos recursos no renovables, al incrementar la eficiencia de la energía, se reduce el uso de recursos de energía, por lo que de este modo se retarda su agotamiento, se disminuye los impactos negativos sobre el medio ambiente y la salud. En el continente Americano varios países como Cuba, Nicaragua, Chile, Perú y Brasil han apostado por generar estrategias que les permita utilizar energías limpias y dejar la dependencia de los hidrocarburos y proyectos carboníferos, ya que el actual modelo energético es insostenible, lo que conlleva necesariamente a pensar en un futuro energético combinado racionalmente para hogares, piscinas, hospitales, hoteles y procesos industriales, (Linkohr, 2006).

En el Ecuador se ha optado por una política que incurre en la utilización de fuentes de energía limpia y renovable de tal forma que se minimice la contaminación ambiental y se fomente el desarrollo y la implementación de equipos que utilicen energía producida dentro del país como la eléctrica.

Calentar el agua de una piscina significa un uso de energía muy alto por lo que una producción más limpia en este proceso significa una de las aplicaciones más lógicas, aunque en cuestión de números representa una inversión inicial mayor comparada con los sistemas instalados convencionalmente como es el calentamiento con derivados de petróleo. En la ciudad de Riobamba actualmente se utiliza los sistemas convencionales de energía en el calentamiento de agua de las piscinas existentes, en donde no se ejerce un control adecuado de la contaminación producida por la utilización de hidrocarburos.

En este escenario se enmarca la situación problemática, argumentada a partir de los siguientes planteamientos:

La piscina del Complejo de Natación “Carlos Costales”, es semiolímpica, el agua se calienta a través de un calentador a diésel, la falta de ingresos económicos y el alto costo de mantenimiento hicieron que el complejo cierre las instalaciones por algún tiempo, actualmente la piscina se encuentra en funcionamiento de martes a domingo en un horario ininterrumpido desde las 07H00 hasta las 20H00, es utilizada para la formación de niños, jóvenes y adultos de la provincia, en lo que conlleva a la disciplina deportiva de natación y su administración está a cargo de la Federación Deportiva de Chimborazo.

A través de una inspección se identificó que la temperatura alcanzada no es la adecuada ya que no se tiene un abastecimiento oportuno de combustible, esto provoca que en algunas ocasiones no se pueda calentar el agua de la piscina por varios días lo que genera malestar en los usuarios. Si no se corrige el problema del sistema de calentamiento de agua se corre el riesgo de reducir el número de usuarios afectando así los ingresos económicos y el desarrollo deportivo de la provincia en la disciplina de natación, además de una eminente contaminación ambiental.

Una posible solución para alcanzar la temperatura adecuada del agua de la piscina es la utilización de un sistema de calentamiento combinado, ya sea con la utilización de energía eléctrica o paneles solares, lo que reducirá el uso de hidrocarburos y la contaminación ambiental producida al calentar agua.

Justificación de la investigación

La presente investigación estará enfocada en el estudio de los sistemas de calentamiento de agua para la reestructuración e implantación en una piscina semiolímpica en la ciudad de Riobamba, actualmente el calentamiento de agua se realiza mediante una caldera que consume diésel y el abastecimiento inadecuado de combustible genera ineficiencia en el sistema de calentamiento de agua de la piscina, puesto que al no disponer del combustible necesario el agua no alcanza a permanecer en el rango ideal de 24 a 28 °C e incluso en varias ocasiones no se calienta varios días generando malestar en los usuarios, los mismos que prefieren no utilizar las instalaciones.

El aporte de este estudio permitirá obtener un menor costo y mayor eficiencia en la operación de la piscina, favoreciendo de esta manera a la Federación Deportiva de Chimborazo que está a cargo de la misma, como a los usuarios que en su gran mayoría son deportistas los mismos que se forman para distintas competencias nacionales, para estos se cuenta con el apoyo de la FDCH que está de acuerdo con el desarrollo investigativo y prestará todas las facilidades para que se pueda tomar datos y mediciones, los cuales permitan conocer la realidad del funcionamiento de la piscina, con el fin de establecer los correctivos necesarios y además en un futuro de acuerdo a los resultados económicos pensar en la implementación de un sistema de calentamiento de agua combinado y de alta eficiencia.

Según (Castells, 2012) por razones ambientales es necesario promover el uso de energía limpia, siendo la energía eléctrica una opción que se puede utilizar para el calentamiento de agua, garantizando de esta manera la temperatura óptima del agua para los usuarios que les permitirá gozar del confort y beneficios en el complejo de natación.

Delimitación problema y objeto:

El problema a investigar queda delimitado al sistema de calentamiento de agua de la piscina del Complejo de Natación “Carlos Costales”, en la ciudad de Riobamba.

Problema de investigación

Insuficiencia energética del sistema de calentamiento de agua para la obtención de la temperatura óptima en la piscina del Complejo de Natación “Carlos Costales”, en la ciudad de Riobamba.

Objeto de estudio

Sistema de calentamiento de agua de la piscina del Complejo de Natación “Carlos Costales”, en la ciudad de Riobamba.

Objetivo y campo de acción:

Objetivo general

- Realizar el diagnóstico energético del sistema de calentamiento de agua en la piscina del Complejo de Natación Carlos Costales de la ciudad de Riobamba, para plantear un sistema eficiente mediante el uso de fuentes alternativas de energías que permitan alcanzar la temperatura adecuada.

Campo de acción de la investigación

- Gestión y eficiencia energética.

Objetivos específicos

- Desarrollar una auditoria energética preliminar.
- Determinar la cantidad de calor necesario para alcanzar la temperatura adecuada del agua en la piscina.
- Plantear un sistema de calentamiento de agua eficiente y que utilice energías alternativas.
- Realizar un estudio de impactos de la propuesta.

Sistema de tareas por objetivos específicos

Objetivos específicos	Tareas por Objetivos	Métodos y Técnicas de investigación
Desarrollar una auditoria energética preliminar.	<ul style="list-style-type: none">- Inspeccionar el estado físico de los equipos y la caldera.- Tomar datos de las placas de la caldera y de los equipos que consuman energía.- Medir la temperatura del agua en el interior de la piscina.	<ul style="list-style-type: none">- Observación – ficha de registro- Medición

	<ul style="list-style-type: none"> - Medir la cantidad de gases que se producen durante la combustión. 	
<p>Determinar la cantidad de calor necesario para alcanzar la temperatura adecuada del agua en la piscina.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Medir la humedad relativa del ambiente con la utilización de un higrómetro. - Medir el flujo de agua del sistema de bombeo de la piscina. - Cuantificar el consumo de diésel que se utiliza en el actual sistema de calentamiento de agua. - Hacer un balance de energía que determine la cantidad de calor necesaria para calentar el agua hasta su temperatura óptima. 	<ul style="list-style-type: none"> - Medición - Cálculos - ecuaciones
<p>Plantear un sistema de calentamiento de agua eficiente y que utilice energías alternativas.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Consultar la bibliografía relevante de sistemas de calentamiento de agua en piscinas. - Utilizar los cálculos del balance de energía para seleccionar el sistema adecuado que satisfaga las necesidades de calentamiento de agua de la piscina. 	<ul style="list-style-type: none"> - Revisión bibliográfica - Cálculos - ecuaciones
<p>Realizar un estudio de impactos de la propuesta.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Establecer las ventajas económicas y ambientales de la utilización de un sistema de calentamiento alternativo. - Determinar el costo de la inversión al implementarse el sistema de calentamiento de agua utilizando energías alternativas. 	<p>Cálculos – ecuaciones</p>

Fuente: Autor

HIPÓTESIS:

El diagnóstico energético del sistema de calentamiento de agua permitirá plantear un sistema eficiente de energía basado en fuentes alternativas que alcance la temperatura adecuada en la piscina y reduciendo su costo de calentamiento en el Complejo de Natación “Carlos Costales”, en la ciudad de Riobamba.

CAPÍTULO 1

MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

En el presente capítulo se presentan conceptos y definiciones de términos fundamentales del proceso de calentamiento de agua de una piscina y su relación con la eficiencia energética los mismos que servirán de guía para el desarrollo de la investigación.

1.1 Antecedentes del estudio

En la Guía de eficiencia energética en instalaciones deportivas de la (Fundación de la energía de la Comunidad de Madrid, 2008) se menciona que no siempre un mayor consumo energético equivale a un mayor confort o a un mejor servicio, se conseguirá un grado de eficiencia cuando estos dos parámetros estén en la proporción adecuada.

Según (Piriz, 2009), para determinar un nuevo sistema que puede reemplazar a un medio de calentamiento de una piscina ya establecido anteriormente, primero se debe realizar una auditoria donde se pueda definir los parámetros y factores que se tomarán en cuenta para el estudio de eficiencia y mejoras, hay que analizar el consumo de energía, buscar pérdidas y finalmente establecer un balance energético y económico para precisar si es o no conveniente reemplazar el sistema de calentamiento.

Este trabajo se relaciona con la investigación que se va a llevar a cabo dentro de este proyecto, porque propone un sistema que permite el ahorro de energía para una piscina, como también desarrolla los cálculos pertinentes basándose en planos y datos de campo.

Un segundo trabajo llevado a cabo por (Wolfgang, 2014) menciona que “El análisis en profundidad mostró que las instalaciones con menor consumo de energía utilizan intercambiadores de calor y bombas de calor para recuperar la energía del agua y el aire salientes. La energía se utiliza entonces para calentar el aire entrante, el agua de la piscina y el agua del grifo. Sin embargo, se puede ver que incluso las mejores instalaciones de natación tienen margen de pérdidas y mejoras”.

La investigación detallada anteriormente se relaciona con este proyecto ya que facilita los modelos más eficientes que existen actualmente para poder calentar una piscina, así como también muestra la forma de cómo se puede aprovechar la energía residual que lleva el agua ya consumida o que va a ser desechada, se identifica las instalaciones energéticamente eficientes y se realiza un análisis en profundidad para poder determinar sus características y describir cómo lograr este bajo consumo de energía.

En un tercer estudio “Análisis de la eficiencia energética de una piscina pública climatizada mediante energía solar térmica y biomasa” realizado por (López, García, Segador, Encinas, & Cuadros, 2012) se dice que una piscina climatizada es una edificación que requiere energía térmica en grandes cantidades, se analiza toda la infraestructura, pérdidas por mal aislamiento y se logra encontrar la eficiencia de la misma.

La presente investigación se relaciona con este proyecto porque en esta se hace el estudio de la eficiencia energética de la piscina que es el objetivo primordial de la investigación que se va a realizar, además muestra sistemas de calentamiento instalados y ya en operación que pueden dar resultado para ponerlo en práctica en este estudio.

1.2 **Fundamentación teórica**

1.2.1 *Auditoría Energética*

Hoy en día el ahorro y calidad de energía es un aspecto de vital importancia desde diferentes puntos de vista como son el operativo, técnico y económico, es así que en una auditoría energética se determina las pérdidas de energía y potenciales de ahorro para realizar posibles mejoras que reflejen oportunidades de reserva económica.

En (Vergara & Muñoz, 2011) se dice que, “La auditoría energética es un proceso sistemático mediante el que:

- Se obtiene un conocimiento suficiente y fiable del consumo energético del sistema
- Se detectan los factores que afectan al consumo de energía

- Se identifican, evalúan y ordenan las distintas oportunidades de ahorro de energía en función de su rentabilidad”

Según (Restrepo, 2003) una auditoría energética surge a partir de los diagnósticos energéticos y puede ser de cuatro tipos:

1.2.2 *Diagnóstico de primer grado*

Toma en cuenta la inspección visual del estado de conservación de las instalaciones y equipos, en el análisis de los registros de operación y mantenimiento de rutina diaria que se llevan en cada instalación, así como, el análisis de información estadística de consumos y pagos por concepto de energía eléctrica y combustible.

1.2.3 *Diagnóstico de segundo grado*

En este punto se realiza el desarrollo del balance másico y térmico en condiciones reales de operación de áreas, equipos y sistemas para determinar su eficiencia energética e índices de consumos.

1.2.4 *Diagnóstico de tercer grado*

Se determina la disponibilidad de la energía. Además del balance másico y térmico, se desarrolla el balance exergético, entrópico y termo económico de cada equipo del sistema en las condiciones reales de operación, así como también las pérdidas de calidad y cantidad de la energía y sus causas.

1.2.5 *Diagnóstico de cuarto grado*

Finalmente en este nivel se utilizan técnicas de simulación de procesos con la finalidad de estudiar no solo las condiciones de operación nominales sino las condiciones ideales de operación de equipos y sistemas térmicos.

1.2.6 *Eficiencia energética*

Según (Acciona) “La eficiencia energética consiste en reducir la cantidad de energía requerida para proporcionar los mismos productos y servicios, buscando la generación de energías renovables y protegiendo el medio ambiente. La consecuencia de la eficiencia energética es el ahorro energético, que se traduce en una mayor eficiencia y menor consumo de energía”.

A nivel global implica suplir los servicios energéticos requeridos para cumplir con calidad el objeto social de la entidad con el mínimo consumo y costo de portadores energéticos y el menor impacto ambiental asociado. Para un equipo o sistema significa menos consumo y costo energético por unidad de producto o servicio prestado. Se evalúa a través de indicadores de eficiencia energética (Borroto, 2006).

La evaluación y el diagnóstico del consumo de energía son parámetros que permiten identificar aspectos de un sistema que funcionan bien y otros que pueden mejorarse, con la ejecución de una auditoría se pretende lograr resultados positivos en el ahorro energético entre ellos:

- Disminuir el consumo de energía con lo que se reduce las emisiones de CO₂ colaborando así a la conservación del medio ambiente.
- Reducir de costos por la optimización del consumo energético.
- Prolongar el tiempo de vida útil de los equipos gracias a un mantenimiento adecuado de los mismos.

1.2.7 *Sistema de Gestión Eficiente de Energía*

Un sistema de Gestión Eficiente de Energía utiliza herramientas de trabajo, las cuales permiten realizar diagnósticos energéticos capaces de detectar las pérdidas que se producen en el sistema, para posteriormente establecer medidas de ahorro y conservación de energía.

Según (Martínez, 2014) para elevar la eficiencia energética hay dos vías fundamentales no excluyentes entre sí:

- Mejor gestión energética y buenas prácticas de consumo
- Tecnología y equipos eficientes

Cualquiera de las dos contribuyen a disminuir el consumo de energía pero las dos juntas permiten alcanzar la máxima eficiencia.

En el primer caso la inversión es menor pero también se reduce la capacidad de ahorro de energía y están inmersos los hábitos de consumo, la segunda vía requiere inversiones más costosas, pero el potencial de ahorro es más alto y asegura mayor permanencia en los mismos.

Entre las herramientas básicas que se pueden utilizar en gestión de energía para determinar las condiciones de operación típicas en una empresa e indicadores de comparación se tiene:

- Diagrama de Pareto
- Histogramas
- Selección ponderada
- Diagrama causa y efecto
- Diagrama de dispersión estratificación
- Gráficos de control

1.2.8 *Diagrama de Pareto*

Está inspirado en el principio pocos vitales y muchos útiles, es decir la Ley 80-20, que interpreta que del total de problemas que causan la ineficiencia energética de una empresa, solo unos cuantos de ellos afectan de manera vital su competitividad, mediante una representación gráfica o tabular permite identificar en una forma decreciente los aspectos que se presentan con mayor frecuencia o bien que tienen una incidencia o peso mayor para establecer en dónde se deben concentrar los mayores esfuerzos en el análisis de las causas de un problema, (Restrepo, 2003).

En la figura 1.1 se muestra una representación gráfica del Diagrama de Pareto:

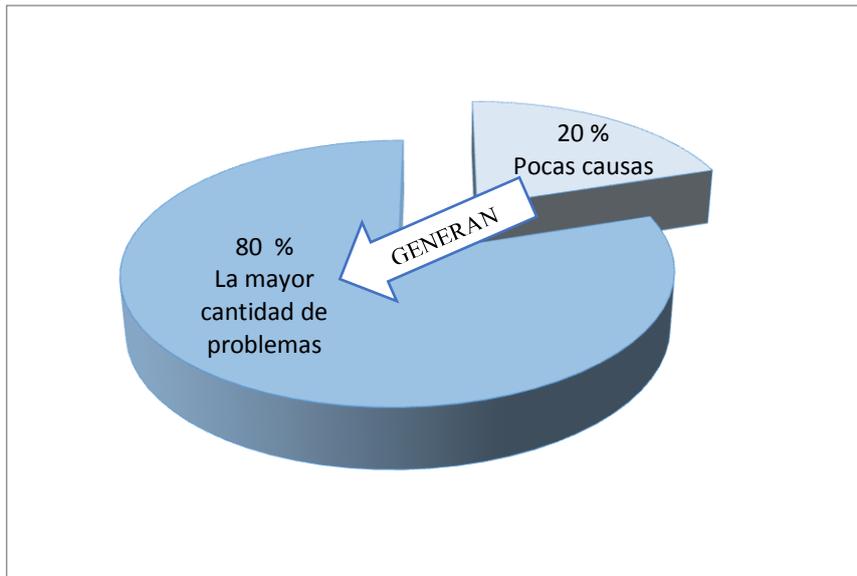


Figura 1.1 Diagrama de Pareto

Fuente: Autor

1.2.9 Gráficos de control

Son diagramas lineales que representan el comportamiento de una variable en función de ciertos límites, entre ellos se encuentra el gráfico de consumo y producción en el tiempo, el gráfico se realiza para cada portador energético importante a nivel de la empresa, área o equipo (Martínez, 2014).

1.2.9.1 Utilidad de los gráficos E-P vs. T

- Muestran períodos en que se producen comportamientos anormales de la variación del consumo energético con respecto a la variación de la producción.
- Permiten identificar causas o factores que producen variaciones significativas de los consumos.

1.2.9.2 Variaciones anormales en el gráfico E-P vs. T

Generalmente debe ocurrir que un incremento de la producción produce un incremento del consumo de energía asociado al proceso y viceversa. Comportamientos anómalos son:

- Incrementa la producción y decrece el consumo de energía
- Decrece la producción y se incrementa el consumo de energía

- La razón de variación de la producción y el consumo

1.3 **Transferencia de calor**

La transferencia de calor es un proceso de intercambio de energía entre cuerpos de diferentes temperaturas tomando en cuenta la rapidez con la que esto ocurre, existen tres modos de transferencia de calor: conducción, convección y radiación.

1.3.1 *Conducción*

Es el transporte de energía térmica de una región de alta temperatura a una de baja temperatura entre medios (líquido y gases) que se encuentra en contacto físico directo, se utiliza la ley de Fourier de la conducción de calor para determinar la rapidez de transferencia de calor que fluye por unidad de tiempo de una superficie isotérmica (Valenzuela, 2003).

1.3.2 *Convección*

Es un modo de transferencia de calor cuya energía térmica se transmite de una región de alta temperatura a una de baja temperatura, entre un medio sólido con un fluido en contacto físico directo, se utiliza la ley de Newton, donde la rapidez de transferencia de calor está relacionada con la diferencia de temperaturas entre la pared y el fluido y el área de la superficie (Valenzuela, 2003)

1.3.3 *Radiación*

Es el transferencia de energía térmica de una región de baja a una de alta temperatura entre medios que se encuentran separados una distancia, para expresar este efecto se utiliza la ley de Stefan - Boltzman, donde la rapidez de transferencia de calor está relacionada con la diferencia de temperaturas a la cuarta potencia. (Valenzuela, 2003)

1.4 **Generador de vapor a diésel**

En la figura 1.2 se muestra un sistema formado por una caldera y sus accesorios, destinado a producir vapor o calentar agua, mediante la combustión de un hidrocarburo

en este caso el diésel a una temperatura superior a la del ambiente y presión mayor que la atmosférica. La estructura real de un generador de vapor dependerá del tipo sin embargo de manera general se puede mencionar las siguientes partes: quemador, hogar, tubos de intercambio, separador líquido – vapor, chimenea y carcasa.



*Figura 1.2 Generador de vapor
Fuente: (Comunidad de Madrid)*

1.4.1 Partes de un generador de vapor

Las principales partes de un generador de vapor son las siguientes:

- **Quemador:** sirve para quemar el combustible.
- **Hogar:** alberga el quemador en su interior y en su interior se realiza la combustión del combustible utilizado y la generación de los gases calientes.
- **Tubos de intercambio de calor:** el flujo de calor desde los gases hasta el agua se efectúa a través de su superficie. También en ella se genera las burbujas de vapor.
- **Separador líquido-vapor:** es necesario para separar las gotas de agua líquida con los gases aún calientes, antes de alimentarla a la caldera.
- **Chimenea:** es la vía de escape de los humos y gases de combustión después de haber cedido calor al fluido.
- **Carcasa:** contiene el hogar y el sistema de tubos de intercambio de calor.

1.5 Gases de combustión en una caldera

En el artículo del análisis comparativo de gases de combustión de calderas de (Muños, 2012) se menciona que la combustión es una reacción química de oxidación en la que varios elementos como carbono, hidrógeno y azufre presentes en combustibles (diésel, gas, carbón, madera entre otros) se combinan con el oxígeno para provocar un desprendimiento de energía en forma de luz y calor.

1.5.1 Aire de combustión

El aire atmosférico se ocupa en el proceso de combustión y mantener su flujo es fundamental para asegurar una completa combustión. En un proceso real el volumen ideal de oxígeno no es suficiente para un quemado completo por lo que se debe suministrar una cantidad adicional a la que se le conoce como valor de exceso de aire, cuando se eleva este valor se reducen las temperaturas de combustión y aumentan la pérdida de energía. Cuando el exceso de aire es mínimo no se queman todos los componentes del combustible es decir baja el rendimiento de combustión y hay un aumento de la polución. (Muños, 2012).

En la figura 1.3 se observa como baja la eficiencia de la combustión cuando hay mayor porcentaje de exceso de aire.

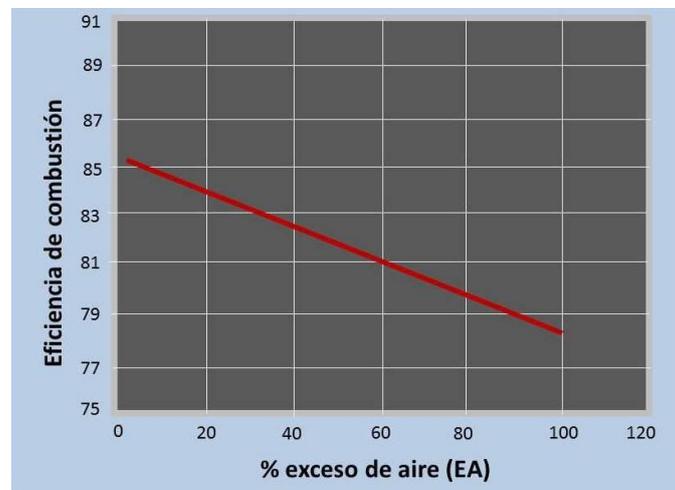


Figura 1.3 Eficiencia de la combustión contra exceso de aire
Fuente: (Muños, 2012)

1.5.2 *Productos de la combustión*

Los gases generados en el proceso de combustión se denominan gases de combustión o gases de chimenea estos dependen del tipo de combustible, de las condiciones en horno y de la proporción de aire, los principales son:

Nitrógeno (N₂): Alimenta a la combustión como parte del aire de combustión pero no interviene directamente en este proceso, actúa como un material de lastre y como transporte del calor de los residuos. Valores típicos en los gases de combustión son los siguientes: 78 – 80 %.

Dióxido de carbono CO₂: se produce en todos los procesos de combustión, aporta al efecto invernadero gracias a su capacidad de filtrar la radiación de calor. Valores típicos en los gases de combustión del petróleo son de 12,5 – 14 %.

Vapor de agua H₂O: el hidrógeno contenido en el combustible reacciona con el oxígeno y forma agua que a altas temperaturas se convierte en vapor contenido en los gases de combustión los cuales salen por la chimenea transportando calor.

Oxígeno (O₂): La porción de oxígeno que no se consume en el proceso de combustión permanece como parte de los gases y es una medida para determinar el rendimiento del proceso. Valores típicos en los gases de combustión en instalaciones modernas están entre 2 – 6 %.

Monóxido de carbono (CO): se forma durante una combustión incompleta del carbono y otros materiales que contienen carbón. Valores típicos para combustibles sólidos van entre 200-1 000 ppm. (Muños, 2012)

1.5.3 *Pérdida de calor debido a la combustión*

Los productos de combustión poseen energía térmica de acuerdo a su temperatura, este calor esta cantidad de energía disponible que puede ser convertida en útil es mayor cuando los gases de la combustión salen más fríos del proceso de calentamiento, esto indica una mayor eficiencia en el aprovechamiento de la energía térmica. (Serrano & Carranza, 2005)

1.5.4 *Productos de la combustión*

Según (Clayton, Sistemas Integrales de Vapor) matemáticamente la eficiencia de la combustión en un generador de vapor está determinada en función de:

- Agua procedente de la combustión del hidrógeno
- Humedad en el aire
- Gases secos de la chimenea
- Combustión incompleta
- Hidrógeno o hidrocarburos sin quemar, radiación y otras pérdidas

1.6 **Temperatura óptima del agua en una piscina**

“Una piscina es un espacio artificial creado en un terreno en el cual se abre un pozo que se cubre con concreto o con otros materiales firmes y se rellena con agua con fines recreativos” (www.definicionabc.com).

(Vázquez, 2011) En su manual de instalaciones en piscinas manifiesta que es importante tomar en cuenta la capacidad de agua y el aforo del vaso, de tal forma que en los momentos de mayor concurrencia de bañistas se disponga como mínimo de 2 m² de lámina de agua por cada uno de ellos, el agua contenida es depurada al ser aspirada en su superficie empleando unas espumaderas.

La temperatura óptima de agua de la piscina está en función de los usuarios y se puede tomar como referencia la tabla 1.1:

Tabla 1.1 Temperatura óptima del agua de la piscina

Temperaturas óptimas del agua	
Competición	24 °C
Entrenamiento	26 °C
Enseñanza y recreo	25 °C
Disminuidos físicos	29 °C
Piscina infantil	30 °C
Niños de 3 a 6 años y tercera edad	32 °C
Mujeres embarazadas	32 °C

Fuente: (Ciatesa, 2005)

1.6.1 *Pérdidas de calor presentes en las instalaciones de una piscina*

Las pérdidas de calor que pueden existir en un sistema de calentamiento de agua de una piscina se pueden dar de las siguientes formas:

- Pérdidas por evaporación
- Pérdidas por radiación
- Pérdidas por convección
- Pérdidas por renovación
- Pérdidas por conducción o transmisión

1.6.1.1 *Pérdidas por evaporación en una piscina*

El agua al evaporarse del vaso de la piscina absorbe calor por lo que se produce un enfriamiento del sobrante del agua que no se evapora, es decir, disminuye la temperatura del agua del vaso. Por lo tanto, cuanto más evaporación exista más se enfriará el agua de la piscina y mayores serán las necesidades que habrá que aportar para mantener la temperatura de la misma. (MAILLO, 2005)

1.6.1.2 *Pérdidas por radiación en una piscina*

Las pérdidas por radiación están en función de la diferencia, entre la temperatura media de los cerramientos y la temperatura del agua.

1.6.1.3 *Pérdidas por convección en una piscina*

Al igual que las pérdidas por radiación en el caso de piscinas cubiertas las pérdidas por convección también se suelen despreciar, ya que al aplicar la fórmula el valor resultante es pequeño, pues la diferencia de temperaturas también lo es. (MAILLO, 2005)

1.6.1.4 *Pérdidas por renovación en una piscina*

En una piscina cubierta, existen pérdidas continuas de agua, desde la evaporada, a la que los propios bañistas sacan del vaso, o la gastada en la limpieza de fondos y filtros. Sin embargo, estas cantidades son muy inferiores al 5% del volumen total del vaso que

obligatoriamente por normativa, debido a razones higiénicas sanitarias, debe reponerse diariamente.

Esta renovación conlleva que las pérdidas de calor, por este concepto sean importantes, y en todo caso, dependerán de la temperatura de agua de la red y de la temperatura del agua de la piscina que se pretenda alcanzar. (MAILLO, 2005)

1.6.1.5 Pérdidas por conducción o transmisión en una piscina

Dependerán de las características constructivas del vaso (enterrado, visto, etc.) y del coeficiente de transmisión térmica del material empleado. En el caso más habitual de vaso de hormigón construido dentro del propio sótano del recinto las pérdidas por transmisión. (MAILLO, 2005)

1.7 Calentamiento de agua en una piscina con energía alternativa

En la actualidad existen algunas opciones para lo que se refiere al calentamiento de agua de una piscina ya sea para uso doméstico o industrial, como son:

- Calentadores solares
- Bombas de calor: figura 1.4



Figura 1.4 Sistema de bombeo de recirculación
Fuente: (AquaCal AutoPilot, Inc., 2013)

1.7.1 Calentadores solares

Los calentadores solares son aparatos que utilizan el calor del sol (energía solar) para calentar agua por medio de tubos de vidrio al vacío, para uso en casas, albercas, negocios e industrias.

En muchos climas un calentador solar puede disminuir el consumo energético utilizado para calentar agua. Tal disminución puede llegar a ser de hasta 50%-75% o inclusive 100% si se sustituye completamente, eliminando el consumo de gas o electricidad.

1.7.1.1 *Energía solar*

La energía solar es una fuente de energía renovable que se está desarrollando en los últimos años y con mayores expectativas para el futuro. Cada año el sol arroja sobre la tierra cuatro mil veces más energía que la que se consume, lo que demuestra que esta fuente energética está aún infravalorada y sobre todo poco explotada en relación a sus posibilidades. El aprovechamiento de la energía solar consiste en captar por medio de diferentes tecnologías la radiación del sol que llega a la tierra con el fin de emplear esa energía para diferentes usos, como calentar agua, generar electricidad, etc. (PEÑAFIEL SARAGURO & SILVA, 2012)

1.7.1.2 *Radiación solar*

La radiación solar es el flujo de energía que recibimos del sol en forma de ondas electromagnéticas de diferentes frecuencias (luz visible, infrarroja y ultravioleta). La luz visible son las radiaciones comprendidas entre 0,4 μm y 0,7 μm pueden ser detectadas por el ojo humano. Existen radiaciones situadas en la parte infrarroja del espectro de la cual una parte es ultravioleta.

Existen diferentes tipos de radiaciones:

- Radiación directa: llega directamente del sol sin haber sufrido cambio alguno en su dirección. Se caracteriza por proyectar una sombra definida de los objetos opacos que la interceptan.
- Radiación Difusa: Parte de la radiación que atraviesa la atmósfera es reflejada por las nubes o absorbida por éstas. Esta radiación se denomina difusa, va en todas las direcciones, como consecuencia de las reflexiones y absorciones, no solo de las nubes sino de las partículas de polvo atmosférico, montañas, etc. Este tipo de radiación se caracteriza por no producir sombra alguna respecto a los objetos opacos interpuestos.

- Radiación Reflejada: Es aquella reflejada por la superficie terrestre. La cantidad de radiación depende del coeficiente de reflexión de la superficie. Las superficies verticales son las que más radiación reflejada reciben.
- Radiación global: Es la radiación total. Es la suma de las tres radiaciones.

1.7.1.3 Sistema solar térmico “SST”

El sistema solar térmico (SST) se encarga de transformar la energía radiante del Sol en energía térmica acumulada en el agua caliente y que luego puede ser usada de diferentes maneras. Es un conjunto de equipos y componentes que conforman una instalación solar térmica, que permite el aprovechamiento de la energía solar para la producción de agua caliente sanitaria (ACS), para el consumo doméstico.

1.7.1.4 Principio de funcionamiento de un Sistema Solar Térmico “SST”

En la figura 1.5 se muestra como funciona un sistema solar térmico que está formado por un sistema de captación, un sistema de acumulación, un sistema de intercambio y un sistema de apoyo tal como se detalla a continuación:

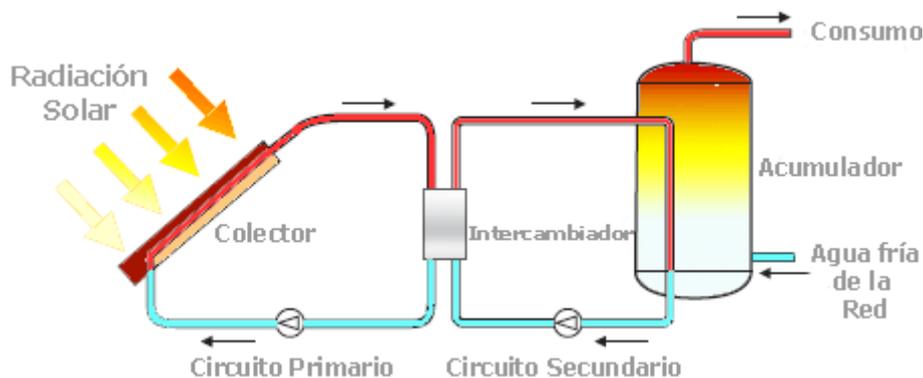


Figura 1.5 Funcionamiento del sistema solar térmico “SST”

Fuente: (SOLAR, 2010)

- Sistema de captación: es aquí donde se transforma la radiación solar incidente en energía térmica aumentando la temperatura de un fluido llamado fluido de trabajo. Es el colector solar. El fluido de trabajo, puede ser el agua de la llave

que pasa directamente por el colector o un fluido que luego intercambia el calor con el sistema (como se verá más adelante).

- Sistema de acumulación: almacena el agua caliente hasta que se requiera su uso. Este es el depósito acumulador.
- Sistema de intercambio: realiza la transferencia de energía térmica entre el fluido de trabajo, que circula por el circuito primario, y el del circuito secundario (agua de consumo).
- Sistema de apoyo (auxiliar o de respaldo): complementa el aporte solar suministrando la energía necesaria para cubrir el consumo previsto. En algunos aspectos, este sistema no se considera incluido en el SST. Generalmente se usa un calefón. (QUINTEROS MASSARDO, 2012)

1.7.2 *Bombas de calor*

Las bombas de calor son un sistema de climatización que tiene como objetivo aportar calor a un espacio. Su mecanismo se basa en un ciclo de refrigeración reversible, es decir, son capaces de aportar calor y calentar el agua sanitaria, como de aportar frío.

Este sistema de calefacción absorbe el calor del aire exterior y lo transporta hacia el espacio interior, haciendo que se trate de un sistema de bajo consumo y ecológico, gracias a que su fuente principal de energía proviene del calor existente en el aire (FERROLI, 2016).

Sus ventajas más relevantes son:

- Bajo consumo eléctrico. Las bombas funcionan con un compresor que consume electricidad para transportar el calor, no para generarlo. Consigue importantes ahorros respecto a los sistemas de calentamiento tradicional como gas, electricidad o gasóleo.
- Son reversibles. Podemos usarlas también como aparatos de aire acondicionado durante los meses de verano.

- Respeto al medio ambiente. Consumen mucho menos energía que otro sistema de climatización, y no emiten CO₂ a la atmósfera.

Las bombas de calor suelen estar formadas por dos elementos: el grupo bomba de calor, que, a su vez también puede estar formada por unidad exterior e interior y el depósito de acumulación de ACS. Ambos elementos están unidos por un circuito compuesto del evaporador, un compresor, un condensador y una válvula de expansión.

1.7.2.1 Principio de funcionamiento de las Bombas de Calor

Con respecto a su funcionamiento, el fluido refrigerante que circula por ese circuito, y que es la base de la bomba, está a baja temperatura y a baja presión, y por tanto está en estado líquido. Al conectar la bomba, empieza a aspirar aire del exterior, que pasa a través del evaporador rodeando el punto donde está el fluido y absorbe el calor presente en el aire, evaporándose. El aire es expulsado al exterior de nuevo más frío que cuando fue absorbido como se muestra en la figura 1.6.

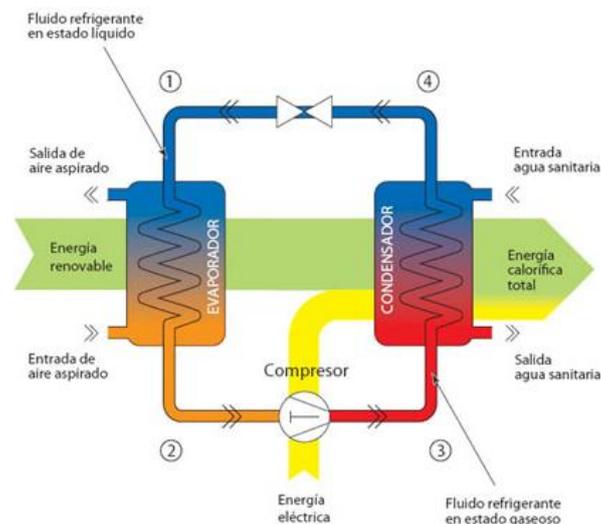


Figura 1.6 Funcionamiento de la Bomba de Calor
Fuente: (FRIO, 2014)

Después, el fluido, en forma de gas a baja presión, entra en el compresor. El compresor se encarga de aumentar la presión y la temperatura, convirtiendo el gas en líquido caliente.

Una vez el gas se convierte en fluido muy caliente, pasa al condensador, donde cede la energía al aire que lo rodea, calentándolo para enviarlo al interior de la habitación y, a medida que va cediendo toda la energía, condensándose y volviendo así a estado líquido.

Por último, el fluido pasa por la válvula de expansión para recuperar sus características iniciales (baja temperatura y baja presión) y comenzar de nuevo el ciclo. (FERROLI, 2016)

1.7.2.2 *Tipos de Bombas de Calor*

- Bomba a calor aire-aire: Estas bombas de calor pueden aprovechar el intercambio entre dos elementos iguales generando la liberación o ganancia de calor entre un recinto cerrado y el exterior, generalmente son las que encontramos en funcionamiento en los climatizadores de ambiente.
- Bomba a calor aire-agua: Absorben el aire del ambiente y generan un intercambio entre el mismo y el agua, restando calor al ambiente y entregándoselo al líquido.
- Bomba a calor agua-agua: Requiere de algunas características como la existencia de aguas subterráneas, las cuales tengan una temperatura constante de entre 7 ° C y 12 ° todo el año. La bomba intercambia calor entre esta agua subterránea y la red de agua de la casa.
- Bombas de calor geotérmicas: Estas bombas de calor extraen el calor contenido en el subsuelo, suelen ser realmente agua-agua, pero al realizar el intercambio contra el subsuelo (temperatura prácticamente constante), aportan rendimientos elevadísimos, tienen el inconveniente de la instalación, aunque, luego de su puesta a punto generan mayor rentabilidad que cualquier otra, pero su precio y requisitos son sus condicionantes (FERROLI, 2016).

1.8 Fundamentación legal

En el Ecuador se ha optado por una política que incurre en la utilización de fuentes de energía limpia y renovable de tal forma que se minimice la contaminación ambiental y se fomente el desarrollo y la implementación de equipos que utilicen energía producida dentro del país como la eléctrica.

En la constitución del Ecuador existen artículos que respaldan el uso de energías limpias, estos manifiestan lo siguiente:

Art. 15.- “El Estado promoverá en el sector público y privado, el uso de tecnologías ambientalmente limpias y de energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto. La soberanía energética no se alcanzará en detrimento de la soberanía alimentaria ni afectará el derecho al agua” (Medioambiente, 2010).

Art. 413.- “El Estado promoverá la eficiencia energética, el desarrollo y el uso de prácticas y tecnologías ambientalmente limpias y sanas, así como de energías renovables, diversificadas de bajo impacto y que no pongan en riesgo la soberanía alimentaria, el equilibrio ecológico de los ecosistemas ni el derecho al agua” (Medioambiente, 2010).

Para poder solucionar el problema mencionado anteriormente se establecen alternativas como la utilización de la energía solar y la energía eléctrica de tal forma que se minimice el consumo diésel en el complejo y se respete los artículos 15 y 143 de la constitución.

1.9 Definición de Términos Básicos

Con el propósito de que la presente investigación sea más entendible para todos a continuación se definen varios términos que le permitirán al lector juzgar en un contexto más amplio la necesidad del estudio:

- **PRESIÓN (P):** Se define como la fuerza normal que ejerce un fluido por unidad de área. Se habla de presión sólo cuando se trata de gas o líquido, mientras que la contraparte de la presión en los sólidos es el esfuerzo normal. (Cengel, 2007)

- ENTALPÍA (h): Es una magnitud termodinámica que indica la cantidad de energía que un sistema intercambia con su entorno. (Cengel, 2007)
- ENTROPIÍA (s): Es una propiedad extensiva, por lo tanto, la entropía total de un sistema es igual a la suma de las entropías de las partes del sistema. Un sistema aislado puede estar compuesto de cualquier número de subsistemas. (Cengel, 2007)
- CALOR (Q): Se define como la forma de energía que se transfiere entre dos sistemas (o entre un sistema y el exterior) debido a una diferencia de temperatura.
- CALOR ESPECÍFICO: se define como la energía requerida para elevar en un grado la temperatura de una unidad de masa de una sustancia. (Cengel Y. A., 2007)
- CALOR LATENTE: Es la energía interna asociada con el cambio de fase de un sistema, es decir de sólido a líquido (calor de fusión) o de líquido a gaseoso (calor de vaporización). (Cengel Y. A., 2007)
- CALOR SENSIBLE: Es aquel que recibe un cuerpo o un objeto y hace que aumente su temperatura sin afectar su estructura molecular y por lo tanto su estado. (Cengel Y. A., 2007)
- PODER CALORÍFICO: Es la cantidad total de energía contenida en el combustible y que se desprende en la combustión. (Corporación nacional para el ahorro de energía).

1.10 Conclusiones del capítulo

Considerando la importancia de toda la información recolectada de diferentes fuentes, se concluye al final de este capítulo que se tiene un amplio conocimiento sobre conceptualización de determinados temas que en el desarrollo de este proyecto investigativo será de gran utilidad, para comprender el entorno en el que se encuentra inmerso este estudio y de esta manera poder actuar de manera óptima ante cualquier inconveniente que se presente durante el desarrollo de este proyecto.

CAPITULO 2

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN UTILIZADA EN EL DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO DEL PROCESO DE CALENTAMIENTO DE AGUA DE UNA PISCINA

En este capítulo se muestra la metodología utilizada en la evaluación energética del sistema de calentamiento de agua de una piscina lo que nos permitirá conocer el grado de aprovechamiento de energía térmica y energía útil presente en el sistema. El objetivo de este capítulo es: determinar la eficiencia de la caldera y cuantificar el calor necesario en el sistema de calentamiento de agua del completo de natación Carlos Costales.

2.1 Modalidad de la investigación

El estudio para este proyecto se basa en seleccionar una alternativa que pueda reemplazar o ayudar a la caldera que está instalada para lograr suministrar energía al agua de la piscina y que tenga una temperatura óptima, estos parámetros pueden ser determinados a través de una investigación de campo y mediante el uso de variables cuantificables que permitan desarrollar un planteamiento matemático para demostrar las suposiciones planteadas.

Para el desarrollo del módulo descriptivo y la elaboración de los cálculos es adecuado llegar a una investigación bibliográfica, que permita insertar referencias, tomar ecuaciones, datos, técnicas y métodos que faciliten dichos cálculos.

2.2 Tipo de investigación

Para el desarrollo de este trabajo se va a realizar una investigación descriptiva donde se buscará especificar los parámetros necesarios para lograr la eficiencia energética en el complejo, se establecerá diversos aspectos como dimensiones o componentes del sistema de calentamiento actual, se estudiará e interpretará sistemas de calentamiento que funcionen con energías alternativas.

Otro tipo de investigación que se realizará es de tipo explicativo se dará a conocer la temperatura óptima, la cantidad de combustible que se utilizará en el caldero si se

instala un sistema secundario de apoyo teniendo en cuenta los beneficios que se puede brindar a la población y minimizando la contaminación ambiental.

2.2.1 Matriz causa y efecto

Es la representación de las causas que generan el problema de la investigación y las respectivas consecuencias, se determina las variables con las cuales se trabajará en el desarrollo de la investigación, es decir se designa a la causa más relevante como la variable independiente y al efecto que esta produce como la variable dependiente, en función de esto se presenta la matriz causa – efecto en la figura 2.1



Figura 2.1 Matriz Causa – Efecto
Fuente: Autor

En consecuencia las variables que se utilizarán en la siguiente investigación son:

Independiente: Diagnóstico energético (Temperatura adecuada del agua de la piscina.)

Dependiente: Sistema de calentamiento de agua.

2.2.2 Operacionalización de las variables

A continuación en las tablas 2.1 y 2.2 se muestra las matrices correspondientes a las variables dependiente e independiente con sus respectivos conceptos, así como la categoría, indicador y unidad de medida de cada una, esto servirá de guía para la toma de datos y cálculo de resultados.

Tabla 2.1 Variable dependiente: Sistema de calentamiento de agua

Concepto	Categoría	Indicadores	Unidad	Técnicas	Instrumentos
Es un proceso termodinámico que para elevar la temperatura del agua de la piscina utiliza un Caldero a diésel.	Portadores Energéticos	Consumo de diésel	m ³	Registro	Registro de datos
	Contaminación	Gases contaminantes	Ppm	Medición	Analizador de gases
	Dimensionamiento y tipo calentadores de agua	Área de transferencia de calor	m ²	Cálculo	Ecuaciones
		Rendimiento del calentador de agua	%	Cálculo	Ecuaciones
Energía requerida	Cantidad de calor	kJ	Cálculo	Ecuaciones	

Fuente: Autor

Tabla 2.2 Variable independiente: Diagnóstico energético (Temperatura óptima del agua de la piscina)

Concepto	Categoría	Indicadores	Unidad	Técnicas	Instrumentos
Es el nivel térmico necesario para satisfacer las condiciones de confort de los usuarios de la piscina	Dimensiones de la piscina	Volumen	m ³	Medición	Flexómetro
		Perímetro	m	Medición	Flexómetro
	Pérdida de energía	Temperatura del agua	° C	Medición	Termómetro
		Temperatura del aire	° C	Medición	Termómetro Pirómetro
		Humedad relativa	° C	Medición	Higrómetro
	Eficiencia Energética	Cantidad de calor	kJ	Cálculo	Ecuaciones

Fuente: Autor

2.3 Método de Investigación

El desarrollo de la presente investigación se lo realizará en base al método inductivo que va de un conocimiento específico a algo general, ya que es necesario conocer el funcionamiento actual del sistema de calentamiento de agua que utiliza diesel para acompañarlo de un sistema alternativo y determinar el área de transferencia de calor así como el dimensionamiento y número de colectores solares necesarios para elevar la temperatura del agua de la piscina.

También se utilizará el método deductivo para determinar la generalidad del objeto de estudio y llegar a un sistema específico de calentamiento de agua.

2.4 Técnicas e instrumentación de la investigación

Las técnicas e instrumentos que se utilizarán para determinar las características específicas de cada variable son:

- **Observación:** esta técnica permitirá observar el estado físico de los equipos y la caldera.
- **Medición:** consiste en la toma de datos, en este estudio se utilizarán medidor digital de temperatura, higrómetro, Flexómetro, analizador de gases.
- **Registro de datos:** se tomará en cuenta los datos históricos de temperatura de agua, mantenimiento realizado a los equipos que forman parte del sistema de calentamiento, consumo de combustible.
- **Cálculo:** para la utilización de esta técnica es necesario contar con bibliografía útil en donde se muestre ecuaciones que se pueda utilizar, los cálculos deben ser desarrollados en base a datos obtenidos por la medición y datos de placas de los equipos.

2.5 Diseño de la investigación

2.5.1 Procedimiento para análisis de gases de combustión

El análisis de los gases de combustión se lo realizará para determinar las cantidades y concentraciones de los mismos con el fin de mantener condiciones más seguras y eficientes, el primer paso es la medición de la temperatura de los gases y las concentraciones mediante la inserción de una sonda en los ductos para tomar una muestra de gas. Las concentraciones de los gases se pueden medir utilizando celdas electroquímicas y sensores infrarrojos colocados en los analizadores de gases. (Muños, 2012)

Para analizar los gases del presente estudio se utilizará un analizador de la marca BACHARACH PCA 3 cuya gráfica se muestra en la figura 2.2, el mismo que es un analizador manual de combustión y emisiones de categoría comercial, diseñado para el muestreo a demanda de hornos, calderas y artefactos livianos industriales, institucionales, comerciales y residenciales; ofrece características avanzadas de comunicación que le permiten localizar y analizar las pruebas de seguridad en combustión, además de los cálculos de la eficiencia de combustión y análisis ambientales. (BACHARACH, 2014)



Figura 2.2 Analizador de gases "Bacharach"
Fuente: (BACHARACH, 2014)

El analizador antes mencionado presenta los siguientes beneficios:

- Mide directamente y muestra en pantalla el O₂, temperaturas de gases, CO y NO_x.
- Calcula y muestra la eficiencia de combustión, exceso de Aire, CO₂, CO libre de aire, NO_x.
- Amplia pantalla con luz de fondo que muestra ocho diferentes valores simultáneos.
- Baterías desechables de larga vida con eliminador opcional de 120 VCA.
- Mediciones opcionales de Draft y NO_x.
- Siete combustibles programables a escoger: gas natural, diésel, gasóleo, combustóleo, keroseno, propano y carbón.
- Almacena hasta 100 pruebas para transferirlas a una PC o a impresora.

La descripción de la medición realizada con el analizador de gases se presenta en la tabla 2.3:

Tabla 2.3 Lista de datos de las pruebas de combustión

Nombre en pantalla	Descripción de la medición o cálculo
O ₂	% de oxígeno
CO	Monóxido de carbono
EFF	Eficiencia de la combustión
CO ₂	% de dióxido de carbono
T – STK	Temperatura del gas de descarga de la chimenea
T – AIR	La temperatura del aire ambiente/principal se mide ya sea de forma interna o con una termocupla externa opcional que se enchufa en el conector T-AIR del analizador
EA	% de exceso de aire
CO (#)	El nivel de ppm de monóxido de carbono referido al porcentaje de oxígeno
NO	Óxido nítrico
NO ₂	Dióxido de nitrógeno
NO _x	Óxidos de nitrógeno (NO y NO ₂ combinados)
SO ₂	Dióxido sulfúrico
NO (#)	El nivel de ppm de óxido nítrico referido al porcentaje de oxígeno
NO ₂ (#)	El nivel de ppm de dióxido de nitrógeno referido al porcentaje de oxígeno
NO _x (#)	El nivel de ppm de óxidos de nitrógeno referido al porcentaje de oxígeno
SO ₂ (#)	El nivel de ppm de dióxido sulfúrico referido al porcentaje de oxígeno
NO – T	Temperatura del sensor de óxido nítrico

Fuente: (BACHARACH, 2014)

2.5.2 Eficiencia del sistema

Para determinar la eficiencia del sistema y de la caldera es importante el cálculo matemático, donde mediante la interpretación de estos valores se podrá conocer si el sistema en realidad está funcionando de una manera satisfactoria para cumplir con las necesidades que este requiere.

Para los cálculos de pérdidas de calor es necesario conocer los datos de temperatura de agua de la piscina, red y reposición, temperatura y humedad en el aire, temperatura en las paredes de la piscina, así como el tamaño y volumen de la piscina.

En la tabla 2.4 se detalla la variable física que se va a medir, qué instrumento se utilizará para su medición, el parámetro medido y para qué cálculo se utilizarán.

Tabla 2.4 Variable física

Variable física	Instrumento de medida	Parámetro medido	Tipo de cálculo
Longitud	Flexómetro	Longitud de la piscina	Volumen
Temperaturas	Termómetro digital	Agua de la piscina Agua de la red Agua de reposición	Pérdidas de calor Eficiencia de la caldera.
Temperatura	Termo higrómetro	Temperatura del aire	Pérdidas de calor
Temperatura	Pirómetro	Temperatura de las paredes de la piscina	Pérdidas de calor
Humedad relativa	Termo higrómetro	Humedad del aire	Pérdidas de calor

Fuente: Autor

Las variables físicas como la temperatura del agua de reposición y la temperatura del agua de la piscina serán medidas cuando esta no se encuentra prestando servicios al público, los días en los cuales según el plan de mantenimiento y limpieza de la piscina están programados.

2.5.2.1 Número de ocupantes de la piscina

Este parámetro es importante dentro del cálculo matemático, específicamente en el análisis de las pérdidas de calor, la información será proporcionada por personal administrativo de la piscina en cuanto al número de ocupantes que esta tiene a diario.

2.5.2.2 Instrumentos de medida

- Termómetro digital con sonda intercambiable PT 100

En la figura 2.3 se observa un termómetro digital con sonda intercambiable:



Figura 2.3 Termómetro digital
Fuente: (DIRECTIDUSTRY, 2010)

Estos termómetros ofrecen una alta resolución y precisión en la toma de temperaturas, el modelo de precisión dispone de resolución de 0.1°C en el rango de -199.9 a +499.9°C y una precisión de $\pm 0.2^\circ\text{C}$ y las aplicaciones de este tipo de termómetro es específicamente de uso industrial, en la tabla 2.5 están las especificaciones respectivas:

Tabla 2.5 Especificaciones del termómetro digital

Especificaciones	
Rango	De -199.9 hasta 499.9°C
Resolución	0.1 °C
Precisión	$\pm 0.2^\circ\text{C}$
Batería	3 x 1.5 volt AAA
Vida estimada batería	2000 horas
Pantalla	10 mm LCD
Tipo de sensor	PT100
Dimensiones	25 x 56 x 128mm
Peso	130 Amos

Fuente: (GISIBERICA, 2015)

- **Termo higrómetro**



*Figura 2.4 Termo higrómetro
Fuente: (DIRECTIDUSTRY, 2010)*

Es un instrumento electrónico que en su versión más básica mide y muestra la temperatura (T) y humedad relativa (HR) como se muestra en la figura 2.4. Está compuesto por una carcasa, usualmente de plástico, en cuyo interior se encuentra alojada una tarjeta electrónica que procesa las señales provenientes de los sensores y nos permite la visualización de los valores de temperatura y humedad relativa en una pantalla de cristal líquido (LCD)

- **Pirómetro**

En la figura 2.5 se presenta un pirómetro óptico, instrumento que mide la temperatura de una sustancia sin la obligatoriedad de estar en contacto con ella.



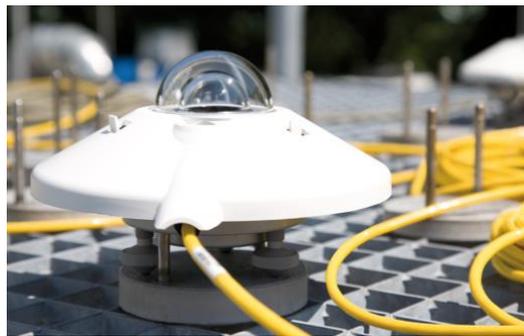
*Figura 2.5 Pirómetro
Fuente: (ISAIASGOLDMANSA, 2009)*

Es capaz de medir elevadas temperaturas. Su rango va de -50 grados Celsius hasta $+4000$ grados Celsius. Su principio básico es que todo objeto que tiene una temperatura mayor a los 0 Kelvin emite una radiación térmica y ésta es la que capta este instrumento de medida.

El pirómetro óptico, es capaz de medir la temperatura de una sustancia sin estar en contacto con ella, ya que mide la radiación que emana del cuerpo y con eso conoce la temperatura. Este instrumento mide la temperatura de objetos incandescentes comparando el color rojo de su filtro con el de un filamento incandescente cuya temperatura ya se conoce y se puede ajustar. Pueden llegar a medir temperaturas superiores a los 1063°C .

- **Piranómetro**

Un piranómetro (también llamado solarímetro y actinómetro) figura 2.6 es un instrumento meteorológico utilizado para medir de manera muy precisa la radiación solar incidente sobre la superficie de la Tierra. Se trata de un sensor diseñado para medir la densidad del flujo de radiación solar (kilovatios por metro cuadrado) en un campo de 180 grados.



*Figura 2.6 Piranómetro
Fuente: (Kipp y Zonen, 2015)*

Estos dispositivos utilizan el principio de detección termoeléctrica, por el que la radiación entrante es absorbida casi en su totalidad por una superficie horizontal ennegrecida, para una gama de longitudes de onda muy amplia. El incremento de la temperatura resultante se mide a través de termopares conectados en serie o en serie/paralelo para conformar la termopila.

Los piranómetros de Peltier termopila pasiva, no necesitan ninguna fuente de alimentación. El propio detector genera una pequeña tensión proporcional a la diferencia de temperatura entre la superficie de absorción negra y la carcasa del instrumento. Puesto que esta tensión es del orden de los 10 μV (microvoltios) por W/m^2 , en un día soleado la potencia generada será de unos 10 mV (milivoltios). Cada piranómetro posee una sensibilidad única, definida durante el proceso de calibración, que se emplea para convertir la señal de salida expresada en microvoltios en irradiancia global en W/m^2 . (Kipp y Zonen, 2015)

2.6 Fundamentos matemáticos

2.6.1 Pérdidas de calor en una piscina

El análisis de la eficiencia del sistema utilizado para el calentamiento del agua de la piscina parte de la determinación de los siguientes parámetros:

- Pérdidas por evaporación
- Pérdidas por radiación
- Pérdidas por convección
- Pérdidas por renovación
- Pérdidas por conducción

2.6.1.1 Pérdidas por evaporación en una piscina

El agua que se evapora del vaso de la piscina absorbe calor por lo que se produce un enfriamiento en el sobrante, es decir el agua que permanece en la piscina disminuye la temperatura, por lo que mientras mayor sea la evaporación el agua de la piscina se enfriará más y aumentarán las necesidades que habrá que aportar para mantener la temperatura de la misma (Maillo Agustín, 2005).

Para calcular las pérdidas por evaporación se utiliza la ecuación:

$$Q_e = M_{eTotal}(C_v) \quad (2.1)$$

Donde:

M_{eTotal} : Cantidad del agua evaporada; $\frac{kg}{h}$

C_v : Calor latente; $\frac{Wh}{kg}$

La ecuación de Bernier nos permitirá determinar la cantidad de agua evaporada en el vaso de la piscina.

$$M_e = S[(16 + 13n)(W_e - G_a(W_{as}))] + (0,1N) \quad (2.2)$$

Esta ecuación requiere previamente de la determinación de tres términos, estos son:

- Flujo másico del agua evaporada (superficie en reposo)
- Flujo másico del agua asociada a la agitación por los bañistas
- Flujo másico del agua evaporada asociada a los espectadores presentes en la piscina

Flujo másico de agua evaporada con la superficie en reposo:

$$M_{e_{reposo}} = S[16(W_e - G_a(W_{as}))] \quad (2.3)$$

Flujo másico de agua asociado a la agitación por los bañistas:

$$M_{e_{banistas}} = 133n[(W_e - G_a)w_{as})] \quad (2.4)$$

Flujo másico de agua evaporada asociada a los espectadores de la piscina

$$M_{e_{espectadores}} = 0,1N \quad (2.5)$$

$$M_{e_{total}} = M_{e_{reposo}} + M_{e_{banistas}} + M_{e_{espectadores}} \quad (2.6)$$

Donde:

$M_{e_{reposo}}$: Flujo másico de agua evaporada con la superficie en reposo; $\frac{kg}{h}$

$Me_{banistas}$: Flujo másico de agua evaporada asociada a los bañistas de la piscina; $\frac{kg}{h}$

$Me_{espectadores}$: Flujo másico de agua evaporada asociada a los espectadores de la piscina; $\frac{kg}{h}$

S : Superficie de la piscina; m^2

W_e : Relación de humedad; kg_{agua}/kg_{aire} (Temperatura del agua).

W_{as} : Relación de humedad; kg_{agua}/kg_{aire} (Temperatura ambiente).

G_a : Grado de saturación; adimensional.

2.6.1.2 Pérdidas por radiación en una piscina

$$Q_R = \sigma(\varepsilon) (T_{agua}^4 - T_c^4) \quad (2.7)$$

Donde:

σ : Constante de Stefan – Boltzman; $\frac{W}{m^2(^{\circ}K)^4}$

ε = Emisividad; adimensional

2.6.1.3 Pérdidas por convección

$$Q_C = 0,6246 (T_{agua} - T_{aire})^{4/3} \quad (2.8)$$

Donde:

T_{agua} : Temperatura de agua; $^{\circ}C$

T_{aire} : Temperatura de aire; $^{\circ}C$

2.6.1.4 Pérdidas por renovación

$$Q_{RE} = V_r(D)(C_e)(T_{agua} - T_x) \quad (2.9)$$

Donde:

V_r : Volumen de reposición de la piscina; m^3

D: Densidad del agua; $\frac{kg}{m^3}$

C_e : Calor específico del agua; $\frac{Wh}{Kg^\circ C}$

2.6.1.5 Pérdidas por conducción

$$Q_T = C_T(S) (T_{agua} - T_{ex}) \quad (2.10)$$

Donde:

C_T : Coeficiente de transmisión en muros; $\frac{W}{m^2^\circ C}$

S: Superficie

T_{agua} : Temperatura de agua; $^\circ C$

T_{ex} : Temperatura externa; $^\circ C$

Pérdidas de conducción total (W)

$$Q_T = Q_L + Q_F \quad (2.11)$$

Donde:

Q_L : Pérdidas por conducción en las paredes laterales de la piscina; W

Q_F : Pérdidas por conducción en el fondo de la piscina; W

2.6.2 Calor necesario para calentar el agua de la piscina

El calor necesario para calentar el agua de la piscina se determina mediante la siguiente ecuación:

$$P_0 = \frac{V(D)(C_e)(T_{ag}-T_x)}{t} \quad (2.12)$$

Donde:

P_0 : Calor necesario para calentar el agua de la piscina

V : Volumen del agua de la piscina; m^3

D : Densidad del agua; $\frac{kg}{m^3}$

C_e : Calor específico del agua; $\frac{Wh}{kg \text{ } ^\circ C}$

T_{ag} : Temperatura del agua de la piscina; $^\circ C$

T_x : Temperatura del agua del suministro; $^\circ C$

t : Tiempo de puesta en régimen; s

2.6.3 Calor requerido en la piscina (Q_{rp})

$$Q_{rp} = P_0 + Q_r \quad (2.13)$$

Donde:

P_0 : Es el calor necesario para calentar el agua de la piscina; W

Q_r : Total de pérdidas generadas en la piscina; W

2.6.4 Rendimiento de la caldera

Para determinar el rendimiento de la caldera se analiza la relación entre la potencia generada y la potencia absorbida, (Creara, 2011).

$$n = \frac{\text{Potencia absorbida}}{\text{Potencia generada}} \cdot 100 \quad (2.14)$$

2.6.5 *Diseño del nuevo sistema de calentamiento mediante energía solar*

El diseño se lo hará para una piscina cubierta y estará adaptado a una construcción ya existente. El dimensionamiento de las instalaciones o sistemas a medida se refiere a la selección de la superficie de captadores solares y en caso de que exista, al volumen de acumulación solar para la aplicación a la que está destinada la instalación.

Según (PESÁNTEZ ENCALADA, 2012) para el cálculo del dimensionado de instalaciones a medida podrá utilizarse cualquiera de los métodos de cálculo comerciales de uso aceptado por proyectistas, fabricantes e instaladores, el método de cálculo especificará, la demanda de energía térmica, la energía solar térmica aportada y la fracción solar media anual.

Para determinar la energía neta captada por metro cuadrado de colector, se debe considerar su rendimiento.

El área de captación necesaria se calcula según

$$A_{\text{cap}} = \frac{\text{Pérdidas al año}}{\text{Potencia Neta anual}} \quad (2.15)$$

2.6.6 *Determinación del número de colectores solares*

Existen básicamente 3 métodos para determinar el número de colectores necesarios para climatizar una piscina:

- Método por el área superficial de la piscina (método tradicional, directo y sencillo), pero el cual no nos garantiza confiabilidad en sus resultados.
- Método analítico de cálculo termodinámico de relación de demanda energética anual y la energía anual aprovechada (método de gran confiabilidad en sus resultados).

- Método de determinación mediante el uso de software o programas solares. Este método consiste en calcular la demanda energética requerida para climatizar una piscina y la energía neta aportada al colector de dimensionamiento y material definido. Como involucra el cálculo de energía neta aportada, se requerirá el cálculo de radiación solar total del transcurso del año obteniendo valores globales mensuales y aplicar un criterio conservador de selección de la cantidad de radiación, estos datos serán proporcionados por la estación meteorológica de la ESPOCH.

El número de captadores necesario se calcula con la siguiente ecuación:

$$\text{Número de captadores necesarios} = \frac{\text{Área necesaria de captación}}{\text{Área del modelo elegido}} \quad (2.16)$$

2.7 Conclusiones del capítulo

- Se identificó la mejor metodología para este proyecto, la misma que permita encaminar de buena manera el desarrollo de esta investigación.
- Los fundamentos matemáticos seleccionados para el análisis de las condiciones y eficiencia del sistema actual de calentamiento de agua están respaldados con la información obtenida, los cuales nos permite definir las diferentes tipos de variables físicas que tenga gran incidencia en el funcionamiento del sistema.
- Una vez identificadas las variables físicas a ser estudiadas en este proyecto, para determinar el estado funcional actual del sistema de calentamiento de agua, se determina las condiciones, procedimientos y equipos para la toma de muestras de estas.

CAPÍTULO 3

ANÁLISIS E INTERPRETACION DE RESULTADOS EN EL PROCESO DE CALENTAMIENTO DE AGUA DE UNA PISCINA

En el siguiente capítulo se realizará un análisis de los resultados de la evaluación energética y se cuantificará el calor necesario del sistema de calentamiento de agua de la piscina del complejo de natación Carlos Costales.

3.1 Funcionamiento del sistema de calentamiento del agua de la piscina del complejo deportivo Carlos Costales

Es importante comprender el funcionamiento de todo el sistema de calentamiento de agua, puesto que será de gran ayuda para una mejor comprensión e interpretación de los resultados finales de este estudio, a continuación se encuentra la figura 3.1 que representa gráficamente al sistema de calentamiento de agua de la piscina "Carlos Costales" y se describirá las etapas que forman parte de este proceso:

- Succión del agua de la piscina
- Proceso de calentamiento del agua
- Descarga del agua hacia la piscina

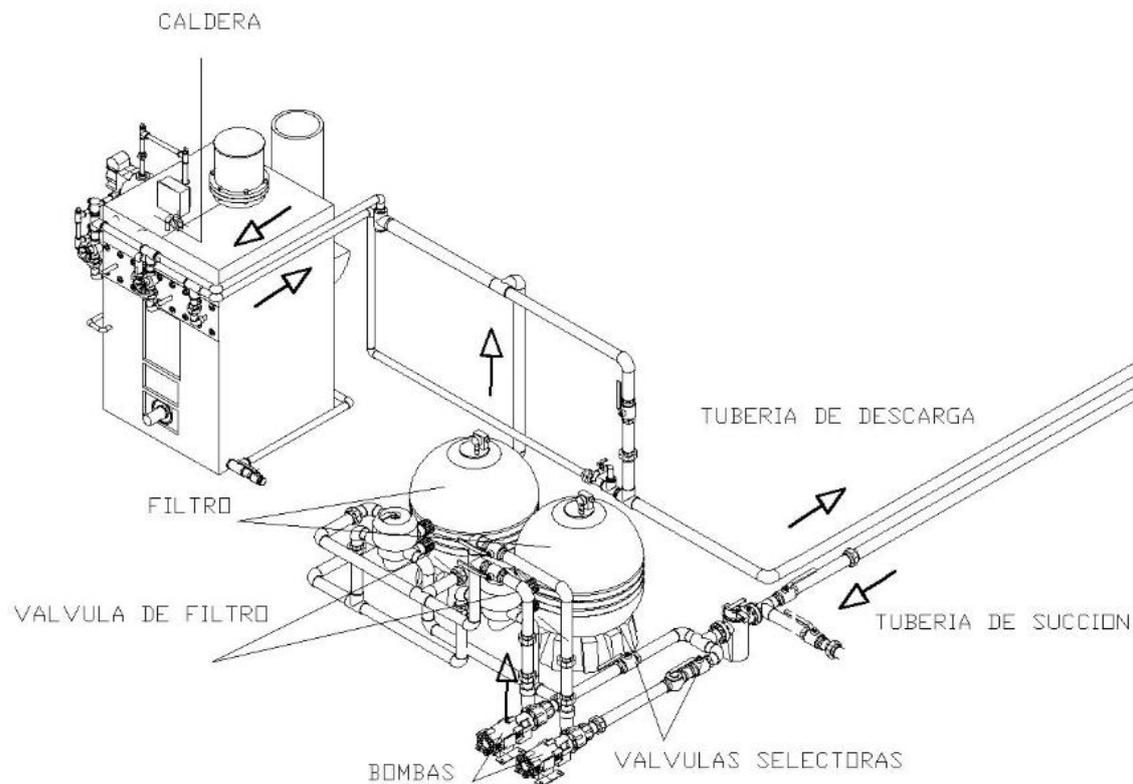


Figura 3.1 Sistema de calentamiento de agua de la piscina "Carlos Costales"
Fuente: Autor

3.1.1 *Succión del agua de la piscina*

El proceso de calentamiento del agua empieza en la succión por medio de 6 skimmers que se encuentran ubicados en la piscina tres en cada lado a lo largo de la misma, para posteriormente por medio de gravedad y con la ayuda de un sistema de tuberías de diámetro de 3 pulgadas llegar hasta la sala de máquinas, donde se inicia el proceso de calentamiento y recirculación del agua.

3.1.2 *Proceso de calentamiento de agua*

Una vez que por medio de la tubería de succión el agua llega a la sala de máquinas, esta se encuentra con un juego de válvulas donde mediante la apertura o cierre se elige hacia cual bomba hidráulica se destinará el flujo.

El sistema de recirculación del agua cuenta con dos bombas que funcionan alternadamente según el plan de operación del sistema, la cual proporciona energía al

fluido para que este circule a través del sistema de calentamiento de agua y posteriormente sea descargada nuevamente a la piscina.

De las dos bombas existentes en el sistema siempre está en funcionamiento solo una, ya que es suficiente para proveer de la energía necesaria al fluido que circula por el sistema de tuberías, existen dos bombas para programar actividades de mantenimiento en las mismas o en el peor de los casos alguna sufra un desperfecto el sistema no deje de operar, es por este motivo que para el cálculo matemático se consideró la presencia de una sola bomba.

El agua succionada después de pasar por la bomba ingresa a los filtros los cuales se encargan de eliminar las impurezas o residuos que puedan existir en el sistema, para que no afecten el funcionamiento de la caldera.

3.1.3 *Descarga del agua hacia la piscina*

Cuando el fluido gana temperatura al momento de circular por la caldera es inyectada nuevamente a la piscina por medio del sistema de tuberías de descarga y 14 impulsores situados uniformemente en todo el contorno de la piscina.

3.2 **Auditoría Energética en la piscina del complejo de natación Carlos Costales**

En el desarrollo de la investigación se realizó una auditoría energética de primer grado en la que se toma en cuenta una inspección visual del estado de conservación de los equipos, basados en la técnica de observación y registro de datos los mismos que se encuentran en el ANEXO 1 correspondiente a la ficha técnica de cada equipo, de lo cual se concluye lo mostrado en la tabla 3.1

:

Tabla 3.1 Diagnóstico de evaluación de los equipos
Fuente: Autor

EQUIPO	DIAGNÓSTICO DE LA EVALUACIÓN VISUAL	GRÁFICO
Quemador	El equipo se encuentra operando sin inconvenientes y se realiza mantenimiento correctivo cada que lo requiera.	
Bomba (2)	Se verifica que no existen averías o fugas, principalmente en los sellos mecánicos. El sistema posee dos bombas que funcionan alternadamente, se realizan actividades de mantenimiento preventivo cada 2 meses. Debido a que existen muchas impurezas en el sistema por los usuarios de la piscina las principales tareas de mantenimiento que se realizan es el cambio de rodamientos y sellos mecánicos.	
Caldera	Debido a los años de vida útil de la caldera, se puede decir que mediante la inspección visual se encuentra deteriorada, ya que por el uso constante ha empezado a perder sus condiciones óptimas de funcionamiento y hoy en día este equipo no satisface las necesidades del sistema.	

3.3 Toma de datos y registro

3.3.1 Temperatura de agua de la piscina

Utilizando el termómetro digital con sonda intercambiable PT 100 se midió la temperatura del agua de la piscina antes de encender la caldera y cuando está encendida, así como del agua de reposición, ANEXO 2, en la tabla 3.2 se encuentra el registro promedio de dichas temperaturas tomadas en diferentes días y horarios:

Tabla 3.2 Temperaturas promedio de agua

DATOS PROMEDIO DE TEMPERATURA	°C
Temperatura de agua de reposición	16,0
Temperatura del agua de la piscina a las 6H00	24,4
Temperatura de agua de la piscina	26,65

Fuente: Autor

Según los datos registrados en la tabla 3.2 se concluye que la temperatura del agua que alcanza la piscina está dentro del rango de temperaturas adecuadas para entrenamiento de natación que según (Ciatesa, 2005) es de 26 °C, sin embargo hay que considerar que a la piscina asisten niños y la temperatura del agua de una piscina infantil es de 30 °C.

3.3.2 Número de ocupantes de la piscina

Este parámetro es muy importante en el análisis de las pérdidas de calor, se creó un registro diario en diferente horas para varios días ya que no hay un registro oficial, el número de ocupantes es bastante similar, durante todo el día la piscina tiene gran concurrencia los datos se encuentran registrados en el ANEXO 4.

3.4 Pérdidas de calor en la piscina

Los datos obtenidos en las instalaciones de la piscina son los que se muestran en la tabla 3.3:

Tabla 3.3 Datos utilizados en el cálculo de las pérdidas de calor

Temperatura del agua	(Anexo 2)	26,65 °C
Temperatura ambiente	(Anexo 2)	22,15 °C
Humedad	(Anexo 3)	86,95%
Número de ocupantes de la piscina	(Anexo 4)	28
Número de espectadores	(Anexo 4)	6
Superficie de la piscina	(Anexo 5)	312,87 m ²
Volumen de la piscina	(Anexo 5)	746,26 m ³

Fuente: Autor

Las dimensiones corresponden a una piscina semiolímpica cuya profundidad varía, la humedad relativa está por encima del valor permitido, de acuerdo a (cosasdepiscina.wordpress.com, 2014) indica que la humedad relativa del aire de las

piscinas cubiertas no excederá del 65% para proteger los cerramientos de la formación de condensaciones, sin embargo se acepta como límite el 80% y con respecto a la temperatura del aire estará entre 2°C y 4°C por encima que la del agua, esto no ocurre en el presente caso de estudio.

3.4.1 Cálculo de pérdidas por evaporación

Utilizando la ecuación (2.3) se calculó el flujo másico de agua evaporada con la superficie en reposo, las relaciones de humedad W_e y W_{as} en la carta psicométrica, con los valores de la temperatura de la piscina y ambiente, conjuntamente con la humedad relativa, los valores respectivos se detallan en la tabla 3.4:

Tabla 3.4 Flujo másico del agua evaporada

$T_{agua} = 26,44 \text{ } ^\circ\text{C}$	$W_e = 0,02144 \text{ kg}_{agua} / \text{kg}_{aire}$
$T_{amb} = 22,15 \text{ } ^\circ\text{C}$	$W_{as} = 0,01715 \text{ kg}_{agua} / \text{kg}_{aire}$
S	$312,87 \text{ m}^2$
N	6
Me_{reposo}	$32,679 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$

Fuente: Autor

Se calculó el flujo másico de agua asociado a la agitación por los bañistas mediante la ecuación (2.4, se muestra en la tabla 3.5:

Tabla 3.5 Flujo másico del agua asociado a la agitación por los bañistas

n	28
W_e	$0,02144 \text{ kg}_{agua} / \text{kg}_{aire}$
Ga	0,8695
W_{as}	$0,01715 \text{ kg}_{agua} / \text{kg}_{aire}$
$Me_{banistas}$	$24,31 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$

Fuente: Autor

Flujo másico de agua evaporada asociada a los espectadores de la piscina mediante la ecuación (2.5).

$$Me_{espectadores} = 0,1N = 0,1(6) = 0,6 \frac{kg}{h}$$

Mediante la ecuación (2.6) se determinó el flujo de evaporación total de agua en $\frac{kg}{h}$, los valores están en la tabla 3.6:

Tabla 3.6 Flujo de evaporación total de agua

$Me_{reposito}$	$32,679 \frac{kg}{h}$
$Me_{banistas}$	$24,31 \frac{kg}{h}$
$Me_{espectadores}$	$0,6 \frac{kg}{h}$
Me_{total}	$57,589 \frac{kg}{h}$

Fuente: Autor

Cálculo de las pérdidas totales por evaporación según la ecuación (2.1):

$$Q_E = 39024,7909 W$$

3.4.2 Cálculo de pérdidas por radiación

Según la ecuación (2.7) las pérdidas por radiación mostrados en la tabla 3.7 son:

Tabla 3.7 Pérdidas por radiación

σ	$5,67(10)^{-8} \left(\frac{W}{m^2(^{\circ}K)^4}\right)$
ϵ	0,95 (Agua)
T_{agua}	$26,65^{\circ}C = 299,59^{\circ}K$
$T_{cerramientos}$	$19,5^{\circ}C = 292,65^{\circ}K$
Q_R	$38,8319 \frac{W}{m^2}$ $12149,346 W$

Fuente: Autor

3.4.3 Cálculo de pérdidas por convección

Según la ecuación (2.8) se determinó las pérdidas por convección:

Tabla 3.8 Pérdidas por convección

T_{agua}	26,65 °C
T_{amb}	22,15 °C
$Q_c =$	4,3538 $\frac{W}{m^2}$ 1362,20 W

Fuente: Autor

3.4.4 Cálculo de pérdidas por renovación

Mediante la ecuación (2.9) se obtuvo las pérdidas por renovación las mismas que se muestran en la tabla 3.9:

Tabla 3.9 Pérdidas por renovación

V_r	746,26 (0,05)= 37,313 m ³
D	998,47 $\frac{kg}{m^3}$
Ce	0,9658 $\frac{Wh}{kg^{\circ}C}$
T_x	16° C
$T_{aguapiscina}$	26,65 °C
Q_{RE}	375649,563 W – h Diaria: 28 896,13 W

Fuente: Autor

3.4.5 Cálculo de pérdidas por conducción

Usando la ecuación (2.10) se determinó las pérdidas por conducción tanto en las paredes laterales como en las del fondo de la piscina, teniendo en cuenta los valores de las superficies de las mismas.

3.4.5.1 Pérdidas por conducción en las paredes laterales de la piscina:

En la figura 3.2 se representa con color celeste las paredes laterales de la piscina:

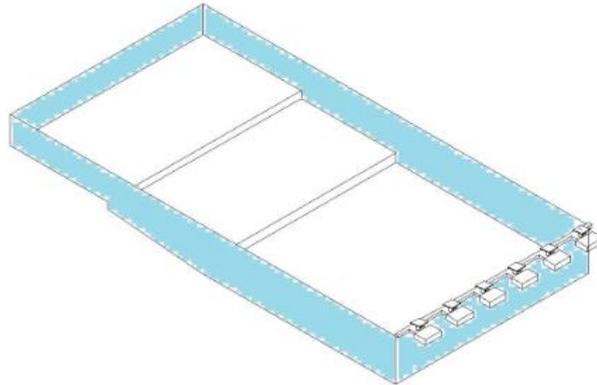


Figura 3.2 Paredes laterales de la piscina
Fuente: Autor

La tabla 3.10 muestra el registro de las pérdidas por conducción en las paredes laterales de la piscina:

Tabla 3.10 Pérdidas por conducción en las paredes laterales de la piscina

C_T	$1,5 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$
S	$175,29 m^2$
T_{agua}	$26,65 ^\circ C$
T_{ex}	$22,15 ^\circ C$
$Q_L =$	$1\ 127,99 W$

Fuente: Autor

3.4.5.2 Pérdidas por conducción en el fondo de la piscina

La figura 3.3 es la representación gráfica de la superficie del fondo de la piscina, específicamente lo que está de color celeste:

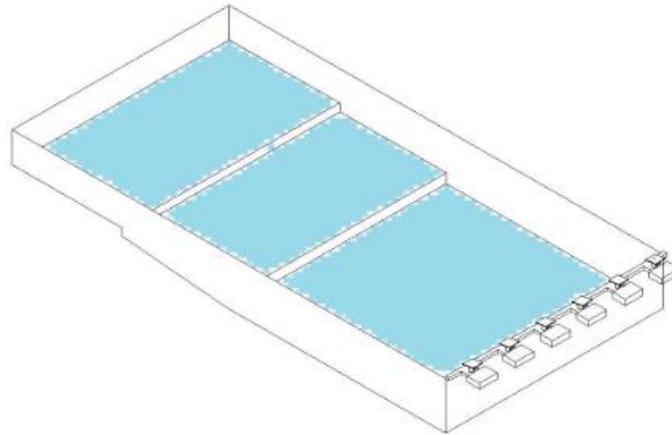


Figura 3.3 Superficie de fondo de la piscina
Fuente: Autor

En la tabla 3.11 se registran las pérdidas por conducción en el fondo de la piscina

Tabla 3.11 Pérdidas por conducción en el fondo de la piscina

C_T	$1,5 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$
S	$312,87 m^2$
T_{agua}	$26,65 ^\circ C$
T_{ex}	$22,15 ^\circ C$
Q_F	$2\ 013,31\ W$

Fuente: Autor

Se calculó las pérdidas de conducción total (W) mediante la ecuación (2.11) las mismas que se muestran en la tabla 3.12

Tabla 3.12 Pérdidas totales por conducción

Q_L	$1\ 127,99\ W$
Q_F	$2\ 013,31\ W$
Q_T	$3141,30\ W$

Fuente: Autor

3.4.6 Resumen de pérdidas de calor (Q_R) en la piscina

En la tabla 3.13 se presenta un resumen de las pérdidas de calor en la piscina cuando estaba en operación y en reposo:

Tabla 3.13 Resumen de pérdidas de calor en la piscina

PÉRDIDAS DE CALOR EN LA PISCINA				
	EN OPERACIÓN (W)	EN OPERACIÓN (kW)	EN REPOSO (W)	EN REPOSO (kW)
P. EVAPORACION	39 024,79	39,024	22 123,63	22,124
P. RADIACION	12 149,35	12,149	12 149,35	12,149
P. CONVECCION	1 362,20	13,622	1 362,20	1,362
P. RENOVACION	28 896,13	28,896	0	0
P. CONDUCCION	3 141,31	3,141	3 141,31	3,141
TOTAL	84 573,78	84,573	38 776,49	38,776

Fuente: Autor

Las pérdidas de calor se calcularon cuando el sistema estaba en funcionamiento durante 13 horas y también cuando el sistema se encontraba en reposo tomando en cuenta que durante este tiempo no hay nadadores por lo que las pérdidas por evaporación disminuyen y las pérdidas por renovación desaparecen porque no hay reposición de agua.

La tabla 3.14 registra las pérdidas de calor en la piscina en diferentes condiciones de funcionamiento y a diferentes horas, lo que significa que varía también el número de ocupantes de la piscina por ende las pérdidas de calor en operación cambian de valor.

:

Tabla 3.14 Resumen de pérdidas de calor en la piscina en diferentes condiciones de funcionamiento

Temperatura agua piscina	26,00°C	26,65 °C	26,44 °C
Hora	9H00	11H00	15H00
Número de nadadores	20	28	37
Número de espectadores	4	6	6
Pérdidas por evaporación	34 182,49	39 024,79	44 319,91
Pérdidas por radiación	11 353,54	12 149,35	12 149,35
Pérdidas por convección	1 179,18	1 362,20	1 362,20
Pérdidas por renovación	27 678,28	28 896,12	28 896,12
Pérdidas por conducción	2 819,12	3 141,31	3 141,31
TOTAL (W)	77 212,61	84 573,77	89 868,89

Fuente: Autor

En la figura 3.4 se observa la variación del número de ocupantes de la piscina en el eje horizontal, mientras este número aumenta las pérdidas de calor en operación también lo hacen de acuerdo al eje vertical, esto se debe a que las pérdidas de calor por evaporación dependen específicamente del número de ocupantes de la piscina, mientras tanto la temperatura permanece aproximadamente constante.

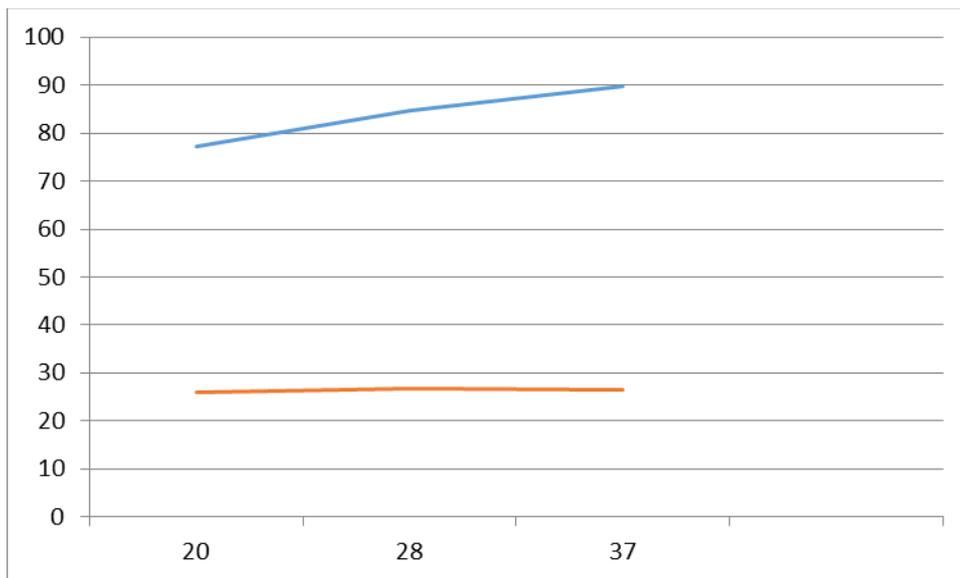


Figura 3.4 Análisis de las pérdidas de calor para diferentes condiciones de funcionamiento

Fuente: Autor

3.5 Cálculo del calor necesario para calentar el agua de la piscina

En el cálculo del calor necesario para calentar el agua de la piscina se tomó en cuenta dos periodos de operación de la caldera el uno está considerado desde las 6H00, en el que, la temperatura del agua de la piscina inicia a 24,4°C hasta las 10h30 aproximadamente, en donde la temperatura del agua alcanza 26,65 °C, y el segundo periodo se calcula para las horas restantes de operación a partir de las 10H30 tiempo en el cual es prendida la bomba para que recircule el agua de la piscina hasta las 19H00 y se requiere solamente mantener la temperatura del agua.

Tomando en cuenta estas consideraciones y los datos obtenidos se utilizó la ecuación (9) para calcular el calor que entrega la caldera al sistema para el calentamiento del agua de la piscina:

$$P_0 = Q(D)(C_e)(T_{cc} - T_{fc})$$

Periodo 1 (6H00 – 10H30)

$$T_{\text{caliente agua de la caldera}} = 92 \text{ } ^\circ\text{C} \text{ (Medido encendida la caldera 6H00)}$$

$$T_{\text{fría agua de la caldera}} = 79 \text{ } ^\circ\text{C} \text{ (Medido antes de prender la caldera 5H30)}$$

$$Q = 6,84 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \text{ (Caudal de la bomba según dato de placa)}$$

Periodo 2 (10H30 – 19H00)

$$T_{\text{caliente agua de la caldera}} = 37,8 \text{ } ^\circ\text{C} \text{ (Medido)}$$

$$T_{\text{fría agua de la caldera}} = 26,65 \text{ } ^\circ\text{C} \text{ (Medido)}$$

$$Q = 6,84 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \text{ (Caudal de la bomba según dato de placa)}$$

Tabla 3.15 Calor necesario del agua de la piscina

P_0	Periodo 1 (W)	Periodo 2 (W)
Q	$6,84 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$	$6,84 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$
D	$998,47 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$	$998,47 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$

C_e	$1,1680 \frac{Wh}{Kg \text{ } ^\circ C}$	$1,1618 \frac{Wh}{Kg \text{ } ^\circ C}$
T_{CC}	92 °C	38,50 °C
T_{fc}	79 °C	26,65 °C
P_0	103 699,656 W	94 016,366 W

Fuente: Autor

Con los resultados obtenidos en la tabla 3.15 se concluye que el calor entregado por la caldera para calentar el agua de la piscina en el periodo 1 es de 103,700 kW y para el periodo dos es de 94,016 kW, estos valores sirven para calcular el rendimiento de la caldera.

3.6 Calor entregado por el quemador a la caldera

Para determinar el calor entregado por el quemador se consideraron las especificaciones técnicas del equipo que se detallan a continuación en la tabla 3.16:

Tabla 3.16 Calor entregado por el quemador

Especificaciones del quemador	
83 kW	Potencia mínima
176 kW	Potencia máxima
7 kg/h	Flujo de combustible mínimo
14,8 kg/h	Flujo de combustible máximo

Fuente: Autor

Para calentar el agua de la piscina a la temperatura adecuada en el menor tiempo posible, el quemador está regulado para consumir el máximo del flujo de combustible y tomando en cuenta que el equipo es nuevo se considera q entrega el máximo de la potencia al sistema, los datos fueron tomados del catálogo del quemador, expuesto en el ANEXO 9.

3.7 Cálculo del rendimiento de la caldera

Utilizando la ecuación (14) se determinó el rendimiento de la caldera para los dos períodos de funcionamiento, sus valores se muestran en la tabla 3.17:

Tabla 3.17 Rendimiento de la caldera

	Periodo 1 (W)	Periodo 2 (W)
P_0	103 699,656 W	94 016,366 W
P_g	176 kW	176 kW
η	58,9 %	53,4 %

Fuente: Autor

3.7.1 Análisis del rendimiento de la caldera

Se obtiene dos valores para el rendimiento de la caldera, el primer valor de 58,9 % corresponde al periodo 1 y el valor de 53,4% al periodo 2, como se lo muestra en la siguiente gráfica 3.18

Tabla 3.18 Datos para el análisis de la eficiencia de la caldera

Periodo 1	Tiempo (h)	6:00	7:00	8:00	9:00	10:30
	Eficiencia %	58,92	58,92	58,92	58,92	58,92

Periodo 2	Tiempo (h)	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00
	Eficiencia %	53,42	53,42	53,42	53,42	53,42	53,42	53,42	53,42	53,42

Fuente: Autor

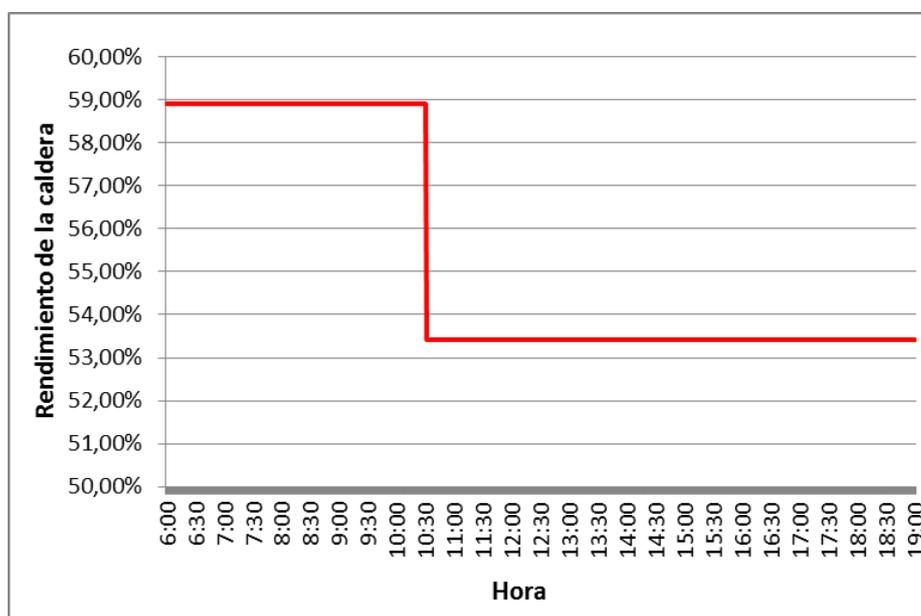


Figura 3.5 Análisis de la eficiencia de la caldera

Fuente: Autor

En la figura 3.5 se observa la variación de la eficiencia de la caldera en relación a los dos periodos mencionados anteriormente, de 6H00 a 10H30 la eficiencia es de 58,92%, en el segundo periodo de 10H30 a 19H00 la eficiencia baja a 53,42 ya que el quemador se prende cada hora durante 30 minutos y se apaga.

3.8 Consumo del combustible

El consumo de combustible difiere en dos etapas la primera desde las 5H30, hora en la que se enciende el quemador y la temperatura del agua en el interior de la piscina es de 24,4 °C hasta las 10H30, en esta etapa el quemador se encuentra en operación continua con un flujo de combustible máximo de 14,8 kg/h y la segunda etapa a partir de las 10H30 en la que el quemador actúa en una operación intermitente, se prende y se apaga cada hora durante 30 minutos, ya que solo se necesita mantener estable la temperatura del agua en la piscina como se presenta en la tabla 3.19:

Tabla 3.19 Datos de consumo de combustible

Tiempo (h)	5H30	6H30	10:30	11H00	11H30	12H00	12H30	13H00	13H30
Consumo (gal)	4,067	4,067	4,067	0	4,067	0	4,067	0	4,067

Fuente: Autor

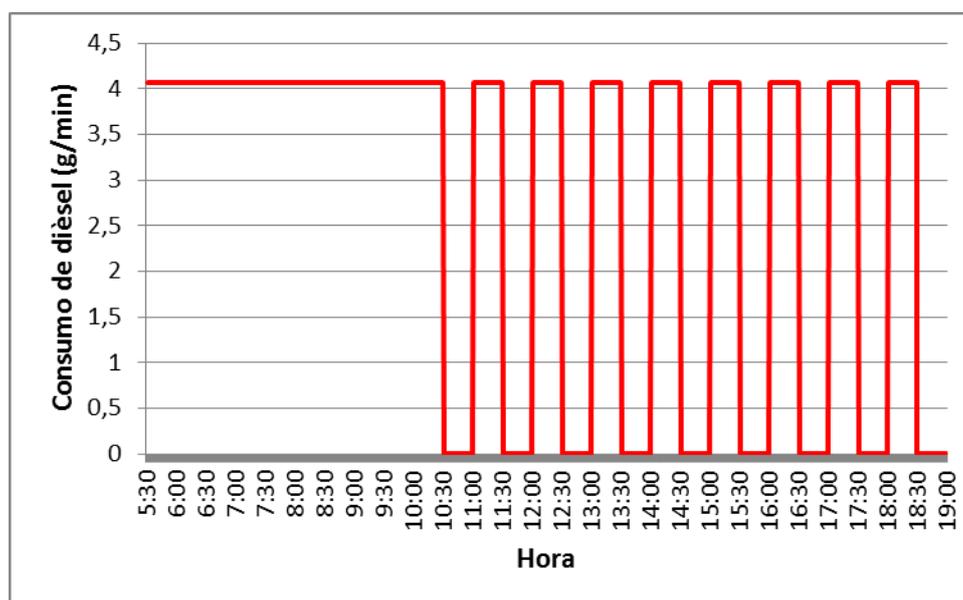


Figura 3.6 Consumo de combustible

Fuente: Autor

En la figura 3.6 se observa el consumo de combustible para diferentes tiempos, a las 5H30 el quemador es encendido y está regulado a su máximo flujo por lo tanto el consumo de diesel es de 14, 8 kg/h hasta las 10H30, como se muestra en la gráfica este valor es constante, en este tiempo se apaga el quemador, para ser encendido nuevamente a las 11H30 hasta las 12H00, el flujo de combustible es el mismo pero el quemador permanece encendido solo 30 minutos y se lo apaga, esta operación intermitente se la realiza para el tiempo restante de funcionamiento del sistema como se muestra en la tabla 3.20:

Tabla 3.20 Datos de la temperatura del agua de la piscina

Tiempo (h)	5:30	6:00	6:30	7:00	7:30	8:00	8:30	9:00	9:30	10:00	10:30	11:00	13:00	15:00
Temperatura (°C)	24,4	24,6	24,9	25,1	25,3	25,5	25,8	26	26,2	26,4	26,7	26,7	26,6	26,6

Fuente: Autor

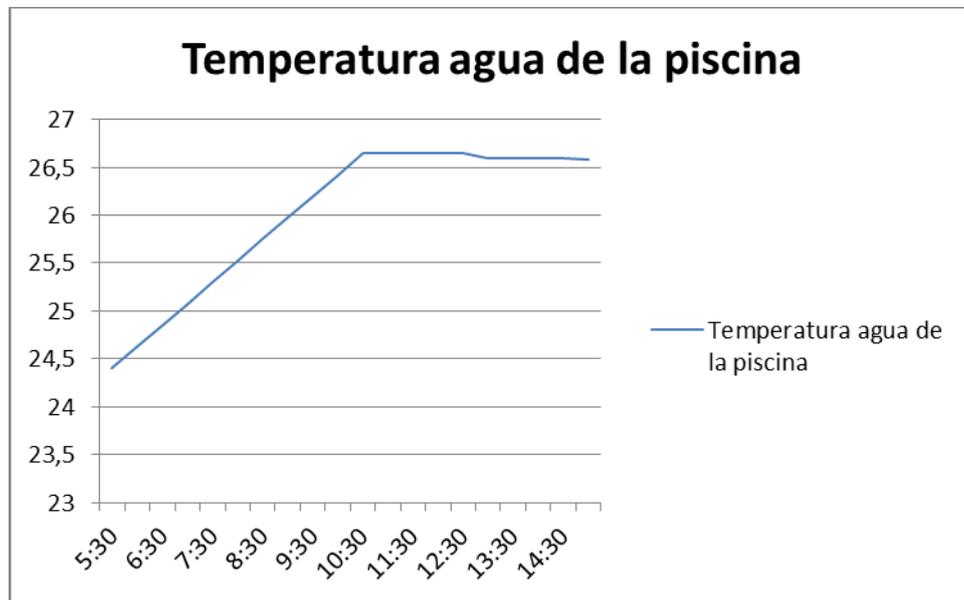


Figura 3.7 Temperatura del agua de la piscina

Fuente: Autor

Los datos registrados en la tabla 3:20 se tomaron en diferentes horas para determinar la variación de la temperatura durante el tiempo de funcionamiento del sistema, a las 5H30 la temperatura es de 24,4 °C, la misma que aumenta de valor a 26,65 °C en las primeras 5 horas de operación del sistema, en las siguientes horas la temperatura permanece aproximadamente constante como se observa en la gráfica 3.7, esta etapa corresponde al encendido y apagado intermitente del quemador.

3.8.1 Análisis del consumo de combustible

En la tabla 3.21 se registra el periodo de funcionamiento de la piscina con el respectivo tiempo de consumo, los mismos que servirán de datos para para calcular el consumo de diesel.

Tabla 3.21 Flujo de combustible

Funcionamiento	Tiempo consumo (horas)		Flujo máximo de combustible
Periodo 1	05H30 - 10H30	5,00	14,8 kg/h
Periodo 2	10H30 - 19H00	4,25	

Fuente: Autor

El consumo de combustible se determina en relación al flujo de combustible y la densidad de diesel:

$$\text{Consumo} = \frac{\text{Flujo}}{\text{Densidad}}$$

En la tabla 3.22 se detalla el consumo de combustible según los datos de placa del quemador:

Tabla 3.22 Consumo de combustible según especificación del quemador

Flujo de combustible	Densidad diesel	Consumo máximo de combustible	
14,8 kg/h	837 kg/m ³	0,176822 m ³ /h	4,6706 gal/h

Fuente: Autor

El tiempo que el quemador está encendido es de 9,25 horas (periodo 1 + periodo 2), entonces para calentar el agua de la piscina se utiliza 43,20 galones, para el consumo promedio de combustible se utiliza las 13,5 horas de funcionamiento del sistema lo que da como resultado 3,2 gal/h, como se muestra en la tabla 3.23:

Tabla 3.23 Consumo de combustible

Hora	Día	Semana	Mes	Año
3,20 gal	43,20 gal	259,22 gal	1 036,87 gal	12 442,48 gal

Fuente: Autor

Con el valor promedio del consumo de combustible por hora de funcionamiento del sistema se determinó que al mes son necesarios 1 036,87 galones de diesel.

3.8.2 Costo del combustible utilizado en el funcionamiento del sistema

El costo de operación del sistema se calcula en dos escenarios, el costo de diesel con subsidio del Estado y el costo sin subsidio que representa el valor real del costo de operación. El galón de diesel según (globalpetrolprices.com, 2018) es de 1,03 dólares con subsidio y de 1,69 dólares sin subsidio, estos datos se registran en la tabla 3.24:

Tabla 3.24 Costo del combustible utilizado en el sistema

Consumo	Costo diesel /gal 1,03 \$ Subsidio	Costo diesel /gal 1,69 \$ Sin Subsidio
4,6707 gal/h	4,81	7,89
1036,87 gal/mes	1067,98	1752,31
12442,48 gal/año	12815,75	21027,79

Fuente: Autor

De acuerdo a los precios de diesel en el Ecuador el costo de combustible para calentar el agua de la piscina es de \$ 1 067,98 al mes, al año corresponde a \$ 12 815,75 siempre y cuando se maneje el subsidio del combustible, el costo aumenta si se comprase el diesel sin subsidio, al mes se tiene un gasto de \$1 752,31 aumentando su valor alrededor de 700 dólares, lo que representa al año \$ 8 400 más.

En todo caso al Estado Ecuatoriano le representa un gasto anual de \$ 21 027, 79 para mantener el sistema de calentamiento de agua de la piscina del complejo Carlos Costales Coronel ya que como se mencionó en la Introducción las instalaciones de la piscina las utiliza la Federación Deportiva de Chimborazo para entrenar a los deportistas de la provincia en la disciplina de natación.

3.9 Eficiencia de la combustión

La eficiencia de la combustión se determinó con el uso del analizador de gases BACHARACH PCA 3, el cual arrojó los resultados mostrados en la figura 3.8:

BACHARACH, INC. PCA 3 SN: QW1056		BACHARACH, INC. PCA 3 SN: QW1056	
Hora: 08:24:30 Fecha: 05/05/17		Hora: 08:37:18 Fecha: 05/05/17	
Combustible ACE2		Combustible ACE2	
O ₂	5.5 %	O ₂	5.5 %
CO	28 ppm	CO	25 ppm
Eff	87.6 %	Eff	87.2 %
CO ₂	11.5 %	CO ₂	11.5 %
T-Stk	155 °C	T-Stk	168 °C
T-Air	16.8 °C	T-Air	21.0 °C
EA	32.9 %	EA	32.7 %
CO(7)	25 ppm	CO(7)	23 ppm
NO	16 ppm	NO	17 ppm
NO ₂	ppm	NO ₂	ppm
NO _x	ppm	NO _x	ppm
SO ₂	ppm	SO ₂	ppm
NO(7)	14 ppm	NO(7)	15 ppm
NO ₂ (7)	ppm	NO ₂ (7)	ppm
NO _x (7)	ppm	NO _x (7)	ppm
SO ₂ (7)	ppm	SO ₂ (7)	ppm

Figura 3.8 Resultado de la eficiencia de la combustión
Fuente: Autor

En la primera medición la eficiencia de la combustión es de 87,6 % y la segunda de 87,2 %, registrados en la tabla 3.25 con lo que se concluye que en los dos casos es alta, los porcentajes de gases de la combustión de gasoil en su mayoría están dentro del rango de valores típicos, según (ONAGAS, 2017) y (TESTO).

Tabla 3.25 Eficiencia de la combustión

GASES DE LA COMBUSTIÓN	TESTO	ONAGAS	MEDICIÓN 1	MEDICIÓN 2
Oxígeno	2% - 8%	2% - 5%	0,055	0,055
Monóxido de Carbono	40 - 150 ppm	80 - 150 ppm	28 ppm	25 ppm
Dióxido de Carbono	11% - 14 %	12,5% - 14 %	0,115	0,115
Óxido de Nitrógeno	20 - 100 ppm	50 - 100 ppm	16 ppm	17 ppm
Temperatura del gas de descarga de la chimenea		90 °C - 150°C	155 °C	168 °C
Temperatura de agua			85 °C	100 °C
Eficiencia de la combustión			87,60%	87,20%

Fuente: Autor

Los valores altos de eficiencia en la combustión se le atribuyen a que el quemador utilizado en la operación es nuevo y se utiliza el máximo flujo de combustible, al estar

los valores dentro del rango se concluye que ambientalmente el impacto no es considerable, sin embargo al utilizar la caldera con un combustible fósil se genera contaminación.

3.10 Conclusiones del capítulo

- En el desarrollo de este capítulo se determinó que la eficiencia de la caldera es de aproximadamente el 55% para el sistema de calentamiento.
- Las pérdidas de calor son considerables en el sistema.
- La eficiencia de la combustión es alta está por encima del 85%.

CAPÍTULO 4

PROPUESTA DE MEJORA

En este capítulo se utilizará el valor de las pérdidas de calor para seleccionar el sistema adecuado que utilice energías alternativas y que satisfaga las necesidades de calentamiento de agua de la piscina, luego se determinará el costo de inversión y las ventajas económicas de la instalación.

Un objetivo de este proyecto es el de sustituir parcialmente el uso de energías convencionales que queman combustibles fósiles, que causan gran contaminación ambiental y alto costo de funcionamiento por lo que en la propuesta de mejoras se analizará dos opciones que utilizan energías alternativas, estas son:

- Energía solar
- Bombas de calor

4.1 Sistema de calentamiento de agua con Energía Solar

La Energía solar es una fuente de energía renovable que se obtiene al aprovechar la irradiación del sol y se la utiliza hoy en día para varias aplicaciones entre ellas sistemas de calentamiento de agua sanitaria, a través del uso de dispositivos llamados colectores solares.

Para el dimensionamiento del sistema de calentamiento solar se toma en cuenta la demanda de energía y el costo de la instalación como se presenta en la figura 4.1:

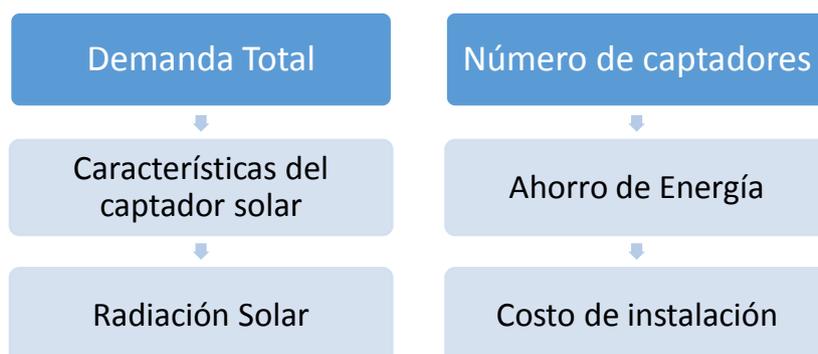


Figura 4.1 Parámetros utilizados en una instalación solar térmica
Fuente: Autor

El principio de funcionamiento de un sistema de calentamiento de agua a través de energía solar es sencillo, la energía solar en forma de radiación es absorbida por un material, aumentando la temperatura del mismo, luego por conducción y convección, se transmite la energía al fluido que se desea calentar, figura 4.2: (Orna, 2012)

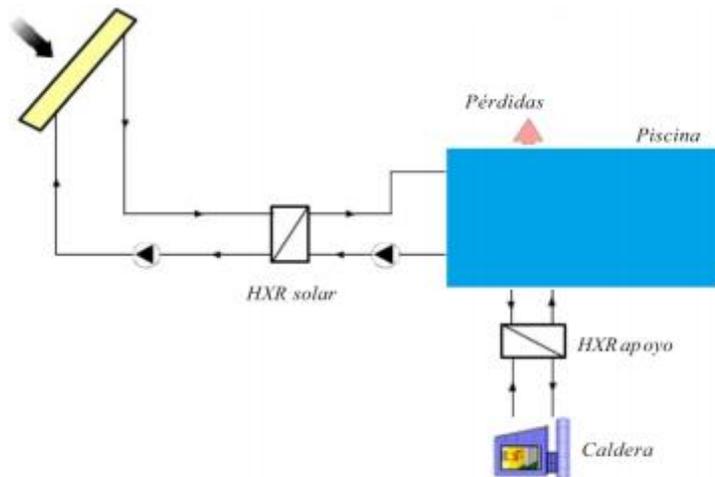


Figura 4.2 Configuración básica de una instalación solar térmica

Fuente: www.energiasolar.es

En el sistema mostrado la instalación solar cede toda la energía captada del vaso, compensando las pérdidas de calor de este, si la energía solar captada es cero o menor que la demanda, el sistema auxiliar aportará la diferencia para mantener la temperatura del agua de la piscina, si ocurre lo contrario es decir el aporte solar es mayor que la demanda, la energía permitirá que aumente la temperatura del agua y no será necesario la utilización del sistema auxiliar, hasta que el agua se enfríe por debajo de la temperatura.

En los días de baja radiación solar el sistema auxiliar se encargará de combatir las pérdidas de calor en el agua, para mantener la temperatura del agua de la piscina.

4.1.1 Recurso energético disponible

La ubicación geográfica de Ecuador es un privilegio en lo que se refiere a recurso solar, la incidencia del sol es perpendicular lo que permite obtener valores altos de irradiación solar, los datos fueron proporcionados por la estación meteorológica de la ESPOCH los mismos que fueron tomados con un instrumento llamado Piranómetro quien entrega la irradiancia global en W/m^2 por hora detallado en el ANEXO 10 con estos datos se

construye la tabla 4.1 que muestra en promedio las horas en las que la irradiancia es mayor desde enero a octubre de 2017 en la ciudad de Riobamba, la radiación más alta se presenta desde las 9H00 hasta las 15H00.

Tabla 4.1 Ciclo diario de Radiación Riobamba

HORA	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00
Radiación W/m ²	0	0	0	0	0	0	12	98	272	465	649	753	798	654	494	365	242	102	8	0	0	0	0	0

Fuente: Estación meteorológica de la ESPOCH

En la figura 4.3 construida con los datos de la tabla 4.1 se observa que el valor más alto de radiación es de 798 W/m² que corresponde a las 12H00, de 0H00 a 5H00 y de 19H00 a 23H00 no hay valores registrados para la radiación, desde las 6H00 ya se detectan datos de presencia de sol en la ciudad de Riobamba.

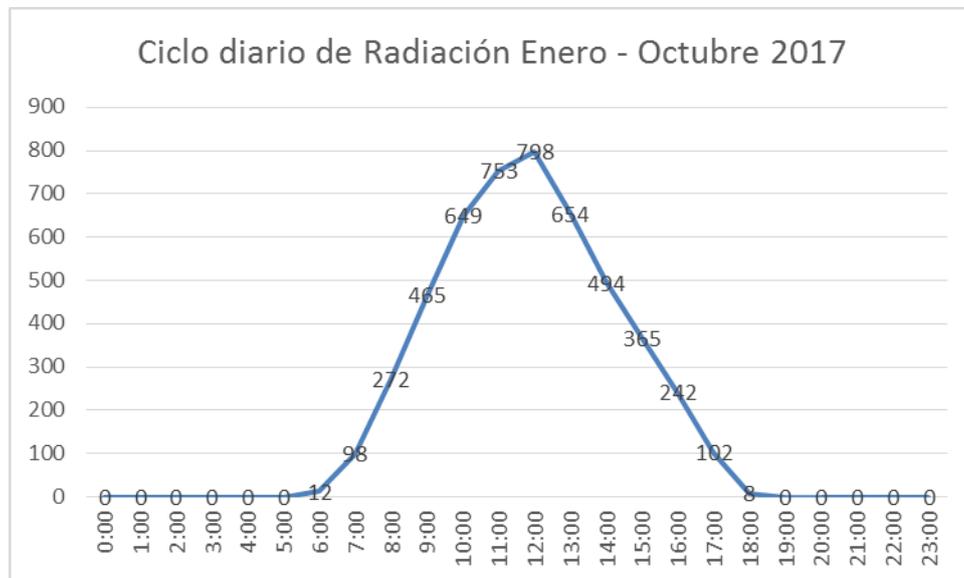


Figura 4.3 Ciclo diario de radiación en Riobamba

Fuente: Autor

Para determinar el número de colectores solares necesarios para un sistema de calentamiento de agua se calcula la radiación solar diaria, es decir se utiliza todos los valores obtenidos de radiación por hora y se suman, obteniéndose un valor al día de radiación, de esto se obtiene los valores promedios para cada mes y que se encuentran registrados en el ANEXO 10.

La cantidad de radiación por mes en la ciudad de Riobamba se muestra en la tabla 4.2:

Tabla 4.2 Radiación solar en Riobamba

Mes	Radiación $\frac{W}{m^2}$
Enero	5 112,48
Febrero	4 815,21
Marzo	4 520,41
Abril	5 236,08
Mayo	4 987,65
Junio	5 260,97
Julio	5 239,81
Agosto	5 546,72
Septiembre	5 632,42
Octubre	5 867,06
Promedio	5 221,881

Fuente: Autor

Para observar cual es la variación de la radiación por mes se construyó la gráfica 4.3, aquí se muestra que los valores aumentan relativamente en los meses de septiembre y octubre donde se registran los datos más altos.

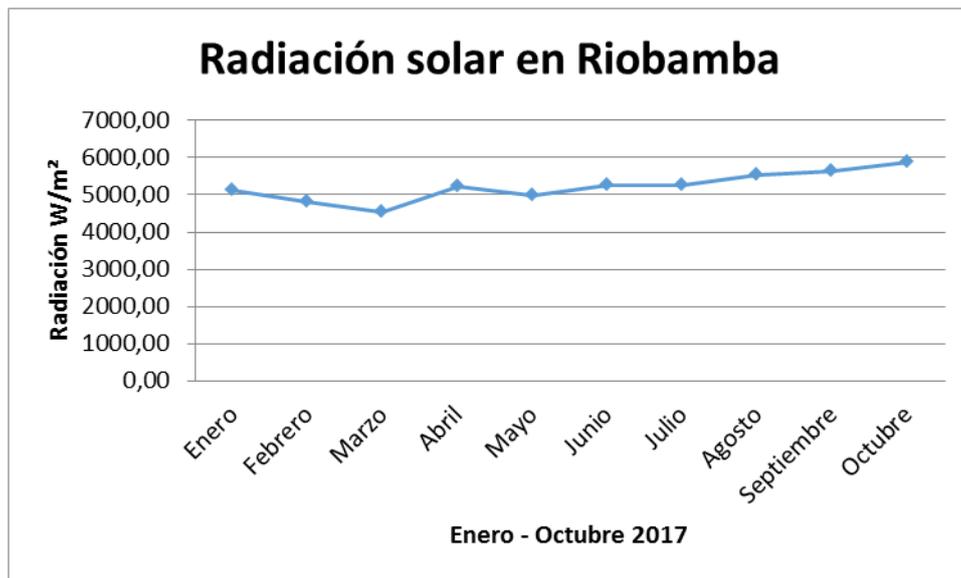


Figura 4.4 Ciclo diario de radiación en Riobamba

Fuente: Autor

En general los valores de radiación alcanzados en la ciudad de Riobamba son altos lo que nos permite trabajar con sistemas alternativos de calentamiento de agua.

4.1.2 Selección del número de colectores solares necesarios para satisfacer los requerimientos actuales de servicio

Para determinar el número de colectores solares que satisfagan los requerimientos de servicio se toma en cuenta las pérdidas de calor en el vaso de la piscina, calculadas en el capítulo 3 y tabuladas en la Tabla 3-13 cuyo valor corresponde a 84,573 kW, se selecciona el calentador que cumpla con las condiciones necesarias para este sistema, tomando en cuenta que la superficie de transferencia de calor debe ser grande, puesto que el volumen del agua a calentar es alto con relación a otras aplicaciones.

En la selección de los calentadores solares también se debe considerar el espacio disponible para la instalación de los mismos, es por esto que un equipo con una superficie pequeña de transferencia de calor hará que se requieran de un número mayor de equipos y por ende los costos incrementarían.

En la figura 4.5 se presentan 4 opciones de colectores solares con el fin de determinar la más adecuada para el sistema:

Tipo de Colectores		HC-50 1,2x3,85m 4'x12.5'	HC-40 1,2x3,23m 4'x10.5'	HC-38 1,2x2,92m 4'x10'	HC-30 1,2x2,31m 4'x8'
No. Cat de M.E.E		127112	127111	127110	127108
Largo	m	3.85	3.23	2.92	2.31
Ancho	m	1.2	1.2	1.2	1.2
Superficie	m ²	4,65	3,85	3,52	2,77
Peso "Seco"	Kg.	10	8,5	8,2	6,8
Capacidad	Lit.	14,4	11,7	11,4	7,1
Peso "Húmedo"	Kg.	24	20,5	19,6	15,8
No. de Espaciadores	#	12	10	9	7
Peso de Área Llena	Kg. / m ²	5,16	5,3	5,3	5,7
Rec. Velocidad de Flujo	Lit. / hr	1200	900	900	720

Figura 4.5 Tipos de colectores solares

Fuente: (HELIOCOL, 2014)

Por lo expuesto se selecciona el colector HC – 50 cuya área de transferencia de calor es de $4,65 \text{ m}^2$ y la eficiencia es del 80%:

El área de captación necesaria se calcula según la ecuación 2.15, tomando en cuenta que la piscina está en funcionamiento 6 días a la semana y que la medición de radiación solar se la hizo para 10 meses por lo que las pérdidas son las expuestas en la tabla 4.3:

Tabla 4.3 Pérdidas de calor anual y radiación solar neta

Pérdidas de calor en la piscina en operación <i>kW</i>		Radiación Solar $\frac{W}{m^2}$	
Diarias	84,573	5 221,88	Mensual
Semanales	507,438		
Mensuales	2 029,75	62 662,56	Anual
Anual	24 357,02		

Fuente: Autor

$$A_{cap} = 388,7 \text{ m}^2$$

El valor calculado de área de captación es bastante grande en comparación a otros sistemas de calentamiento de agua, esto se debe al volumen de agua que debe ser calentado.

El número de captadores necesario se calcula con la ecuación 2.16 y su valor es de 83,59 por lo que se determina que serán necesarios 84 colectores solares.

4.1.3 Selección del número de colectores solares necesarios para satisfacer los requerimientos ideales de servicio

Para determinar el número de colectores solares que satisfagan los requerimientos ideales de servicio se calcula las pérdidas de calor en el vaso de la piscina para 28°C de temperatura, que se la considera ideal para que los usuarios disfruten de este servicio, considerando que gran parte de los bañistas son niños.

Tabla 4.4 Resumen de pérdidas de calor en la piscina para 28°C de temperatura

Temperatura agua piscina	28,00°C
Hora	11H00
Número de nadadores	28
Número de espectadores	6
Pérdidas por evaporación	39 024,79
Pérdidas por radiación	14 999,23
Pérdidas por convección	2 059,87
Pérdidas por renovación	33 213,93
Pérdidas por conducción	4 283,60
TOTAL (W)	93 581,43

Fuente: Autor

Las pérdidas de calor en la piscina a una temperatura de 28°C es de 93,581 kW como se muestra en la tabla 4.4. Con el colector HC – 50 cuya área de transferencia de calor es de 4,65 m² y la eficiencia es del 80%, según la figura 4.5 y utilizando la ecuación 2.15 y 2.16 se calcula el área de captación y el número de colectores solares necesarios para calentar el agua de la piscina como se observa en la tabla 4.5:

Tabla 4.5 Número de colectores solares necesarios para satisfacer los requerimientos ideales del sistema

Pérdidas de calor <i>kW</i>		Radiación Solar $\frac{W}{m^2}$		Área de captación m^2	Número de colectores solares
Diarias	93,581 <i>kW</i>	5 221,88	Mensual	430,40	93
Anual	26 951,45 <i>kW</i>	62 622,56	Anual		

Fuente: Autor

Para satisfacer las necesidades de los bañistas con una temperatura de 28°C se necesitan 93 paneles solares lo que representa un área de captación solar de 430 m^2 , en función de esto se realizará el cálculo de costo de implementación de este sistema.

4.1.4 Análisis económico de la instalación de paneles al sistema de calentamiento de agua de la piscina Carlos Costales

Una vez analizada la factibilidad técnica de la propuesta de mejora al sistema de calentamiento de agua de la piscina se realizará el estudio de la factibilidad económica del mismo tabla 4.6, lo que se pretende con este análisis es demostrar que la propuesta es económicamente factible, mejorando directamente la eficiencia del sistema y por ende el servicio que estas instalaciones ofrecen a sus usuarios. A continuación se muestra una tabla en la que se consideran los costos de instalación:

Tabla 4.6 Costos de equipos, accesorios e instalación de paneles solares en la piscina Carlos Costales

Descripción	Cantidad	Precio unitario	Precio total
Panel solar Heliocol	93	\$ 244,47	\$ 22.735,71
Collarín	224	\$ 9,44	\$ 2.114,56
Tapón Final Heliocol	38	\$ 5,38	\$ 204,44
Conector para tubo PVC Heliocol	38	\$ 8,07	\$ 306,66
Válvula de vacío Heliocol	2	\$ 20,83	\$ 41,66
Control Aquastar	2	\$ 666,00	\$ 1.332,00
Tablero de recirculación	1	\$ 1.150,00	\$ 1.150,00
Bomba de recirculación 2HP	2	\$ 1.200,00	\$ 2.400,00
Materiales varios y transporte	93	\$ 5.800,00	\$ 3.906,94
Mano de obra	1	\$ 5.822,00	\$ 5.822,00
		TOTAL	\$ 40.013,97

Fuente: Autor

En la tabla 4.6 se muestra los costos de equipos, instalación y mano de obra que se necesitará para instalar los paneles solares en el complejo de natación Carlos Costales, los costos están en base a una proforma entregada por (Go Soluciones Termoecológicas, 2018), el total no incluye IVA por lo que el costo real será de **\$ 44.815,65**.

4.2 Sistema de calentamiento de agua con bombas de calor

Otra alternativa a ser considerada para calentar el agua de la piscina son las bombas de calor que utilizan energía eléctrica para su funcionamiento, para determinar las características de estas se toma en cuenta las condiciones del sistema registradas en la tabla 3-3 y la temperatura de 28°C considerada como adecuada para satisfacer las necesidades de los bañistas

4.2.1 Selección de la bomba de calor para el sistema

La potencia que debe aportar la bomba de calor para satisfacer las necesidades de los usuarios se la calcula con la siguiente ecuación:

$$E = 1000 \cdot dt \cdot V \quad (4.1)$$

Donde:

E: Energía de la bomba de calor; kcal

V: Volumen de la piscina; m^3

dt: Diferencial de la temperatura, entre la temperatura del agua de la piscina fría y la caliente deseada; °C.

$$E = 1000 (28^{\circ}C - 24,4^{\circ}C)(746,26 m^3)$$

$$E = 2\,686\,536 \text{ Kcal}$$

Una vez obtenido el valor de energía que se requeriría que proporcione la bomba de calor, se debe considerar que mientras el sistema está funcionando existen pérdidas de calor, por lo cual se recomienda para esta selección del equipo considerar un 30% del valor de la energía calculada, según (*Proyecto de factibilidad para el uso eficiente de*

energía en las instalaciones del complejo turístico Vulcano Green del cantón Penipe, 2014).

$$E_{Total} = E + 0,3E \quad (4.2)$$

$$E_{Total} = 3\,492\,496,8 \text{ Kcal}$$

Considerando que el tiempo de funcionamiento de la bomba es de 13 horas diarias se procede a determinar la potencia de la bomba de calor necesaria para el sistema.

$$W = \frac{E_{Total}}{dt} \quad (4.3)$$

Donde:

W = Potencia de la bomba de calor, $\frac{kcal}{h}$

E_{Total} = Energía a suministrar por el equipo, $kcal$

dt = Tiempo en el cual se requiere que se caliente el agua, °C

$$W = \frac{3\,492\,496,8 \text{ Kcal}}{13 \text{ horas}} = 268\,653,6 \frac{kcal}{h} = 1\,066\,103,65 \frac{Btu}{h} = 312,44 \text{ KW}$$

Una vez determinada la potencia necesaria para que el sistema funcione eficientemente se procede a seleccionar la bomba de calor según los datos contemplados en la figura 4.6.

MODELO	VOLTAGE	HZ	AMPERAJE PROMEDIO	CAPACIDAD DE CALENTAMIENTO	COP	FLUJO [GPM]		PESO	DIMENSIONES	COMPRESOR TIPO
			[AMP]	[BTU/H]		MIN	MAX	[LBS]		
HE 125 RA	208 - 230/1F	60	32	125.000	6.3					
HE 125 RB	209 - 230/3F	60	23	125.000	6.3	20	70	269	31" x 31" x 43"	Scroll
HE 150 RA	210 - 230/1F	60	40	136.000	6					
HE 150 RB	211 - 230/3F	60	28	140.000	6					

Figura 4.6 Tipos de bomba de calor
Fuente: (GULFSTREAM, 2014)

Para determinar el número de bombas de calor que se requieren para el sistema se divide la potencia total necesaria para la capacidad de calentamiento del equipo seleccionado.

$$\text{Número de bombas de calor} = \frac{W}{\text{Capacidad de calentamiento}}$$

$$\text{Número de bombas de calor} = \frac{1\,066\,103,65 \frac{\text{Btu}}{\text{h}}}{140\,000 \frac{\text{Btu}}{\text{h}}}$$

$$\text{Número de bombas de calor} = 7,6$$

Por lo calculado se determina que se necesitan 8 bombas de calor con una potencia de $140\,000 \frac{\text{Btu}}{\text{h}}$ para satisfacer las necesidades del sistema, funcionando como un sistema único e independiente.

4.2.2 Análisis económico de la instalación de paneles al sistema de calentamiento de agua de la piscina Carlos Costales

Una vez analizada la factibilidad técnica de la propuesta de mejora al sistema de calentamiento de agua de la piscina se realizará el estudio de la factibilidad económica del mismo, lo que se pretende con este análisis es demostrar que la propuesta es económicamente factible, mejorando directamente la eficiencia del sistema y por ende el servicio que estas instalaciones ofrecen a sus usuarios.

A continuación se muestra la tabla 4.7 en la que se consideran los costos de instalación:

Tabla 4.7 Costos de equipos, accesorios e instalación de bombas de calor en la piscina Carlos Costales

Descripción	Cantidad	Precio unitario	Precio total
Bomba de calor Gulfstream	8	\$ 4.800,00	\$ 38.400,00
Materiales varios de instalación y transporte	1	\$ 1.500,00	\$ 1.500,00
Mano de obra	1	\$ 1.500,00	\$ 1.500,00
		TOTAL	\$ 41.400,00

Fuente: Autor

En la tabla 4.7 se muestra los costos de equipos, instalación y mano de obra que se necesitará para instalar las bombas de calor para calentar el agua de la piscina en el complejo de natación Carlos Costales, los costos están en base a una proforma entregada por (Go Soluciones Termoecológicas, 2018), el total no incluye IVA por lo que el costo real será de **\$ 46.368,00**.

4.3 Comparación entre las alternativas de solución

A continuación se realiza una comparación que ayudará a determinar cuál es la propuesta más factible, en la tabla 4.8 se encuentran las principales características de cada sistema.

Tabla 4.8 Comparación entre alternativas de solución

SISTEMAS DE CALENTAMIENTO	PANELES SOLARES	BOMBA DE CALOR
Costo de equipos e instalación	\$ 44.815,65	\$ 46.368,00
Mantenimiento	Muy poco	Frecuente
Consumo de combustible	Sí	No
Consumo de energía eléctrica	No	SÍ
Tiempo de vida útil	25 años	20-25 años

Fuente: Autor

Si comparamos el costo de los dos sistemas la alternativa del uso de las bombas de calor es la más costosa, el mantenimiento para este sistema es preventivo y se lo hace con frecuencia ya que se necesita limpiar los filtros y revisar las instalaciones hidráulicas, su funcionamiento depende exclusivamente del uso de energía eléctrica, no hay consumo de diesel ya que es un sistema independiente lo que representaría una eliminación total de gases contaminantes.

Mientras que el sistema que utiliza colectores solares necesita una inversión menor, en este caso se tendría un sistema combinado que utilice diesel por algunas horas y luego mantenga la temperatura del agua de la piscina con el uso de colectores solares, se eliminaría parcialmente la contaminación ambiental producida por el uso de la caldera, necesitaría muy poco mantenimiento y el tiempo de vida útil relativamente es el mismo para los dos sistemas.

En la tabla 4.9 se muestra el costo anual de funcionamiento de los sistemas de calentamiento de agua:

Tabla 4.9 Costo anual de operación de los diferentes sistemas de calentamiento de agua en la piscina

Sistema de calentamiento de agua	Funcionamiento # Horas	Consumo de combustible # Horas	Costo diesel	Costo Energía	Gasto anual Operación
Caldera	13	13	\$ 21.027,79	\$ -	\$ 21.027,79
Sistema combinado caldera y colectores sol	13	4	\$ 6.230,02	\$ -	\$ 6.230,02
Bombas de calor	13	-	\$ -	\$ 24.078,44	\$ 24.078,44

Fuente: Autor

De la tabla 4.9 se determina que el sistema combinado con colectores solares utilizará diesel para 4 horas de funcionamiento de la caldera lo que representa un egreso anual de \$6.230,02; generándose un ahorro en consumo de combustible de \$14.797,77; en cuanto al uso de las bombas de calor se realiza el cálculo en función de 8 equipos de 328,24 kW cada una, cuyo consumo eléctrico es del 21% de la energía aportada según (ASTRALPOOL, 2018) con un costo de 9,33 centavos de dólar por kWh y un gasto anual de \$24.078,44.

Considerando los datos expuestos en las tablas 4.6 y 4.7 se descarta la alternativa de las bombas de calor ya que su inversión inicial y el costo de funcionamiento es mayor, además que superaría el costo de funcionamiento del sistema actual.

4.4 Cálculo del TIR y VAN para el sistema seleccionado

Una vez seleccionada una de las alternativas, es necesario verificar la rentabilidad del proyecto, para ello se tomó en cuenta dos herramientas básicas de contabilidad como son el TIR y VAN.

Tabla 4.10 TIR – VAN del sistema seleccionado

SISTEMA COMBINADO CON PANELES SOLARES			
Inversión Inicial			\$ 44.815,65
Año	Ingresos	Egresos	Flujo de efectivo
1	\$ 21.027,79	\$ 6.230,02	\$ 14.797,77
2	\$ 21.027,79	\$ 6.230,02	\$ 14.797,77
3	\$ 21.027,79	\$ 6.230,02	\$ 14.797,77
4	\$ 21.027,79	\$ 6.230,02	\$ 14.797,77
5	\$ 21.027,79	\$ 6.230,02	\$ 14.797,77
Tasa de interés		VAN	\$ 30.841,50
Sector Público 7,98%		TIR	19,43%

Fuente: Autor

Para construir la tabla 4.10 se tomó en cuenta el costo de funcionamiento del sistema con la caldera durante 13 horas lo que conlleva una inversión anual en diesel de \$ 21.027,79 valor entregado por la FDCH para compra de combustible considerándose este valor como ingreso del proyecto, en el sistema combinado en donde la caldera funcionará 4 horas y el tiempo restante la temperatura del agua se mantendrá con colectores solares se tendrá un gasto anual de combustible de \$ 6.230,02 generándose un flujo de efectivo (beneficio – ingreso) de \$14.797,77 por año.

Con estos datos y una tasa de interés del 7,98% para inversión pública según (<https://contenido.bce.fin.ec>, 2018) en una hoja de Excel se calculó el valor actual neto (VAN), lo que arrojó un valor positivo y en el caso de la tasa interna de retorno (TIR) su valor es superior al 15% por lo que se lo considera un proyecto factible de realizarlo.

Es importante mencionar que para el proyecto no se menciona costo de mantenimiento del sistema combinado ya que una de las características de los sistemas que utilizan energía solar es que necesitan muy poco mantenimiento y se cuenta con personal perteneciente a la FDCH por lo que no representa un gasto adicional.

4.5 Impacto Ambiental

La investigación desarrollada tiene como objetivo no solo ahorrarle a la FDCH el costo de consumo de diesel sino también contribuir a la reducción de emisión de CO₂. A continuación se analizará las emisiones que se producen actualmente con un consumo de 12 442,48 galones de diesel al año según la tabla 3-23 y las que se producirían con el sistema solar térmico en 4 horas de funcionamiento de la caldera.

Tabla 4.11 Cálculo automático de emisiones totales en relación a los consumos energéticos de sus instalaciones

Combustible	Consumo anual	Unidades de medida física	Factor de conversión	kWh	Factor de emisión (Kg de CO2 eq/kWh)	Kg de CO2 eq
Gas natural		Nm3	10,7056 kWh/Nm3	0	0,2016	0
Gasóleo	47100	Litros	10,6 kWh/l	499260	0,2628	131206
Gasóleo	13955	Litros	10,6 kWh/l	147923	0,2628	38874
Fuel		Kg	11,1611 kWh/Kg	0	0,2736	0
GLP Genérico		Kg	12,6389 kWh/Kg	0	0,234	0
Carbón nacional		Kg	5,6972 kWh/Kg	0	0,4032	0
Carbón importa		Kg	7,0917 kWh/Kg	0	0,3564	0
Gas butano		Nº de bombonas o Kg	12,4389 kWh/Kg	0	0,2383	0

Fuente: (www.camarazaragoza.com)

Según (www.camarazaragoza.com) un litro de diesel genera 2,78568 kg de CO₂, en el caso del sistema actual se utiliza 3,20 gal/h en promedio lo que representa 12,1133 lt/h es decir cada hora se genera 33,74 kg de CO₂, al año se generan 131 206 kg de CO₂, con el sistema combinado y funcionando la caldera 4 horas se produciría 38 874 kg de CO₂ produciéndose un ahorro considerable de gases contaminantes de 92 332 kg de CO₂.

4.6 Conclusiones del capítulo

- De acuerdo a los datos obtenidos por medio del análisis matemático se concluyó que el sistema de calentamiento de agua es ineficiente, por lo cual se procede a buscar la posibilidad de la implementación de un sistema complementario que ayude al actual a cubrir todas las necesidades.
- Se consideraron dos alternativas para calentar el agua de la piscina, la primera es el uso de paneles solares en un sistema combinado y la otra el uso de bombas de calor que utilizan energía eléctrica para su funcionamiento.
- Se analizó el costo de la implementación de los sistemas seleccionando el de paneles solares como la mejor alternativa.

CONCLUSIONES GENERALES

Se desarrolló una auditoria energética preliminar en la que se identificó que el actual sistema de calentamiento de agua es deficiente, la temperatura del agua de la piscina asciende hasta 26,6 °C, el rendimiento de la caldera oscila entre 53,4% y 58,9%.

Se determinó que cada día se necesitan 93,581 kW como el sistema funciona 13 horas la energía consumida es de 1 216,55 kW-h para alcanzar la temperatura en el agua de la piscina de 28°C, considerada como adecuada para niños desde los 5 años de edad que entrenan en el complejo de natación Carlos Costales.

Para calentar el agua de la piscina se analizaron dos sistemas con alternativas renovables, la primera consiste en un sistema híbrido que utiliza diesel durante 4 horas para elevar la temperatura del agua de 24,4 °C a 28°C y luego para mantener estable la temperatura se utilizarán 93 paneles solares; la segunda alternativa es el uso de 8 bombas de calor cuyo funcionamiento dependerá exclusivamente del uso de energía eléctrica este consiste en un sistema independiente en el que no es necesario utilizar diesel.

Se seleccionó el sistema híbrido que utilizará 93 colectores solares con un área de captación de energía solar de 430,40 m², cuya inversión es menor en \$ 1.552,35 con relación a las bombas de calor, el costo de operación se reduce considerablemente ya que se utilizará diesel para 4 horas de funcionamiento de la caldera lo que implica un costo de operación anual de \$ 6.230,02 frente a un consumo de energía en el caso de las bombas de calor de \$ 24.078,44 y generándose un ahorro respecto al sistema actual de \$14.797,77; el TIR calculado para esta opción es de 19,4% por lo que se lo considera un proyecto factible.

La emisión de gases contaminantes actualmente es de 1,31205x10¹¹kg de CO₂, con la incorporación del sistema híbrido se producirá 3,887x10⁸ kg de CO₂ lo que reduce los gases contaminantes al ambiente por un valor de 1,31166x10¹¹ kg de CO₂.

BIBLIOGRAFÍA

cosasdepiscina.wordpress.com. (12 de 11 de 2014). Recuperado el 18 de 02 de 2018

globalpetrolprices.com. (05 de 02 de 2018). Recuperado el 12 de 02 de 2018

<https://contenido.bce.fin.ec>. (01 de 03 de 2018). Recuperado el 03 de 03 de 2018

Acciona. (s.f.). *Sostenibilidad para todos*. Obtenido de Ahorro y eficiencia energética: <http://www.sostenibilidad.com/ahorro-y-eficiencia-energetica>

AquaCal AutoPilot, Inc. (Julio de 2013). *www.aquacal.com*. Recuperado el 18 de Marzo de 2017

ASTRALPOOL. (2018). *www.astralpool.com*. Recuperado el 15 de 02 de 2018

BACHARACH. (03 de 08 de 2014). *www.MyBacharach.com*. Recuperado el 27 de 06 de 2017

Castro, R. (23 de 06 de 2010). *Mantenimiento de sistemas Hidráulicos*. Obtenido de <https://aeromarinesoftware.wordpress.com/2015/02/05/el-mantenimiento-de-un-sistema-hidraulico/>

Cengel, Y. A. (2007). *Transferencia de calor y masa*. Mexico: McGraw-Hill.

Ciatesa. (28 de 11 de 2005). *www.ciatesa.es*. Recuperado el 10 de 06 de 2017

Clayton, Sistemas Integrales de Vapor. (s.f.). *Información técnica económica y rentabilidad sobre operaciones de calderas de vapor y agua caliente*. México.

Comunidad de Madrid. (s.f.). *www.fenercom.com*. Recuperado el 18 de Marzo de 2017

CONELEC. (01 de 06 de 2008). *RADIACION SOLAR*. Obtenido de RADIACION SOLAR: <http://www.regulacionelectrica.gob.ec/>

Corporación nacional para el ahorro de energía. (s.f.). *www.conae.gob.mx*. Recuperado el 23 de 06 de 2017

Creara. (Octubre- Noviembre de 2011). *Especialidades en eficiencia y ahorro energético*. Obtenido de PLAN DE OPTIMIZACIÓN ENERGÉTICA MUNICIPAL

DIRECTIDUSTRY. (11 de 11 de 2010). *TERMOMETRO DIGITAL*. Obtenido de TERMOMETRO DIGITAL: http://img.directindustry.es/images_di/photo-g/13046-4282969.jpg

FERROLI. (30 de 05 de 2016). *BOMBAS DE CALOR*. Obtenido de BOMBAS DE CALOR: <http://www.ferroli.es/blog/que-es-y-como-funciona-una-bomba-de-calor/>

- FRIO, C. Y. (16 de 01 de 2014). *BOMBAS DE CALOR*. Obtenido de BOMBAS DE CALOR:
https://www.caloryfrio.com/images/articulos/calefaccion/bomba_calor_funcionamiento.jpg
- Fundación de la energía de la Comunidad de Madrid. (2008). *www.madrid.org*. Recuperado el 18 de 03 de 2017
- SIBERICA. (12 de 06 de 2015). *TERMOMETRO DIGITAL*.
<http://www.gisiberica.com/TERMOMETROS/CON%20SONDA.htm>
- Go Soluciones Termoecológicas. (28 de 02 de 2018). *ventas@gosoluciones.ec*. Recuperado el 28 de 02 de 2018
- GULFSTREAM. (2014). BOMBAS DE CALOR. *BOMBAS DE CALOR*, 2.
- HELIOCOL. (02 de 02 de 2014). CALENTADORES SOLARES. *HELIOCOL*, 2.
- ISAIASGOLDMANSA. (15 de 04 de 2009). *PIROMETRO*. Obtenido de PIROMETRO: <http://isaiasgoldmansa.com/70/termometro-laser-cinfrarrojo-y-pirometro.jpg>
- Kipp y Zonen. (03 de Enero de 2015). *Kipp y Zonen*. Obtenido de Principio de el funcionamiento de un pirometro:
<http://www.kippzonen.es/News.aspx?id=575#.WgxcsIXibIU>
- Linkohr, R. (2006). LA POLITICA ENERGETICA LATINOAMERICANA ENTRE EL ESTADO Y EL MERCADO. *Nueva Sociedad*, 90-103.
- López, García, Segador, Encinas, & Cuadros. (JULIO de 2012). ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DE UNA PISCINA PUBLICA CLIMATIZADA MEDIANTE ENERGIA SOLAR TERMICA Y BIOMASA. *XVI Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos*. Valencia, España.
- MAILLO. (2005). Climatizacion de piscinas cubiertas. En MAILLO, *Climatizacion de piscinas cubiertas*. CIATESA.
- Martínez, E. R. (2014). *Diagnóstico energético del proceso de generación de vapor de la empresa "Comandante Pedro Sotto Alba"*. MOA.
- Mataix, C. (1982). *Mecánica de Fluidos y Máquinas Hidráulicas*. Madrid: Ediciones del Castillo.
- Medioambiente, M. d. (11 de Agosto de 2010). *Acuerdo N° 131*. Obtenido de <http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/04/ACUERDO-MINISTERIAL-131.pdf>
- Muños, M. (2012). Análisis comparativo de gases de combustión de calderas bagaceras.
- ONAGAS. (15 de Enero de 2017). <http://onagas.es/analisis-de-combustion/>. Recuperado el 27 de Diciembre de 2017

- Piriz, A. G. (Junio de 2009). AUDITORÍA ENERGÉTICA EN UNA PISCINA CLIMATIZADA. Madrid, España.
- Ruiz Alex, P. E. (2014). *Proyecto de factibilidad para el uso eficiente de energía en las instalaciones del complejo turístico Vulcano Green del cantón Penipe*. Riobamba.
- Serrano, J., & Carranza, Y. (2005). Análisis teórico de la combustión en quemadores de gas natural. *Scientia et Technica* año XI, 139.
- SOLAR, E. (10 de 10 de 2010). ENERGIA SOLAR. Obtenido de ENERGIA SOLAR : <https://solar-energia.net/media/termica/esquema-instalacion-energia-solar-termica.png>
- TESTO. (s.f.). *www.testo.es*. Recuperado el 27 de Diciembre de 2017
- Valenzuela, R. (2003). Apuntes de transferencia de calor. Riobamba: Biblioteca ESPOCH.
- Wolfgang, B. A. (2014). Characteristics of energy-efficient swimming facilities – A case study. *Energy*, 508-512.
- www.camarazaragoza.com*. (s.f.). Recuperado el 10 de 02 de 2018
- www.outlet-piscinas.com*. (2018). *www.outlet-piscinas.com*. Recuperado el 15 de 02 de 2018