



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**  
**SEDE CUENCA**  
**CARRERA DE MECÁNICA**

DISEÑO DE UN SISTEMA DE CALENTAMIENTO DE AGUA MEDIANTE  
COLECTORES SOLARES TÉRMICOS PARA LAS PISCINAS DE LA UNIDAD  
EDUCATIVA FISCOMISIONAL TÉCNICO SALESIANO

Trabajo de titulación previo a la obtención del  
título de Ingeniero Mecánico

AUTORES: ANGEL JAVIER GARCIA ALVAREZ

JOHN JAIRO ORTIZ PICON

TUTOR: ING. JOHN IGNACIO CALLE SIGÜENCIA, PhD.

Cuenca - Ecuador

2023

## **CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Nosotros, Angel Javier Garcia Alvarez con documento de identificación N° 0106722556 y John Jairo Ortiz Picon con documento de identificación N° 0107462905; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Cuenca, 16 de febrero del 2023

Atentamente,



---

Angel Javier Garcia Alvarez

0106722556



---

John Jairo Ortiz Picon

0107462905

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE  
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, Angel Javier Garcia Alvarez con documento de identificación N° 0106722556 y John Jairo Ortiz Picon con documento de identificación N° 0107462905, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Proyecto técnico: “Diseño de un sistema de calentamiento de agua mediante colectores solares térmicos para las piscinas de la Unidad Educativa Fiscomisional Técnico Salesiano”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Mecánico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 16 de febrero del 2023

Atentamente,



---

Angel Javier Garcia Alvarez

0106722556



---

John Jairo Ortiz Picon

0107462905

## CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, John Ignacio Calle Sigüencia con documento de identificación N° 0102118213, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: DISEÑO DE UN SISTEMA DE CALENTAMIENTO DE AGUA MEDIANTE COLECTORES SOLARES TÉRMICOS PARA LAS PISCINAS DE LA UNIDAD EDUCATIVA FISCOMISIONAL TÉCNICO SALESIANO, realizado por Angel Javier Garcia Alvarez con documento de identificación N° 0106722556 y por John Jairo Ortiz Picon con documento de identificación N° 0107462905, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyecto técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 16 de febrero del 2023

Atentamente,



---

Ing. John Ignacio Calle Sigüencia, PhD.

0102118213

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo técnico realizado lo dedico a mis padre y hermana que han sido mi apoyo a lo largo de toda mi etapa académica, a mi abuelita que también ha sido un gran apoyo para mí, Y a todas personas que de cierta manera me han apoyado e impulsado a seguir adelante, y a mi persona por haber obtenido este gran logro en mi vida.

Angel Javier Garcia Alvarez

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a Dios por haberme guiado en todo este transcurso de tiempo, agradezco a la Universidad Politécnica Salesiana por haberme formado como profesional y persona; agradezco a la Unidad Educativa Fiscomisional Técnico Salesiano, por haberme abierto las puertas de su institución y poder realizar este proyecto; agradezco de manera muy cordial al docente tutor Ing. John Calle, por haber dedicado parte de su tiempo para poder llevar a cabo este trabajo de la mejor manera y compartir sus conocimientos. agradezco también a las personas encargadas de las piscinas de la unidad educativa, que siempre estuvieron a disposición para brindarnos su ayuda. agradezco también a mis padres y hermana por darme la oportunidad de estudiar y brindarme todo su apoyo, como última a mi esfuerzo realizado en este trabajo, a las personas que me han apoyado siempre.

Angel Javier Garcia Alvarez

## **DEDICATORIA**

Este trabajo se lo dedico a Dios por darme la salud y mente, para seguir arduamente en este camino, se lo dedico a mi madre y hermana que me han apoyado de forma incondicional, con ánimos y motivaciones que me hay ayudado a seguir adelante y a toda mi familia por siempre estar apoyándome y aconsejándome.

John Jairo Ortiz Picon

## **AGRADECIMIENTOS**

Doy gracias a Dios por haberme guiado en esta etapa de mi vida, agradezco a la Universidad Politécnica Salesiana por brindarme la educación día a día, agradezco a la Unidad Fiscomisional Técnico Salesiano, por permitirme realizar mi proyecto de titulación y al personal que siempre estuvieron a disposición nuestra, agradezco al docente tutor Ing. John Calle por enseñarme, apoyarme y brindarme sus conocimientos, con el fin de convertirme en un gran profesional. Agradezco a mi madre por haberme apoyado y guiado en este camino, sin su ayuda, nada de esto hubiese sido posible, a mi hermana por acompañarme en los momentos más difíciles de este trayecto, a mi padre por sus innumerables consejos, a mi familia por siempre brindarme ese apoyo y motivación.

John Jairo Ortiz Picon

## **RESUMEN**

En este proyecto de titulación se presenta el diseño de un sistema de calentamiento de agua mediante colectores solares térmicos para las piscinas de la Unidad Educativa Fiscomisional Técnico Salesiano. Actualmente, se utiliza como medio de calentamiento calderos a base de diésel, combustible que con su quema produce una cantidad considerable de emisiones de carbono al ambiente, lo que hace que el sistema produzca contaminación ambiental, pero garantiza las condiciones de confort requeridas para su uso.

En primer lugar, se realiza un análisis de la situación actual del proceso de calentamiento de agua, considerando las horas de uso, la capacidad de la piscina, las temperaturas de confort requeridas y el consumo de combustible con sus respectivas emisiones de CO<sub>2</sub> al ambiente; con esto se definen los requerimientos para el diseño de tal manera que se garanticen las condiciones de confort requeridas para el uso de las piscinas.

Posteriormente, se diseña el sistema de calentamiento con energía solar; para esto se establece el sistema eficiente de uso de los calderos, luego se identifica el tipo de colector solar apropiado para el sistema, y se determina la cantidad de colectores en función del área del techo de las piscinas; a continuación se calcula el aporte de calor que se consigue con los colectores solares y se establece la disminución de emisiones de CO<sub>2</sub> si estos formaran parte de un sistema híbrido, es decir el sistema de calderos conjuntamente con los colectores solares.

Finalmente, se calculan los costos de implementación del sistema y se determina la factibilidad económica de la implementación.

## **ABSTRACT**

In this titling project, the design of a water heating system by means of thermal solar collectors for the swimming pools of Unidad Educativa Fiscomisional Técnico Salesiano. Currently, diesel-based boilers are used as a means of heating, a fuel that with its burning produces a considerable amount of carbon emissions into the environment, which causes the system to produce environmental pollution but guarantees the comfort conditions required for its use.

In the first place, an analysis of the current situation of the water heating process is carried out, considering the hours of use, the capacity of the pool, the required comfort temperatures, and the fuel consumption with their respective CO<sub>2</sub> emissions to the environment; With this, the requirements for the design are defined in such a way that the comfort conditions required for the use of the swimming pools are guaranteed.

Subsequently, the heating system with solar energy is designed; For this, the efficient system for the use of the boilers is established, then the type of solar collector appropriate for the system is identified, and the number of collectors is determined based on the area of the roof of the pools; Next, the heat input that is achieved with the solar collectors is calculated and the reduction in CO<sub>2</sub> emissions is established if these were part of a hybrid system, that is, the boiler system together with the solar collectors.

Finally, the costs of implementing the system are calculated and the economic feasibility of the implementation is determined.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>2. PROBLEMA</b> .....	<b>2</b>
2.1. Antecedentes.....	2
2.2. Importancia y alcances .....	3
2.3. Delimitación .....	3
<b>3. OBJETIVOS</b> .....	<b>4</b>
3.1. Objetivo general .....	4
3.2. Objetivos específicos .....	4
<b>4. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL</b> .....	<b>4</b>
4.1. Energía solar .....	4
4.1.1. Constante solar .....	6
4.1.2. Radiación solar .....	8
4.2. Radiación solar en el Ecuador .....	9
4.3. Termodinámica – Transferencia de calor .....	11
4.3.1. Campos de aplicación de la transferencia de calor .....	12
4.3.2. Transferencia de calor en la Ingeniería.....	13
4.3.3. Mecanismos de transferencia de calor .....	13
4.3.4. Transferencia de calor por conducción.....	14
4.3.5. Transferencia de calor por convección .....	14
4.3.5. Transferencia de calor por radiación .....	15
4.4. Colectores solares .....	16
4.4.1. Colector solar plano.....	17
4.4.2. Colector solar de tubos de vacío.....	18
4.4.3. Colector solar con tubo de calor (Heat pipe).....	19
4.4.4. Colector solar térmico flexible .....	20
4.4.5. Colector solar termosifónico tipo manifold.....	21
<b>5 METODOLOGÍA</b> .....	<b>25</b>
5.1. Metodología de investigación.....	25
5.2. Metodología de proceso.....	25
5.3. Diseño del sistema .....	27
5.3.1. Determinación de la necesidad .....	27
5.3.2. Definición de Variables .....	30
5.3.3. Selección del tipo de colector solar térmico .....	30
5.3.4. Diseño de concepto.....	33
5.3.5. Diseño de los componentes del sistema .....	36
5.3.6. Análisis para el funcionamiento eficiente del sistema de calentamiento de agua con diésel .....	38

5.3.7	Análisis energético del sistema de colectores solares térmicos para obtención de agua caliente .....	80
5.3.8	Análisis estructural de la cubierta que soportara los colectores .....	85
5.3.9	Integración física del sistema solar térmico con el sistema de calderos .....	88
<b>6</b>	<b>Análisis Técnico Financiero .....</b>	<b>91</b>
6.1	Análisis de precios unitarios .....	91
6.2	Análisis de retorno de inversión de los sistemas .....	94
6.3	Análisis de tasa inversión de retorno .....	94
<b>7</b>	<b>Análisis de resultados .....</b>	<b>95</b>
<b>8</b>	<b>Conclusiones.....</b>	<b>99</b>
<b>9</b>	<b>Recomendaciones.....</b>	<b>101</b>
<b>10</b>	<b>Bibliografía.....</b>	<b>101</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b>	Metodología de investigación.....	26
<b>Tabla 2.</b>	Parámetros de funcionamiento actuales de las piscinas. ....	29
<b>Tabla 3.</b>	Determinación de variables luego de aplicar las entrevistas. ....	30
<b>Tabla 4.</b>	Opciones de colectores solares térmicos. ....	31
<b>Tabla 5.</b>	Matriz de ponderación para selección de colectores solares. ....	32
<b>Tabla 6.</b>	componentes del sistema .....	35
<b>Tabla 7.</b>	Subsistemas del sistema de calentamiento de agua por colectores solares térmicos. ....	35
<b>Tabla 8.</b>	Datos de radiación solar en la zona de instalación. ....	36
<b>Tabla 9.</b>	Datos técnicos del colector solar térmico termosifónico.....	37
<b>Tabla 10.</b>	Coeficientes de conductividad térmica de los materiales. ....	41
<b>Tabla 11.</b>	Datos técnicos del quemador. ....	51
<b>Tabla 12.</b>	Resumen de todos los análisis realizados de la piscina pequeña.....	59
<b>Tabla 13.</b>	Datos técnicos del quemador de la piscina grande. ....	72
<b>Tabla 14.</b>	Resumen de todos los análisis de la piscina grande (semiolímpica). ....	79
<b>Tabla 15.</b>	Resumen de energía generada por colectores térmicos de la piscina pequeña y consumo de diésel.....	81
<b>Tabla 16.</b>	resumen de energía generada por colectores térmicos de la piscina grande. ....	82
<b>Tabla 17.</b>	Balance energético total.....	83
<b>Tabla 18.</b>	Consumo actual de diésel en las piscinas de la institución.....	84
<b>Tabla 19.</b>	Comparativa de sistemas y ahorro de dinero.....	84
<b>Tabla 20.</b>	Relación de contaminación del sistema actual y el híbrido y el ahorro de contaminación.....	85
<b>Tabla 21.</b>	Consideraciones de sobrecargas de la estructura bajo la normativa INEN. ..	86
<b>Tabla 22.</b>	Capacidad de carga en la estructura. ....	88
<b>Tabla 23.</b>	Análisis de costos para el sistema de colectores solares. ....	91
<b>Tabla 24.</b>	Análisis de costos del sistema de soporte de los colectores solares. ....	92

<b>Tabla 25.</b> Análisis de costos del sistema de tuberías y bombas.....	93
<b>Tabla 26.</b> Costo total de oferta del sistema híbrido. ....	94
<b>Tabla 27.</b> Consumo de combustible de los tres sistemas .....	94
<b>Tabla 28.</b> Flujo de tasa inversión de retorno en 10 años .....	94
<b>Tabla 29.</b> Consumo actual del sistema en un análisis inicial realizado. ....	95
<b>Tabla 30.</b> Requerimientos de funcionamiento óptimo para piscina pequeña. ....	96
<b>Tabla 31.</b> Requerimientos de funcionamiento óptimo para piscina pequeña. ....	96
<b>Tabla 32.</b> Aporte energético de los colectores solares a las piscinas.....	97
<b>Tabla 33.</b> Comparativa de emisiones de los tres sistemas. ....	98
<b>Tabla 34.</b> Comparativa de costos en los tres sistemas. ....	98
<b>Tabla 35.</b> Taza de inversión de retorno en un periodo de 10 años. ....	99

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Tipos de radiación sobre la superficie terrestre [5].....	5
<b>Figura 2.</b> Rango de radiación solar en la atmósfera terrestre [6].....	6
<b>Figura 3.</b> Espectro Electromagnético [9].....	6
<b>Figura 4.</b> Balance energético del sol [10].....	7
<b>Figura 5.</b> Constante solar en el punto de entrada a la atmósfera [11]. ....	8
<b>Figura 6.</b> Tipos de radiación solar [11]. ....	9
<b>Figura 7.</b> Mapa solar de Ecuador [12]. ....	10
<b>Figura 8.</b> Mapa de radiación solar promedio anual del cantón Cuenca [12].....	11
<b>Figura 9.</b> Representación donde se observa que el calor fluye en dirección de la temperatura decreciente [14]. ....	12
<b>Figura 10.</b> Transferencia de calor por conducción en distintas fases de la materia [14]. .....	14
<b>Figura 11.</b> Transferencia de calor por convección [14].....	15
<b>Figura 12.</b> Transferencia de calor por radiación [14]. ....	16
<b>Figura 13.</b> Colector solar térmico de placa plana partes [18].....	17
<b>Figura 14.</b> Colector solar térmico de placa plana [20]. ....	18
<b>Figura 15.</b> Partes de tubo de vacío del colector solar de tubos de vacío[22]. ....	19
<b>Figura 16.</b> Colector solar de tubos de vacío[23].....	19
<b>Figura 17.</b> Tubos de colector solar de tubos de vacío con tubo de calor (Heat Pipe) [22]. .....	20
<b>Figura 18.</b> Colector solar con tubos de vacío con tubo de calor (Heat Pipe)[24].....	20
<b>Figura 19.</b> Colector solar térmico sin cubierta flexible (ALMACHE ALMEIDA JACQUELINE ALEXANDRA, ANDRADE BECERRA SEBASTIÁN ALEXANDER, 2016). ....	21
<b>Figura 20.</b> Colector solar térmico Termosifónico [27].....	21
<b>Figura 21.</b> Efecto Termosifónico [27] .....	22
<b>Figura 22.</b> Conexión de colectores solares en serie [28].....	23
<b>Figura 23.</b> Conexión de colectores solares térmicos en paralelo con retorno invertido [28].....	23
<b>Figura 24.</b> Conexión de colectores solares térmicos en paralelo con válvulas de equilibrio[28]. ....	24

<b>Figura 25.</b> Diagrama de flujo de la metodología.....	26
<b>Figura 26.</b> Entrevista realizada al docente responsable de las piscinas de la institución. .....	27
<b>Figura 27.</b> Entrevista realizada al encargado de las piscinas de la institución. ....	28
<b>Figura 28.</b> Estado actual de las piscinas de la Unidad Educativa Fiscomisional Técnico Salesiano.....	29
<b>Figura 29.</b> Variables para el diseño. ....	32
<b>Figura 30.</b> Colector solar térmico seleccionado como óptimo con puntuación de 94.9%. .....	33
<b>Figura 31.</b> Vista superior externa del diseño de concepto de colectores solares térmicos. .....	34
<b>Figura 32.</b> Vista superior interna de las insolaciones de las piscinas. ....	34
<b>Figura 33.</b> Bomba que propulsa el agua de la piscina pequeña.....	39
<b>Figura 34.</b> Placa técnica de la bomba que propulsa el agua de la piscina pequeña. ....	39
<b>Figura 35.</b> Curva de rendimiento de bomba de agua usada para propulsar el agua de las piscinas [30].....	39
<b>Figura 36.</b> Esquema piscina pequeña. ....	40
<b>Figura 37.</b> Sección de la piscina pequeña.....	41
<b>Figura 38.</b> Medidas de ladrillo rojo común [31].....	41
<b>Figura 39.</b> Temperatura de agua de cebado para piscina.....	45
<b>Figura 40.</b> Esquema de funcionamiento de la piscina pequeña.....	49
<b>Figura 41.</b> Caldero de piscina pequeña.....	50
<b>Figura 42.</b> Quemador de la piscina, SF Oil Burner 1.25 to 5.50 GPH   AC power [35]. .....	51
<b>Figura 43.</b> Multímetro y termopar tipo K usado en la medición de la piscina pequeña.54	
<b>Figura 44.</b> Toma de temperatura piscina pequeña inicialmente.....	55
<b>Figura 45.</b> Temperatura luego del transcurso de una hora, sistema totalmente apagad, situación más desfavorable.....	56
<b>Figura 46.</b> Grupo de bombas que propulsan el agua de la piscina grande (semiolímpica) .....	60
<b>Figura 47.</b> Curva de rendimiento de bomba que se usa para la propulsión de agua en la piscina grande (semiolímpica)[30]. ....	60
<b>Figura 48.</b> Dimensiones de la piscina grande (semiolímpica).....	63
<b>Figura 49.</b> Sección de la piscina grande (semiolímpica).....	63
<b>Figura 50.</b> Medidas de ladrillo rojo común[31].....	63
<b>Figura 51.</b> Temperatura de cebado del agua de cebado para la piscina grande (semiolímpica). ....	67
<b>Figura 52.</b> Esquema de funcionamiento de la piscina grande (semiolímpica). ....	70
<b>Figura 53.</b> Caldero para calentado de agua de la piscina grande (semiolímpica) .....	71
<b>Figura 54.</b> Quemador de la piscina, SF Oil Burner 1.25 to 5.50 GPH   AC power [35]. .....	72
<b>Figura 55.</b> Temperatura de la piscina grande (semiolímpica). ....	75
<b>Figura 56.</b> Temperatura de la piscina grande (semiolímpica) luego de una hora apagado todo el sistema para recrear la situación más desfavorable. ....	76
<b>Figura 57.</b> Precios de combustibles con vigencia hasta el 11 de febrero de 2023 [37]. 84	
<b>Figura 58.</b> Estructura de cubierta de las piscinas de la institución Técnico Salesiano.. 86	
<b>Figura 59.</b> Ubicación de las cargas en la estructura. ....	87

<b>Figura 60.</b> Estructura armada de forma realista.....	87
<b>Figura 61.</b> Simulación de consideraciones de cargas de la estructura.....	88
<b>Figura 62.</b> Diseño 3D de las conexiones de agua fría, agua caliente y colectores. ....	89
<b>Figura 63.</b> Diseño a detalle de sistema híbrido vista superior. ....	90
<b>Figura 64.</b> Diseño 3D realista del sistema .....	90

## ÍNDICE DE ECUACIONES

<b>Ecuación 1.</b> Área de colector termosifónico.....	37
<b>Ecuación 2.</b> Calor incidente .....	37
<b>Ecuación 3.</b> Pérdidas de calor .....	38
<b>Ecuación 4.</b> Calor útil. ....	38
<b>Ecuación 5.</b> Energía total útil de colector .....	38
<b>Ecuación 6.</b> Resistencia térmica. ....	42
<b>Ecuación 7.</b> Resistencia Térmica total.....	42
<b>Ecuación 8.</b> Calor por pérdidas.....	43
<b>Ecuación 9.</b> Área.....	43
<b>Ecuación 10.</b> Perdidas por conducción en pared de piscina. ....	44
<b>Ecuación 11.</b> Calor por convección .....	45
<b>Ecuación 12.</b> Volumen de un cuerpo. ....	46
<b>Ecuación 13.</b> Masa de un cuerpo. ....	46
<b>Ecuación 14.</b> Calorimetría. ....	46
<b>Ecuación 15.</b> Volumen de aire por persona. ....	47
<b>Ecuación 16.</b> Masa de aire por persona. ....	47
<b>Ecuación 17.</b> Fórmula de calorimetría para pérdidas por ventilación y personas. ....	48
<b>Ecuación 18.</b> Perdidas de calor totales .....	48
<b>Ecuación 19.</b> Flujo calórico. ....	51
<b>Ecuación 20.</b> Tiempo de calentado .....	52
<b>Ecuación 21.</b> Calor total con pérdidas. ....	53
<b>Ecuación 22.</b> Tiempo incluyendo perdidas.....	53
<b>Ecuación 23.</b> Ley de enfriamiento de Newton.....	54
<b>Ecuación 24.</b> Dedución de la ecuación de la ley de enfriamiento de Newton. ....	54
<b>Ecuación 25.</b> Consumo de diésel. ....	58
<b>Ecuación 26.</b> Interpolación lineal. ....	61
<b>Ecuación 27.</b> Número de colectores mediante energía aportada .....	80
<b>Ecuación 28.</b> Consumo de combustible en la noche.....	81
<b>Ecuación 29.</b> Número de colectores mediante energía aportada .....	82
<b>Ecuación 30.</b> Consumo de combustible en la noche.....	82
<b>Ecuación 31.</b> Ahorro de combustible por día .....	83

# **DISEÑO DE UN SISTEMA DE CALENTAMIENTO DE AGUA MEDIANTE COLECTORES SOLARES TÉRMICOS PARA LAS PISCINAS DE LA UNIDAD EDUCATIVA FISCOMISIONAL TÉCNICO SALESIANO.**

## **1. INTRODUCCIÓN**

A nivel mundial se practica la natación tanto en el ámbito educativo como el deporte, considerándola una parte fundamental para ambientes recreacionales. Esta actividad se lleva a cabo con personas de todas las edades, que pueden ser adultas, jóvenes y niños. Para esto es necesario contar con características adecuadas para el desempeño de cualquier deporte especialmente para las actividades deportivas que demandan características específicas como, accesorios, infraestructura, personal, etc.; enlazado a esto también demandan un importante consumo energético.

Como es sabido en todo el mundo para el desarrollo de la natación se debe cumplir con ciertas características en las piscinas, estas deben estar atemperadas según sea la actividad para desarrollar; esto significa un gran consumo de energía calórica para poder atemperar una piscina. Dicha energía se obtiene generalmente por la quema de combustibles fósiles que serían: Diesel, carbón, gas licuado de petróleo (GLP), etc.

Esto supone un gran enigma debido a que estos combustibles fósiles son provenientes de fuentes no renovables, esto significa que a lo largo que pasa el tiempo estas fuentes se agotan, lo que hace que se busquen otro tipo de energías (energía nuclear, energía solar, biomasa, etc.), como una alternativa, para el desarrollo sostenible de las personas [1], debido a que, los combustibles fósiles son también un gran contaminante, porque la mayoría de las personas dependen de estos para sus actividades como, industriales, transporte, obtención de energía, obtención de productos, etc. Las altas emanaciones que suponen todos estos procesos son de gases de efecto invernadero residuales de la combustión de los mismos, lo que incrementa en gran medida la huella de carbono de las ciudades del mundo.

Concretamente, lo que se busca es reducir la contaminación ambiental; por lo tanto, una alternativa viable ha sido pensar en lo que se conoce a día de hoy como energías renovables que según: Twidell y Weir es *“energía que se obtiene a partir de corrientes de energía continuas y recurrentes en el mundo natural”* [2]. Simplemente, un tipo de energía que a lo largo del tiempo está en constante renovación en lapsos de tiempo cortos

de forma natural en la naturaleza. Entonces, este tipo de energías ofrecen sostenibilidad a los diferentes procesos llevados a cabo por las personas, como es el caso de atemperar piscinas, siendo más amigables con el medioambiente y favoreciendo la reducción de emisiones de gases nocivos para la atmósfera.

Sin embargo, es tarea de todos pensar en la reducción de la contaminación ambiental, por tal motivo, en Ecuador, concretamente en la ciudad de Cuenca se vio esta necesidad, ya que se tiene la disponibilidad de radiación solar y puede ser utilizada para varios propósitos entre ellos el calentamiento de agua para piscina, que permite una reducción de contaminación ambiental, lo que significaría un paso más para una sociedad eco amigable, favoreciendo la implementación de energías renovables a nivel del Ecuador, siendo una manera sostenible de la obtención de energía para pasarla a otros propósitos como sería atemperar agua para ciudades de clima frío; para las actividades varias que se pueden desempeñar como uso recreacional o deporte.

La intención presente proyecto de titulación es analizar la obtención de agua caliente para el uso en piscinas, tomando como lugar de estudio la Unidad Educativa Fiscomisional Técnico Salesiano de la ciudad de Cuenca, Ecuador. El propósito es plantear el uso de un sistema de calentamiento de agua mediante colectores solares térmicos, lo que permitirá la integración de la energía solar térmica para la producción de agua caliente, apoyando a la sostenibilidad del país a fin de disminuir la contaminación ambiental y que a su vez establecer la factibilidad económica de la implementación para el desarrollo de esta actividad.

## **2. PROBLEMA**

### **2.1. Antecedentes**

El calentamiento de agua para piscinas se realiza generalmente por medio de calderos o calefones donde se queman combustibles como, diésel, gas licuado de petróleo (GLP), etc. Permite alcanzar temperaturas de confort para el ser humano que se estima entre los 27 a 29 °C, en consecuencia, por la quema de los combustibles, se genera contaminación ambiental, gases de efecto invernadero que destruye la capa de ozono, creando alteraciones climáticas y aumentando los niveles de CO<sub>2</sub> en el medio.

Actualmente, en la ciudad de Cuenca - Ecuador, es necesario calentar agua para el uso de las piscinas, haciendo que las distintas actividades como son recreativas, entrenamientos, deportes; sean más amenas para las personas, puesto que, la ciudad se ubica en la región

andina del país en donde se cuenta con un clima frío. Por tal motivo, es necesario que el agua esté atemperada para un correcto desarrollo de las diferentes actividades que se quieran realizar, de esta manera cumpliendo con ciertos requerimientos que demandan algunos deportes que se practican en este medio.

En la Unidad Educativa Fiscomisional Técnico Salesiano, se tiene dos piscinas, una semiolímpica (25 x 12.5 x 1.70 m) y otra para niños (8 x 4 x 1m), en donde se calienta el agua mediante dos calderos de tipo artesanal con alimentación a diésel. Uno de los dos calderos está destinado solo para el calentamiento del agua de la piscina semiolímpica, el otro caldero para la piscina pequeña y las duchas del establecimiento.

El consumo energético de diésel quemado representa 2000 galones en un período de 3 meses, con lo que en cada mes se consume 667 galones (Datos levantados en la institución). Esto representa un significativo consumo de diésel, que generan altas emisiones de gases nocivos al medioambiente, incrementando la huella de carbono en la ciudad; si se sabe que por cada litro de diésel consumido se genera 2,6 kg de metano  $CO_2(CH_4)$ , óxidos de nitrógeno ( $NO_x$ ), etc. El uso de este combustible generaría al mes 6640,41 kg de este tipo de gases [3]. Además, genera altos costos. No obstante, se contamina al momento de extraer petróleo como materia prima, empleado para la producción de combustibles.

## **2.2. Importancia y alcances**

Una vez comprendido el problema de contaminación que genera la quema de combustibles fósiles (diésel) en la Unidad Educativa Fiscomisional Técnico Salesiano, mediante preguntas realizadas a los encargados de las piscinas se identifica un incremento considerable en la huella de carbono que genera mantener las piscinas atemperadas para el uso de los estudiantes, generando gases nocivos para el medioambiente, lo que representa un alto costo. Por ello, es importante implementar fuentes de energía renovables para disminuir la contaminación que genera, de esta manera reducir la huella de carbono de la institución educativa, para garantizar una actividad más amigable con el medioambiente.

## **2.3. Delimitación**

El presente proyecto ofrece una solución para disminuir la contaminación ambiental generada por la quema de combustibles fósiles, usados para el calentamiento de agua de

piscinas, sin embargo, se puede implementar en diferentes zonas del país, específicamente en zonas de clima frío, con el fin de disminuir la contaminación ambiental.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1. Objetivo general**

Diseñar un sistema de calentamiento de agua mediante colectores solares térmicos para las piscinas de la Unidad Educativa Fiscomisional Técnico Salesiano, considerando la radiación solar, el consumo de agua y la infraestructura arquitectónica y civil que posee.

#### **3.2. Objetivos específicos**

- Realizar un análisis de la situación actual del calentamiento de agua de las piscinas para determinar la contaminación ambiental que genera, el consumo de agua, el consumo de combustible, el uso de las piscinas y condiciones de confort.
- Diseñar un sistema de calentamiento de agua empleando tecnología solar actual que permita, cumplir las condiciones requeridas para el uso de esta y validar mediante software de ingeniería el sistema diseñado.
- Determinar los costos de implementación para establecer la factibilidad económica del sistema mediante el análisis de costos unitarios para establecer la rentabilidad del sistema.

### **4. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL**

En primer lugar, se analiza los conceptos básicos de energía solar, poniendo especial atención en la irradiación, variable requerida para el análisis energético, en segundo lugar, se estudia los fundamentos de termodinámica y transferencia de calor requeridos para los diseños térmicos y finalmente se revisan los diferentes tipos de colectores solares utilizados para calentamiento de agua para piscina.

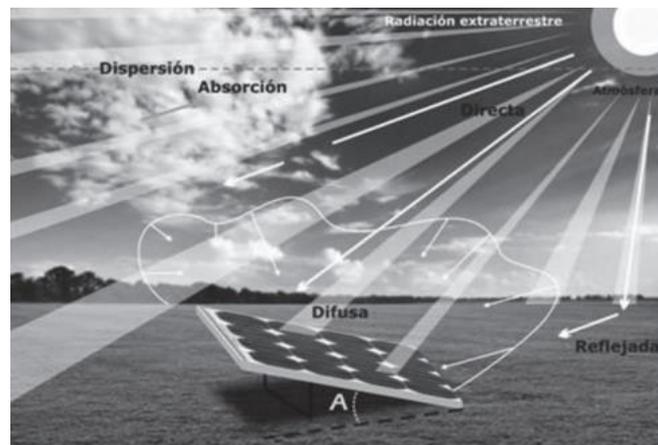
#### **4.1. Energía solar**

El origen de todas las formas y expresiones de energía es el sol en todo el planeta Tierra, tanto es así, que los seres vivos no se desarrollarían si no existieran seres fotosintéticos, y estos no existieran si no hubiera un sol que emane constantemente radiación solar. Si bien es cierto, la radiación solar es un fenómeno ocasionado de la fusión nuclear que se da en el sol, de la energía proveniente de este, que es la que mueve nuestro medio en el que vivimos, solo el 0.1 % es absorbido por las plantas en la fotosíntesis; sin embargo, en la actualidad este consumo energético tiene un incremento de diez veces más a

comparación del consumo energético del mundo. Entonces, el poder energético del sol es el predominante en la Tierra como una fuente renovable, potencial y aprovechable; por lo tanto, la emisión de radiación solar se la conoce como, constante solar, pero el término aceptado por la sociedad es el de: irradiación solar total, esto para estar conscientes de su variabilidad real con respecto al tiempo [4].

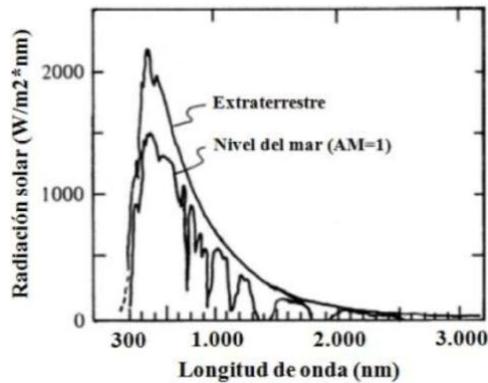
La radiación emitida por el sol llega a la superficie terrestre con un valor estimado de  $1360, W/m^2$  pero conforme la radiación avanza hasta llegar a la atmósfera, se encuentra una radiación efectiva de aproximadamente  $1000, W/m^2$  este fenómeno se debe a la distancia de separación entre la atmósfera y la corteza terrestre [5].

La radiación solar se clasifica en tres tipos, como muestra la figura 1.



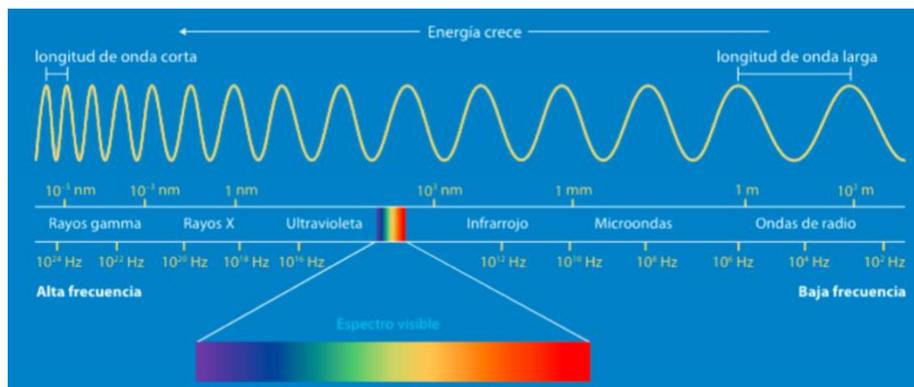
**Figura 1.** Tipos de radiación sobre la superficie terrestre [5].

La radiación que se recibe en el planeta como energía desprendida por el sol en configuración de radiación solar posee una longitud de onda entre 300 y 2500 nm, este tipo de onda no sería visible al ojo humano, porque la radiación visible está entre valores de 400 y 700 nm, lo que representa casi un 50 % de la radiación total mostrada en la figura 2 [6].



**Figura 2.** Rango de radiación solar en la atmósfera terrestre [6].

Entonces las ondas electromagnéticas son también las llamadas la radiación electromagnética, que pueden ser de dos fuentes, la una natural y la otra artificial, todo esto se refiere a un espectro electromagnético que es la agrupación de todas las frecuencias (cantidad de ciclos por la unidad de tiempo) posibles a las que ocurre la radiación electromagnética, teniendo en cuenta que el límite inferior del espectro es cero debido a que no existen frecuencias de carácter negativo; por otro lado, el superior es hasta el Infinito ( $\infty$ ) (figura 3). Con la instrumentación actual se ha establecido frecuencias electromagnéticas inferiores a  $30\text{Hz}$  y superiores a rangos de  $2.9 \times 10^{27}\text{ Hz}$ . En particular, el sistema gaussiano permite establecer que la velocidad de la luz es con la que se propaga en el vacío es:  $c = 299\,792\,458\text{ m/s}$  [7] [8].



**Figura 3.** Espectro Electromagnético [9].

#### 4.1.1. Constante solar

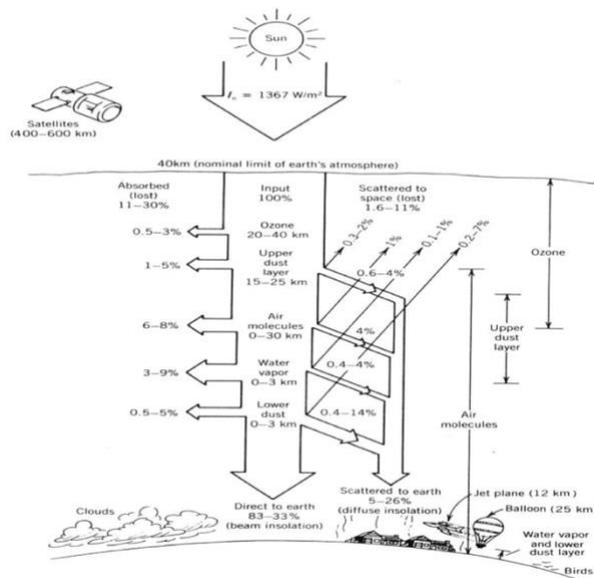
En términos energéticos, la masa del sol que por segundo irradia al espacio en forma de partículas con elevada energía y de radiación electromagnética, un aproximado de  $5.6 \times 10^{35}\text{ GeV}$  (Radiación extraterrestre) y de ella, en la Tierra, se percibe en su parte exterior en donde se encuentra la atmósfera un total de:  $1.73 \times 10^{14}\text{ kW}$  o lo que es lo

mismo,  $1,366.1 \text{ W/m}^2$  que se conoce como constante solar ( $G_{sc}$ ) sabiendo que se tiene una variación de  $\pm 3\%$ , esto ocasionado por el cambio periódico en la distancia que existe entre el sol y la Tierra.

Sin embargo, la atmósfera y la superficie terrestre varían en temperaturas medias, pero distintas, por tanto, también irradia energía, haciendo que la longitud de onda de la radiación solar fluctúe entre  $0.05 \mu\text{m}$  y  $4 \mu\text{m}$  mientras que la radiación terrestre está por  $3 \mu\text{m}$  y  $80 \mu\text{m}$  se refieren a emisiones de onda larga. Con lo que se puede identificar que hay dos fuentes de la variación de la radiación solar extraterrestre que deben ser tomadas en cuenta:

**a. La variación intrínseca de la radiación emitida por el sol**

De acuerdo con el estado del arte se pueden encontrar diversas interpretaciones de estos cambios, muchas de ellas contradictorias. En consecuencia, está la incertidumbre, debido a que son valores muy pequeños en comparación a las fluctuaciones atmosféricas, la energía irradiada por el sol puede considerarse constante de uso en ingeniería (figura 4).



**Figura 4.** Balance energético del sol [10].

**b. La variación de la distancia Tierra – Sol**

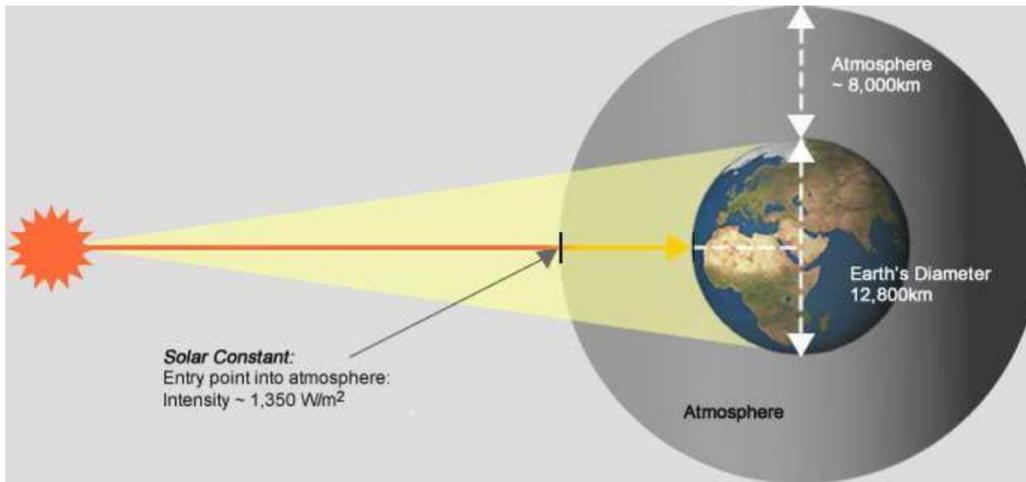
Llamada así por generar una variación de flujo de radiación con un rango de  $\pm 3 \%$  (figura 5); la dependencia de la radiación extraterrestre con el día del año se expresa por la siguiente ecuación:

$$G_{on} = G_{sc} \left( 1 + 0.033 \cos \frac{360 N}{365} \right)$$

Donde:

N: día del año específico.

$G_{sc}$ : constante solar,  $1.366k W/m^2$  [10].



**Figura 5.** Constante solar en el punto de entrada a la atmósfera [11].

#### 4.1.2. Radiación solar

Es la energía que emite, viaja por el sol y llega a la atmósfera terrestre, siendo la principal participante en procesos como, el ciclo del agua, cambios de presión en la masa terrestre y la fotosíntesis en las plantas. Entonces, de la gran cantidad de energía que entrega constantemente el sol; una parte llega a la atmósfera de la tierra como radiación solar, de ella un tercio es repelida y enviada de vuelta al espacio en consecuencia de los fenómenos de la refracción y reflexión que ocurren en la atmósfera de la tierra; los dos tercios restantes, una parte es absorbida directamente por las capas de la atmósfera que rodean la Tierra y lo que queda llega directamente al globo terráqueo por dos diferentes vías: la primera directamente, es decir; que cae directamente sobre los objetos en la Tierra; la segunda indirectamente, como reflejo de la radiación solar que a su vez es absorbida por el polvo y el aire presente en el ambiente terrestre. Englobando varios tipos de radiación solar:

##### a. Radiación Directa

Se le conoce así debido a que se percibe directamente del sol, sin experimentar dispersión alguna que pueda afectarla por su paso en la atmósfera. Entendiéndose que la radiación

extraterrestre es la misma que se conoce como radiación directa, en algunas representaciones se usa el subíndice “b” para referirse a este tipo de radiación.

### b. Radiación Difusa

Se identifica así a la radiación solar que ha sido dispersada por el paso de la atmósfera terrestre, es la misma que se percibe a través de las nubes, de la misma forma que viene del cielo azul; en el caso de que no existiera radiación difusa, el cielo sería de apariencia negra, aunque sean horas de la luz del día, como es el caso de la luna; esta radiación se representa con el subíndice “d”.

### c. Radiación Terrestre

Se le conoce de esta manera porque viene de objetos que se encuentran en la Tierra, por ejemplo, el reflejo de una pared blanca, un lago, etc.

### d. Radiación Total

Es la que comprende la sumatoria de las radiaciones directa, difusa, terrestre que se percibe en una superficie; la radiación total que incide sobre superficie horizontal, conocida como radiación global (figura 6), que es igual a la sumatoria de la difusa y la directa. [11]



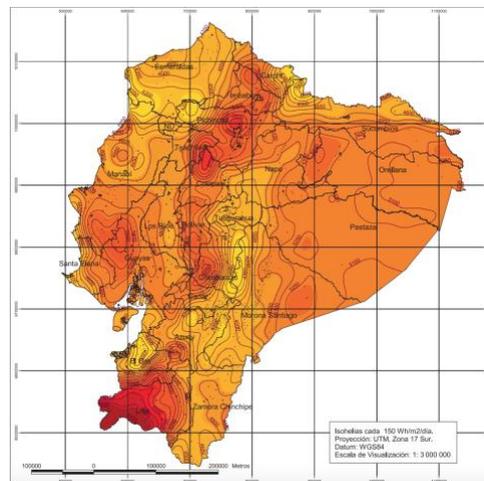
Figura 6. Tipos de radiación solar [11].

## 4.2. Radiación solar en el Ecuador

El Ecuador es un país con mucha variación en características climatológicas debido a su ubicación geográfica, confiriéndole condiciones exclusivas, dándole un potencial muy alto para el uso de energías renovables o limpias, mismas que no deben ser ignoradas del

inventario de recursos energéticos para la generación de energía eléctrica o térmica, presenta satisfacción y solvencia para la demanda de energías limpias, estrechamente en la producción de energía eléctrica.

Hace falta un planteamiento de políticas regulatorias para motivar el uso y aprovechamiento de energías renovables, a su vez generar desarrollo, sobre todo en zonas rurales, favoreciendo aquellas que tienen la disponibilidad en el país (figura 7); sin embargo, el calor recogido por la emanación del sol en su mayoría por colectores solares sacia cuantiosas necesidades de las comunidades e industria, así tenemos: calefacción, refrigeración, hornos, etc. en aplicaciones agrícolas, la producción de secadores, plantas de purificación de agua y desalinización de agua de mar [12].

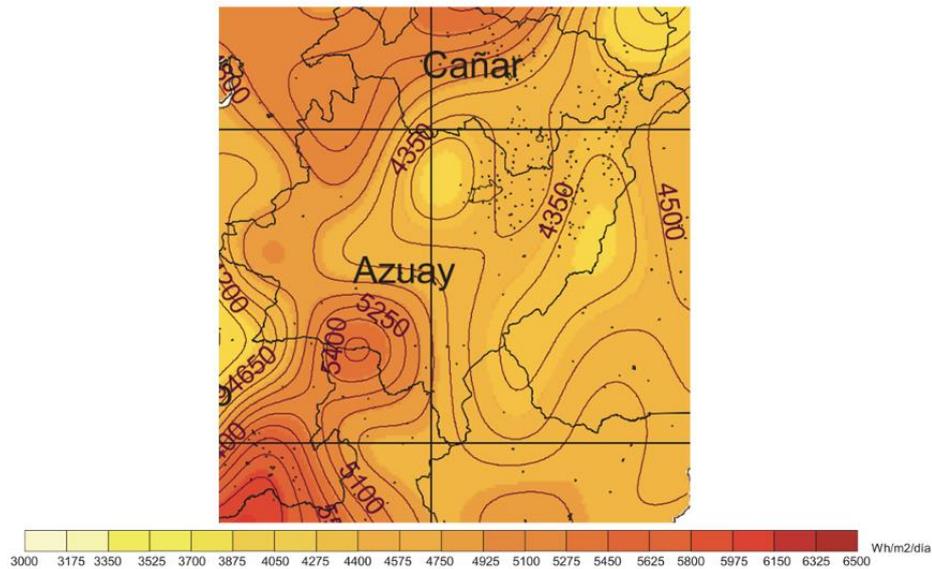


**Figura 7.** Mapa solar de Ecuador [12].

La radiación solar en Ecuador se considera una fuente de energía renovable ecológica, debido a que la contaminación generada por gases que producen efecto invernadero que incrementan la contaminación ambiental en las ciudades; la radiación solar se monitorea de manera frecuente en ciudades como, Quito, Guayaquil, Cuenca, etc. en el país la energía solar térmica se considera una energía limpia que puede suplir necesidades energéticas.

En la región sierra, durante los 6 primeros meses se tiene una estimación de radiación correspondiente a:  $4.4 \text{ kW}/\text{m}^2 \text{ día}$  mientras que en el resto del año la radiación incrementa a un valor estimado de:  $4.8 \text{ kW}/\text{m}^2 \text{ día}$  [13].

Por lo que en este caso se analiza en el cantón Cuenca la radiación que se genera por el sol en esta zona del país, como se muestra en la figura 8.



*Figura 8. Mapa de radiación solar promedio anual del cantón Cuenca [12].*

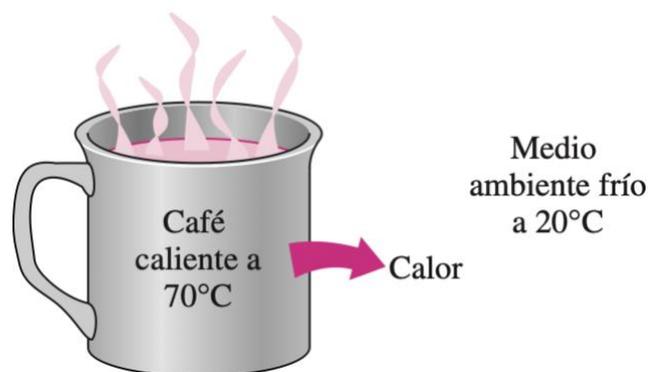
### 4.3. Termodinámica – Transferencia de calor

La termodinámica comprende la parte de transferencia de calor, en donde se tiene un sistema que pasa por una fase de estado de equilibrio a otra y no hace referencia al tiempo que durará ese proceso; en ingeniería la mayoría de las veces es de interés la rapidez o razón de esa transferencia, lo que engloba todo el tema de la Transferencia de calor.

En la realidad, se ha visto que un recipiente con un líquido frío dejado en una habitación a temperatura ambiente se entibia y el mismo líquido entibiado se lo introduce a un refrigerador, se enfría. Esto es afectado por el fenómeno de la transferencia de energía que se da en un medio frío, la transferencia de energía siempre se da del medio que posee una temperatura elevada hacia el medio que tiene menor temperatura y esa transferencia de energía se termina cuando los dos medios se igualan en temperaturas.

La energía existe en diferentes formas, sobre todo la energía calórica, siendo la que se puede transferir de un medio a otro, como resultado de la variación de temperaturas en dos medios; la ciencia que determina las razones de estas variaciones es la transferencia de calor, se puede determinar la cantidad de transferencia de calor para cualquier sistema que se someta a cualquier proceso; con solo la aplicación de un análisis termodinámico, debido a que la termodinámica es la que se interesa por la cantidad de transferencia calor a medida que un sistema pasa por un proceso, de un estado de equilibrio a otro, esta no indica el tiempo que transcurrirá.

Un análisis termodinámico lo que nos indica es cuanto calor se debe transferirse para que se lleve a cabo un cambio de estado específico con un fin determinado y de esta manera cumplir con el principio de la conservación de la energía, este fenómeno es más experimentado en la transferencia de calor (transferencia de calor por unidad de tiempo) que la cantidad de este último. Por ejemplo, se puede determinar la cantidad de calor transferido de un elemento que posee un líquido en su interior a una temperatura de  $90^{\circ}\text{C}$  hasta una disminución de  $80^{\circ}\text{C}$  con el empleo de un análisis termodinámico. En la ingeniería se presta más atención al tiempo que transcurrirá, pasar el líquido caliente de  $90^{\circ}\text{C}$  a  $80^{\circ}\text{C}$ ; entonces, este fenómeno de análisis termodinámico no puede dar respuesta, a la determinación de las razones de transferencia de calor hacia un elemento y de este a otro, los tiempos de calentamiento y enfriamiento; así como la diferencia de la temperatura son el campo de estudio de la transferencia de calor (figura 9)[14].



*Figura 9. Representación donde se observa que el calor fluye en dirección de la temperatura decreciente [14].*

#### 4.3.1. Campos de aplicación de la transferencia de calor

Comúnmente la transferencia de calor tiene sus aplicaciones en los diferentes campos de la ingeniería y otros aspectos de la vida cotidiana; aun así, no es necesario ir lejos para identificar algunas de sus áreas de aplicación. El cuerpo humano está emanando calor constantemente hacia los alrededores y el confort humano está ligado también a la razón de pérdida de calor, por ejemplo, regularizamos la transferencia de calor al ajustar nuestra ropa a las condiciones ambientales de nuestro espacio.

En tanto que, muchos de los aparatos domésticos que usamos día a día están diseñados a base de la transferencia de calor, algunos de ellos caen en aplicaciones eléctricas o de uso de gas: sistema de calefacción, sistema de acondicionamiento de aire, refrigerador, congelador, calentador de agua, plancha de ropa, la televisión e incluso las computadoras;

en la mayoría de los hogares eficientes con respecto al aprovechamiento de energía son diseñados con el propósito de minimizar la pérdida de calor en tiempo de invierno y la ganancia de calor en la etapa de verano.

#### 4.3.2. **Transferencia de calor en la Ingeniería**

En la ingeniería la transferencia de calor es la que se encarga del diseño de equipos que funcionan con este fenómeno o que están expuestos a él como, intercambiadores de calor, calderas, condensadores, radiadores y colectores solares están basados en un diseño que considera la transferencia de calor, pero esta ciencia, no por eso está exenta de obstáculos que se presentan en la práctica, se pueden tomar como dos grupos: 1) de capacidad Nominal, 2) de dimensionamiento.

Problemas de capacidad nominal, hacen referencia a la determinación de la razón de transferencia calor para un sistema ya existente sometido a una variación de temperatura específica, los problemas de dimensionamiento se refieren a la determinación del tamaño de un sistema con el fin de transferir calor a una razón determinada para una diferencia establecida de temperatura.

Por tal motivo, un equipo o proceso de ingeniería puede analizarse de forma experimental (realización de pruebas y toma de mediciones) o en forma analítica (mediante el análisis o la elaboración de cálculos), el proceder experimental posee la ventaja de que se trabaja con el sistema físico real y la cantidad que se requiere se determina por medición dentro de lo que supone un error experimental. Por otro lado, este proceder es de alto costo, demorado y con frecuencia no práctica, incluso el sistema de estudio en algunos casos puede no existir; por ejemplo, los sistemas de calefacción y de plomería de edificios deben ser dimensionados de acuerdo con especificaciones dadas antes de la construcción en realidad; el procedimiento analítico (incluye el procedimiento numérico) su principal ventaja es que es rápido y representa un bajo costo, los resultados que se obtengan están sujetos a la precisión de las suposiciones, de aproximaciones y de idealizaciones establecidas en el análisis, más aún en los análisis ingenieriles, la mayoría de las veces se logra un buen término medio al disminuir los posibles diseños a unos cuantos, a través del estudio y verificado después en forma experimental los hallazgos [14].

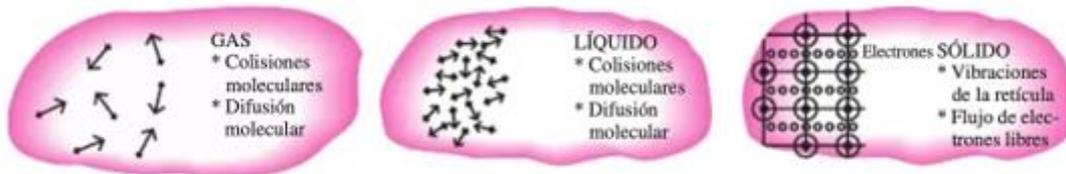
#### 4.3.3. **Mecanismos de transferencia de calor**

En transferencia de calor hay muchas formas en las que puede ocurrir el calor de una región a otra, pero siempre cumple la regla que la transferencia de calor que se da de la

región con más calor a la que posee menos calor o está fría; desde una referencia continua, todos los mecanismos o modos de transferencia de calor no solo se presentan en fases, sino también en interfases.

#### 4.3.4. Transferencia de calor por conducción

Este mecanismo de transferencia de energía calórica se da por partículas con mayor energía hacia otras de menor energía por contacto directo entre partículas, la conducción de calor en el vacío es imposible; pero puede tener lugar en cualquier fase o interfase, de esta manera se puede afirmar que siempre existe un gradiente temperatura, concretamente, cuando las variaciones espaciales de temperatura persigan un recorrido definido de una región con mayor energía hacia una de menor energía, siempre y cuando que esto ocurra tendrá lugar la transferencia de calor por conducción, esto siempre que se rija la ley de Fourier, se puede decir que ocurre transferencia de calor por conducción, cuando este mecanismo de transferencia de calor se da por choques entre partículas y dichos choques son aleatorios puede decirse que ocurre transporte difuso de calor (figura 10).



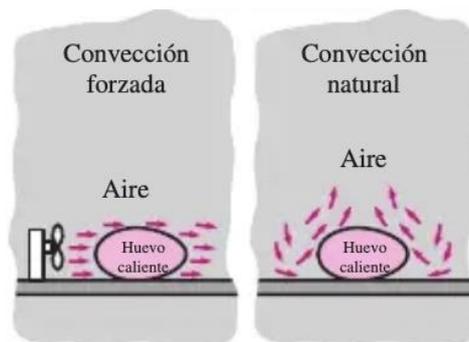
*Figura 10. Transferencia de calor por conducción en distintas fases de la materia [14].*

#### 4.5.3 Transferencia de calor por convección

En este mecanismo de transferencia de calor es el resultado del movimiento de un fluido, algunos autores conocen a este mecanismo de transferencia de energía como, advección y emplean el término de convección para referirse a la suma de la advección y la conducción (o difusión) de calor, se sabe que la convección solo se da en los líquidos, puede generarse en una fase o en interfase, para ser exactos en una capa límite, es principalmente en esta capa límite que gana su denominación como convección, si bien como se mencionó anteriormente como un mecanismo acumulador de advección de calor.

Se rige a la naturaleza de un flujo, la convección puede ser forzada si es provocada por mecanismos externos como pueden ser: agitador o ventilador, pudiendo ser también convección natural o libre cuando el movimiento es impulsado por las diferencias de densidades presentes en los líquidos que se encuentran a diferentes temperaturas, como

por ejemplo puede ser una sopa caliente o un café, a pesar de esta diferenciación, no es raro que ambos tipos de convección sean utilizados en diversas aplicaciones, por ejemplo, los computadores poseen sistemas de enfriamiento por ventiladores para no sobrecalentar los procesadores, esto indica un mecanismo de convección forzada; pero el aire dentro del computador puede someterse a diferencia de densidades producidas por la temperatura y provocar movimiento global, dando paso también a la convección natural (figura 11) [15].

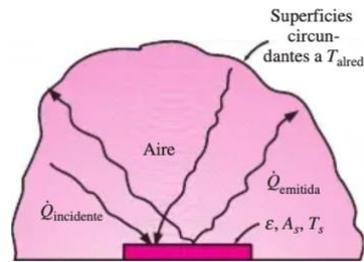


*Figura 11. Transferencia de calor por convección [14].*

#### 4.3.5. Transfería de calor por radiación

Este mecanismo de transferencia de energía describe al proceso que se da en ausencia de una masa, sino más bien se basa en el transporte de energía por ondas electromagnéticas, la característica que diferencia a la radiación de la conducción y convección, es que estos requieren de la materia para poder generarse, la radiación ocurre a la velocidad de la luz por medio de fotones y se da más eficientemente en el vacío, para fines de ingeniería, su interés está en la radiación térmica se enfoca en el rango de las longitudes de onda comprendidas entre el infrarrojo ( $10^{-2} \text{ cm}$ ) y el ultravioleta. ( $10^{-5} \text{ cm}$ ).

Además, esta es la forma en que la energía que emite el sol llega a la Tierra; sin embargo, es muy distinta a las otras formas de radiación, ya sea: rayos X, rayos gamma, microondas, ondas de radio y de televisión; que no se relacionan con la temperatura, se sabe que cualquier cuerpo con temperatura superior a cero emana radiación térmica, la radiación solar es un fenómeno volumétrico y quiere decir que todos los sólidos, líquidos y gases emiten, absorben y también transmiten radiación en diversos grados (figura 12) [14], [15].



**Figura 12.** *Transferencia de calor por radiación [14].*

#### **4.4 Colectores solares**

Un colector solar es un dispositivo que aprovecha la radiación solar térmica del sol y la transforma en calor, estos son la pieza clave de los sistemas de calefacción solar activa en diferentes partes del mundo, recogen la energía del sol y a su vez cambian su radiación en energía calórica y está a su vez es transferida a un fluido (comúnmente se usa agua o aire), pues también los colectores solares captan la energía electromagnética del sol y la convierten en energía térmica [16].

##### **a. La energía solar térmica**

Se basa a en aprovechar la energía del sol para calentar un fluido caloportador y transferir de cierta manera calor a otro medio dentro de un proceso o sistema, este tipo de energía renovable es capaz de remplazar o de reducir el uso de combustibles fósiles debido a que existe una competencia de mercado, considerada como una de las alternativas comerciales más económica para la generación de calor, pero como esta energía no está siempre presente día con día, es necesario contar con sistemas auxiliares de almacenamiento térmico.

Los colectores solares térmicos son artefactos encargados de transformar energía solar térmica por medio de diversos principios de funcionamiento que varía según será el funcionamiento del colector solar térmico que se desee utilizar, por lo general, en actividades ingenieriles, lo primero que se debe considerar para la instalación de un sistema solar térmico es la temperatura objetivo que se pretende alcanzar, el requerimiento energético, criterios económicos, la disponibilidad de espacio, y el grado de madurez de tecnología analizada; basándose en rangos de temperaturas y uso en la industria [17].

Para este propósito existen varios tipos de artefactos como son: colector solar plano, colector de tubos de vacío, colector solar flexible, colector solar con tubo de calor (Heat Pipe) y colector solar de tubos de vacío termosifónico.

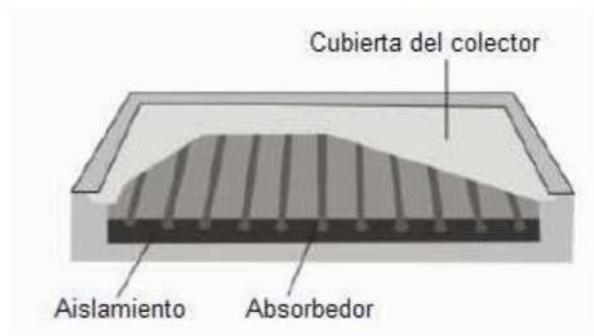
#### 4.4.1 Colector solar plano

Conocido también como panel solar térmico, se fundamenta en una caja plana metálica por donde fluye un líquido que gana calor al circular por el interior del panel, este puede ser de dos tipos:

- Colector plano protegido: Con vidrio que minimiza las pérdidas de calor.
- Colector plano no protegido: Sistema de bajo costo y de bajo rendimiento, utilizado esencialmente para aclimatar piscinas.

Este tipo de colector solar térmico basa su funcionamiento en el aprovechamiento del efecto invernadero, efecto que se aprecia cuando una persona entra en un auto que se parquea en una zona de abundante sol en la época de verano. En el caso del colector solar plano, el vidrio hace de filtro para algunas longitudes de onda de la luz solar, de esta manera deja pasar únicamente a la luz visible, siendo menos transparente con las ondas infrarrojas de menos energía [18].

La generación de agua caliente es la principal aplicación, de la energía solar térmica que comúnmente se conoce; la tecnología tradicional más utilizada para este propósito, aun presente en Europa, es el colector de placa plana siempre que la temperatura que debe alcanzarse para el fluido que se calienta no supere los 100°C, la parte fundamental que compone este tipo de colector es el absorbedor que capta la radiación solar y al ganar calor, lo transfiere al fluido que circula por su interior (figuras 13 y 14) [19].



**Figura 13.** Colector solar térmico de placa plana partes [18].



*Figura 14. Colector solar térmico de placa plana [20].*

#### **4.4.2 Colector solar de tubos de vacío**

Este tipo de colector solar térmico basa su funcionamiento en el aprovechamiento del efecto invernadero, cuyo efecto le permite recoger la radiación solar y a su vez conservarla en su interior impidiendo que esta salga y transformándola en energía térmica; sus materiales de cristal que forman parte de su estructura le permiten reflejar la radiación infrarroja que dentro de él se proyecta, misma que se genera por el calentamiento que se produce en el colector, esto fomentado por las propiedades aislantes que tienen sus capas inferiores, a su vez las características generales se rigen según su eficiencia, el área y la temperatura de los colectores de tubos de vacío, por lo general su rendimiento se encuentra por 0.65 a 0.95 %, con un área que varía de 2 a 3 m<sup>2</sup>.

En estos tipos de colectores solares la radiación del sol incide en la parte exterior del tubo de vidrio, lo que hace que esta penetre en el tubo de absorción y a su vez esta radiación es convertida en calor que se transfiere al fluido o gas que circula en el interior del colector a través de sus paredes; de esta manera lo concentra todo en la parte superior del colector donde circula el líquido correspondiente al circuito primario, estos colectores son capaces de calentar agua hasta llegar a temperaturas aproximadas de 110°C, lo que los califica como los mejores en distribución de energía calórica convencional (figura 15 y 16) [21].



*Figura 15. Partes de tubo de vacío del colector solar de tubos de vacío[22].*



*Figura 16. Colector solar de tubos de vacío[23].*

#### **4.4.3 Colector solar con tubo de calor (Heat pipe)**

El colector solar con tubo de calor (Heat Pipe), posee un dispositivo denominado tubo de calor que se compone de un tubo cerrado en donde se introduce un fluido vaporizante (mezcla de alcohol) que posee especificaciones dadas, que cuando el sol incide sobre el componente absorbedor del tubo, dicho fluido entra en la fase de evaporación y admite calor latente en forma de gas este fluido sube hasta la parte alta del tubo donde está la parte fría en esta parte cambia de fase (se condensa) y transmite su calor ganado al líquido que se pretende calentar, después de esto cae al fondo del tubo por capilaridad o gravedad, dicho proceso se repite cíclicamente siempre y cuando la radiación solar este presente hasta que el calentador llegue a adoptar una temperatura muy alta (que se aproxima a 130°C o mayor); una de sus ventajas es que cada tubo es independiente facilitando el intercambio de los tubos aún en funcionamiento el sistema; este calentador es muy resistente a las bajas temperaturas, esto debido a que los tubos de este pueden girar sobre su eje, permitiéndole adoptar posiciones horizontales y verticales, en la mayoría de los casos se tiene que respetar la inclinación mínima del tubo que ronda los 15°- 20° esto

permite que el fluido una vez que se condense pueda bajar por efecto de la gravedad generada por la inclinación (figuras 17 y 18) [22].



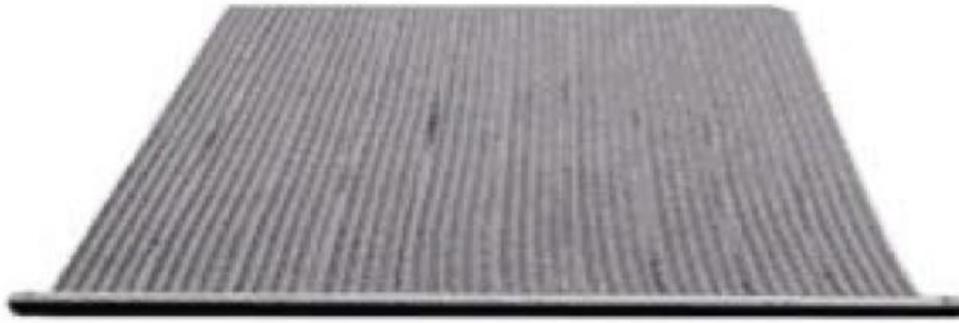
*Figura 17. Tubos de colector solar de tubos de vacío con tubo de calor (Heat Pipe) [22].*



*Figura 18. Colector solar con tubos de vacío con tubo de calor (Heat Pipe)[24]*

#### **4.4.4 Colector solar térmico flexible**

Este tipo de colector solar térmico no posee cubierta, lo que quiere decir que este no posee aislamiento alguno, está conformado por una cantidad grande de pequeños tubos que pueden ser de plástico o metal que capturan el calor que irradia el sol y por transferencia de calor cede el calor acumulado a través de sus tubos por donde viaja un fluido de trabajo, es un colector solar térmico simplificado que tiene un tamaño práctico de fusil instalación en cualquier superficie; empleado para el calentamiento de agua en instalaciones simples, pues tiene un bajo índice de temperatura que ronde de 10°C a 40°C, su principal uso es para el calentamiento de agua de piscinas pequeñas (figura 19).



*Figura 19. Colector solar térmico sin cubierta flexible (ALMACHE ALMEIDA JACQUELINE ALEXANDRA, ANDRADE BECERRA SEBASTIÁN ALEXANDER, 2016).*

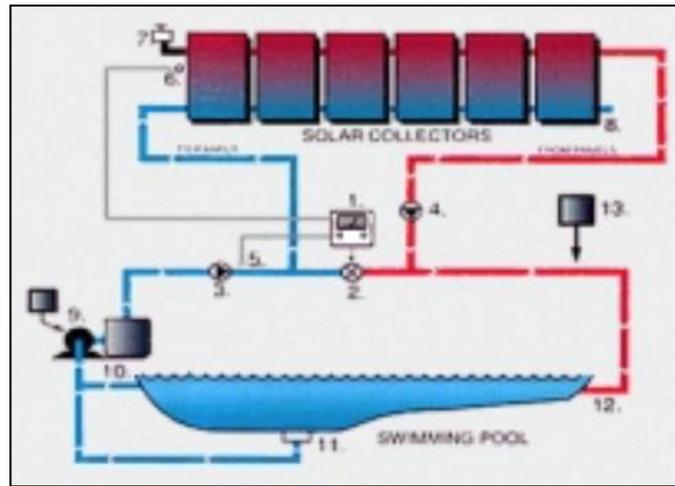
#### **4.4.5 Colector solar termosifónico tipo manifold**

Este sistema tiene como objeto suplir las demandas de agua caliente y calefacción de edificios, hogares o aplicaciones para piscinas, es altamente empleado en distintos lugares en el mundo debido a la alta eficiencia que posee y por el aprovechamiento de la energía del sol en todo el año, su funcionamiento se basa en un sistema que transfiere directamente la energía requerida en forma de agua caliente desde el acumulador hacia donde se consume; su instalación es simple debido a que no se requiere de sistema auxiliar en el interior del depósito ni se trata de un sistema de precalentamiento (figura 20) [26].



*Figura 20. Colector solar térmico Termosifónico [27].*

El efecto termosifónico se produce por la convección natural que existe entre el agua caliente y el agua fría, es decir, el agua caliente tiende a desplazarse hacia arriba y el agua fría hacia abajo, debido a su diferencia de densidades, facilita la circulación por los colectores solares, a esto se le conoce como efecto termosifón y es el principio base que hace que se dé el funcionamiento de estos colectores solares, (figura 21) [27].



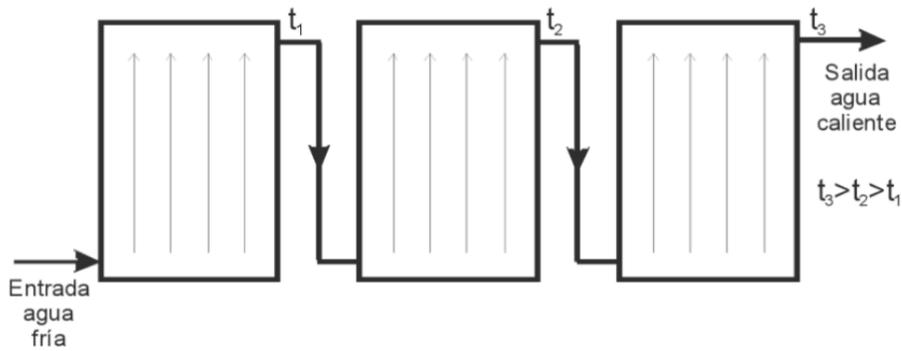
*Figura 21. Efecto Termosifónico [27]*

#### **4.5 Conexión de colectores solares térmicos**

Los colectores solares se colocan en filas de manera ordenada, preferiblemente, por el mismo número de unidades, estas filas de colectores solares pueden ser conexionados entre ellos de dos formas: en paralelo o en serie e incluso la combinación de estas dos serie-paralelo.

##### **4.5.1 Conexión de colectores solares térmicos en serie**

Esta forma de conexión es tomada en cuenta solo en caso de instalaciones pequeñas; con la restricción de que solo se pueden conectar en serie un máximo de 3 colectores, a excepción de aplicaciones industriales y refrigeración por absorción, en donde se permite como un número máximo de 4, siempre que el fabricante del captador solar térmico lo permita; para implementaciones que engloban agua caliente sanitaria, no deben conectarse en serie más de dos colectores, debido a que, este tipo de conexión facilita obtener un incremento de temperatura alto. El salto térmico que se produce en el fluido de los colectores se disminuye sucesivamente, en otras palabras, la eficacia de un colector baja con respecto al anterior, se puede evitar eficiencias globales bajas haciendo circular un caudal elevado de fluido, para que de esta forma se minimice el salto térmico en los colectores (figura 22).



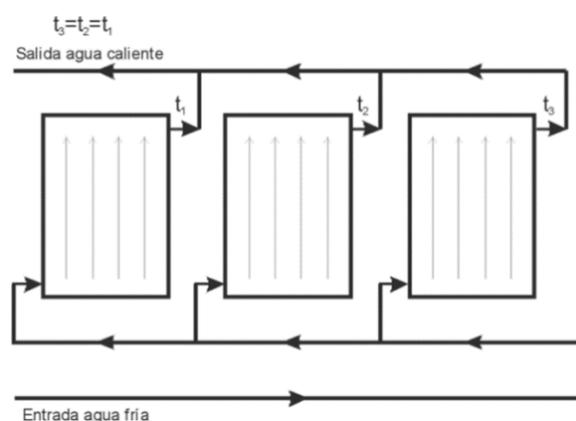
**Figura 22.** Conexión de colectores solares en serie [28].

#### 4.5.2 Conexión de colectores solares en paralelo

En esta configuración las temperaturas de entrada y salida en todos los colectores son las mismas (experimentan el mismo salto térmico), además que estos trabajaran en el mismo punto en la curva de rendimiento; el índice de calor que se obtiene es mayor y el salto térmico es pequeño con respecto a la configuración en serie, para conectar los colectores en paralelo se necesita equilibrar la pérdida de carga en todos los colectores, de tal manera que el caudal circulante a través de ellos sea el mismo o muy parecido para todos, esto se logra de dos modos:

##### a. Igualando la longitud de los circuitos.

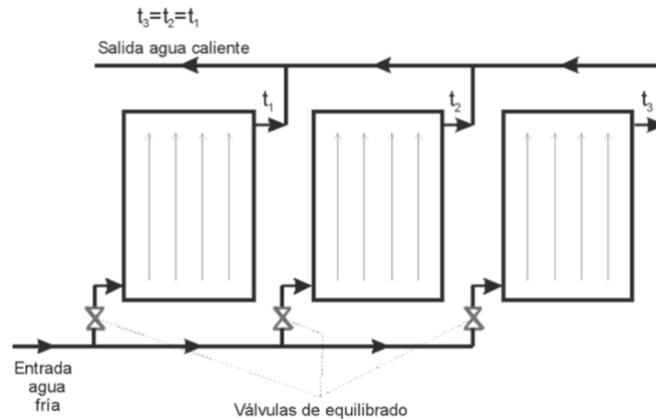
Se obtiene invirtiendo el retorno, radica en igualar la longitud de las tuberías en todos los colectores para que el fluido se someta a la misma pérdida de carga (figura 23).



**Figura 23.** Conexión de colectores solares térmicos en paralelo con retorno invertido [28].

##### b. Instalando válvulas de equilibrado en la entrada de los colectores solares.

A medida que sea menor la longitud del circuito, mayor será la pérdida de carga que deberemos generar con la válvula correspondiente (figura 24).



**Figura 24.** Conexión de colectores solares térmicos en paralelo con válvulas de equilibrio[28].

### 4.5.3 Elementos que implementan los sistemas de colectores solares térmicos para obtención de agua caliente

En la actualidad lo que comúnmente se utiliza para este tipo de instalaciones son un conjunto de equipos, que forman parte de todo el sistema que aprovecha la energía solar para la obtención de agua caliente, esto tomando en cuenta la aplicación que vaya a tener el uso del agua caliente.

- Colector solar térmico: Elemento encargado de transformar la radiación solar térmica obtenida del sol en energía térmica que se transfiere al líquido que circula dentro.
- Acumulador de agua: Elemento que mantiene el calor; que a su vez es donde se almacena el agua caliente obtenida de los colectores.
- Red de distribución o circulación: Elemento de distribuidor del agua inicialmente fría por todo el sistema que comprende tuberías, elementos de impulsión, aislamiento térmico, accesorios; con el objetivo de transportar el fluido a temperatura al acumulador y a la red de consumo, reduciendo el consumo de otras energías y evitando las pérdidas de calor al máximo.
- Controlador: parte fundamental del sistema debido a que todo sistema debe tener un control, permite ajustar el tiempo, aporte energético, consumo de agua caliente

y la optimización del funcionamiento del sistema, de forma automática accionará el elemento de impulsión de agua (bomba de agua de recirculación), así como también, se encarga de mediciones de energía y almacenaje de agua para determinar si es necesario activar un sistema de compensación de energía, para periodos de tiempo en que la radiación solar tiene poca presencia, considerado un elemento de apoyo dadas las condiciones de diseño de cada instalación de tipo solar térmica que lo comprende, software, PLC, válvulas, termostatos, reguladores de presión, etc. [29]

## **5 METODOLOGÍA**

Se analiza en primer lugar la situación inicial en las que se encuentran las piscinas de la Unidad Educativa Fiscomisional Técnico Salesiano, luego de ello se analiza el potencial de irradiancia solar que tiene la zona, en función de datos meteorológicos extraídos de la estación meteorológica que existe en el lugar; posteriormente, se analiza los tipos de colectores solares térmicos que existen en el mercado local e internacional, finalmente con lo estudiado, se realiza el diseño del sistema de calentamiento de agua para las piscinas de esta institución.

### **5.1 Metodología de investigación**

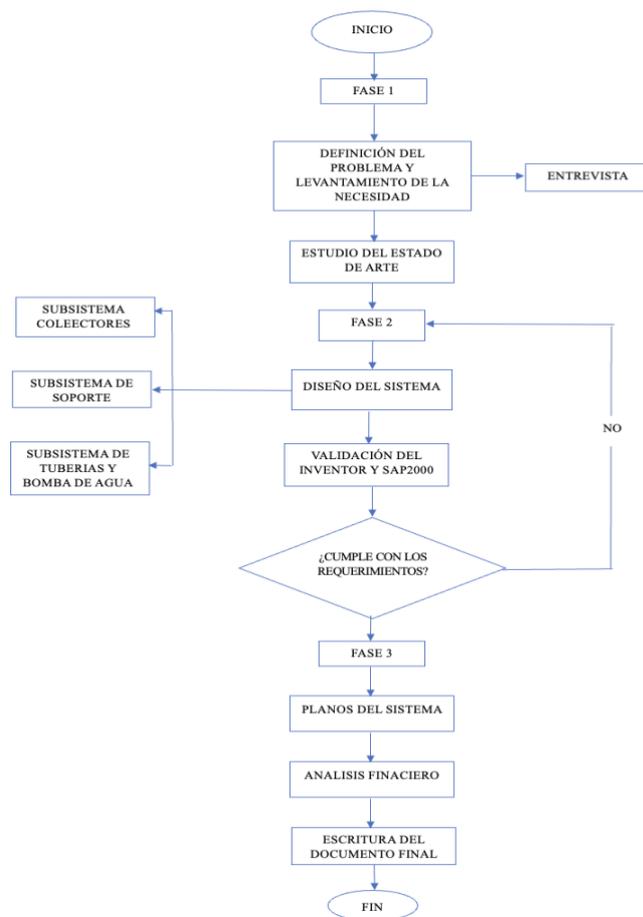
La metodología con la que se desarrollara el proyecto “Diseño de un sistema de calentamiento de agua mediante colectores solares térmicos para las piscinas de la Unidad Educativa Fiscomisional Técnico Salesiano”, es de tipo no experimental, debido a que, los colectores solares térmicos ya existen y se tiene a datos técnicos de estos facilitando el diseño del sistema. De tipo aplicada, debido a que esta implementación tiene un lugar específico en donde tendrá lugar; con enfoque cuantitativo, debido a que se analizan varias variables, así también se toma en cuenta variables económicas, con un alcance exploratorio, como se detalla en la Tabla 1.

### **5.2 Metodología de proceso**

El proceso metodológico se ha dividido en tres fases (figura 25), en donde el primero comprende del alcance exploratorio que tiene como finalidad identificar las variables y condiciones climatológicas para el diseño que garantice condiciones de confort en las piscinas; en la segunda y tercera fase aborda el carácter descriptivo y se refiere cálculos y diseño del sistema, con validación de la propuesta de diseño; en la tercera fase también se analiza la viabilidad del proyecto mediante la herramienta de costos unitarios para garantizar que el diseño sea rentable.

**Tabla 1. Metodología de investigación.**

INVESTIGACIÓN	ALCANCES
Enfoque cuantitativo	Exploratorio
Análisis de parámetros necesarios para el funcionamiento de las piscinas mediante preguntas realizadas a los encargados de las piscinas.	Identificar las variables y condiciones climatológicas que intervienen en el correcto funcionamiento de las piscinas, así como criterios de confort que deben cumplir.
Tipo: Aplicada	Descriptivo
Obtención de información aplicada la implementación de colectores solares térmicos para diseño de un sistema que permita obtener agua caliente para piscina y satisfaga las necesidades de confort y funcionamiento.	Determinación de proceso de calentamiento del agua y circulamiento e identificación de variables que intervienen en el proceso de calentamiento de agua para piscinas.
Con diseño: No experimental	
El diseño será validado mediante cálculos; además, se considerarán las condiciones climatológicas de la zona para validar las condiciones de temperatura que necesitan las piscinas; finalmente se empleará software de ingeniería para garantizar el diseño.	



**Figura 25. Diagrama de flujo de la metodología.**

## 5.3 Diseño del sistema

### 5.3.1 Determinación de la necesidad

Para poder definir la necesidad de un sistema que, mediante la energía solar, genere energía térmica para el calentamiento de piscinas, se ha llevado a cabo dos entrevistas al profesor del área y el encargado de las piscinas, que considera quince preguntas concretas que permitieron analizar la necesidad a profundidad (figuras 26 y 27).



#### Entrevista

El propósito de la presente entrevista tiene como fin establecer las condiciones iniciales de las piscinas de la Unidad Educativa Fiscomisional Técnico Salesiano y considerar algunas variables para el desarrollo del diseño.

Fráncico Astudillo		
No	Preguntas	Respuestas
1	¿Cuál es el consumo energético semanal para el calentamiento del agua de las piscinas?	Esto varía mucho de acuerdo con el uso que se le da alas piscinas pues hay semana que se usa casi todo el tiempo y otras que se hace un uso normal.
2	¿Cuál es la temperatura de confort que se manejan en las piscinas?	La temperatura de confort que se maneja para la piscina grande semiolímpica es de 26°C - 27°C y para la piscina pequeña se maneja temperaturas de 29°C - 30°C.
3	¿Cada cuánto es necesario recircular el agua para que mantenga la temperatura de confort de la piscina?	La recirculación es diaria, las 24 horas los 7 días de la semana para que se mantenga la temperatura.
4	¿Cuáles son los días que más se usan las piscinas?	El uso frecuente de las piscinas se da más de lunes a viernes.
5	¿Cuántas veces se enciende al día el caldero para el calentamiento del agua?	Se enciende una vez el caldero para el calentamiento del agua.
6	¿Cómo está constituido el sistema de calentamiento de agua?	Se enciende el caldero, a su vez va a lo que son las tuberías pasando por las bombas y a la recirculación del agua las 24 horas los 7 días de la semana.
7	¿Cuáles son los costos en combustibles (diésel)?	Según Pancho el miércoles de la semana pasada compraron 1000 galones de diésel y les represento un costo de 4100 \$ y el día 20 de noviembre se compró 2000 galones y les costó 5200 \$ según los parámetros que da el gobierno no tienen convenio.
8	¿Conoce cuánto es la emanación de gases perjudiciales para la atmósfera emitidos por su sistema de calentamiento de agua?	No se conoce cuál sea la brecha de contaminación, pero se tiene en cuenta de que se está contaminando.
9	¿Cuál sería una opción para suponer una mejora del sistema de agua caliente de las piscinas?	El caldero rinde de manera normal, no tiene problema en ese sentido.
10	¿Cuánto tiempo se mantiene encendido el calentador (caldero) a la semana?	Se mantiene encendido durante la semana en un lapso de las 7am hasta las 2pm.
11	¿Cómo funciona el sistema de calentamiento?	El funcionamiento se lleva haciendo que el agua pase por el área de filtración, continua al área de calentamiento y de ahí ya viene el agua caliente entonces entra directo a la piscina.
12	¿Ha presentado el sistema de calentamiento de agua algún problema de cualquier índole antes?	No se ha presentado problemas ni fallos con el sistema de calentamiento de agua.
13	¿Se siente conforme con el funcionamiento actual del equipo que realiza el calentamiento del agua de las piscinas?	El caldero está adaptado para estas piscinas de acuerdo con la necesidad del colegio.
14	¿Con qué frecuencia se ejecutan el mantenimiento del calentador de piscinas?	El mantenimiento se debe realizar los primeros días de junio, limpieza de caldero, limpieza de los filtros, en un promedio de 9 a 11 meses, dependiendo del uso.
15	¿Posee responsables técnicos y capacitados detrás del equipo calentador de las piscinas?	Si se posee de personal encargado interno como también entes externos.

Figura 26. Entrevista realizada al docente responsable de las piscinas de la institución.

### Entrevista

El propósito de la presente entrevista tiene como fin establecer las condiciones iniciales de las piscinas de la Unidad Educativa Fiscomisional Técnico Salesiano y considerar algunas variables para el desarrollo del diseño.

MARIO SANCHEZ		
No	Preguntas	Respuestas
1	¿Cuál es el consumo energético semanal para el calentamiento del agua de las piscinas?	Se pide dos mil galones de diésel y eso rinde más o menos un lapso de seis meses.
2	¿Cuál es la temperatura de confort que se manejan en las piscinas?	La temperatura de confort que se maneja para la piscina grande semiolímpica es de 27°C - 28°C y para la piscina pequeña se maneja temperaturas de 30°C - 32°C.
3	¿Cada cuánto es necesario recircular el agua para que mantenga la temperatura de confort de la piscina?	La recirculación del agua es diaria para mantener las temperaturas de las piscinas, son diez horas de calentamiento del agua con lo cual el caldero este encendido, y lo demás queda en recirculación del agua las 24 horas.
4	¿Cuáles son los días que más se usan las piscinas?	Los estudiantes acuden con frecuencia a las piscinas una hora por grupo, en la asignatura de cultura física, todos los días.
5	¿Cuántas veces se enciende al día el caldero para el calentamiento del agua?	El caldero se enciende todos los días para mantener las temperaturas de confort, se apaga los fines de semana.
6	¿Cómo está constituido el sistema de calentamiento de agua?	Sistema de filtración, pasa a la zona de calentamiento o caldero y circula a las piscinas con el agua caliente.
7	¿Cuáles son los costos en combustibles (diésel)?	La compra del combustible se realiza directamente en Petro Ecuador en Chaullabamba al mismo precio que se oferta en las gasolineras.
8	¿Conoce cuánto es la emanación de gases perjudiciales para la atmósfera emitidos por su sistema de calentamiento de agua?	Esto sucede al momento de encender el caldero empieza a emanar humo esto hasta que se caliente la máquina.
9	¿Cuál sería una opción para suponer una mejora del sistema de agua caliente de las piscinas?	Todo tipo de implementación causa algún tipo de contaminación.
10	¿Cuánto tiempo se mantiene encendido el calentador (caldero) a la semana?	Se mantiene encendido unas 40 horas a la semana.
11	¿Cómo funciona el sistema de calentamiento?	El funcionamiento se lleva haciendo que el agua pase por el área de filtración, continua al área de calentamiento y de ahí ya viene el agua caliente entonces entra directo a la piscina.
12	¿Ha presentado el sistema de calentamiento de agua algún problema de cualquier índole antes?	Hasta ponerse en sintonía con la maquina a veces si se eleva la temperatura y otras veces no se calienta mucho hasta más o menos regular la temperatura óptima para el agua.
13	¿Se siente conforme con el funcionamiento actual del equipo que realiza el calentamiento del agua de las piscinas?	Si, debido a que las maquinas están ya programadas para el tipo de actividad que desempeñan con lo cual es algo accesible al modo de uso.
14	¿Con qué frecuencia se ejecutan el mantenimiento del calentador de piscinas?	Esta designado un tiempo y se lo realiza cada año, se hace cambio de arenas de los filtros y el mantenimiento del caldero.
15	¿Posee responsables técnicos y capacitados detrás del equipo calentador de las piscinas?	Mario realiza el mantenimiento, con lo cual ha recibido capacitación por parte del colegio en Guavaquil.

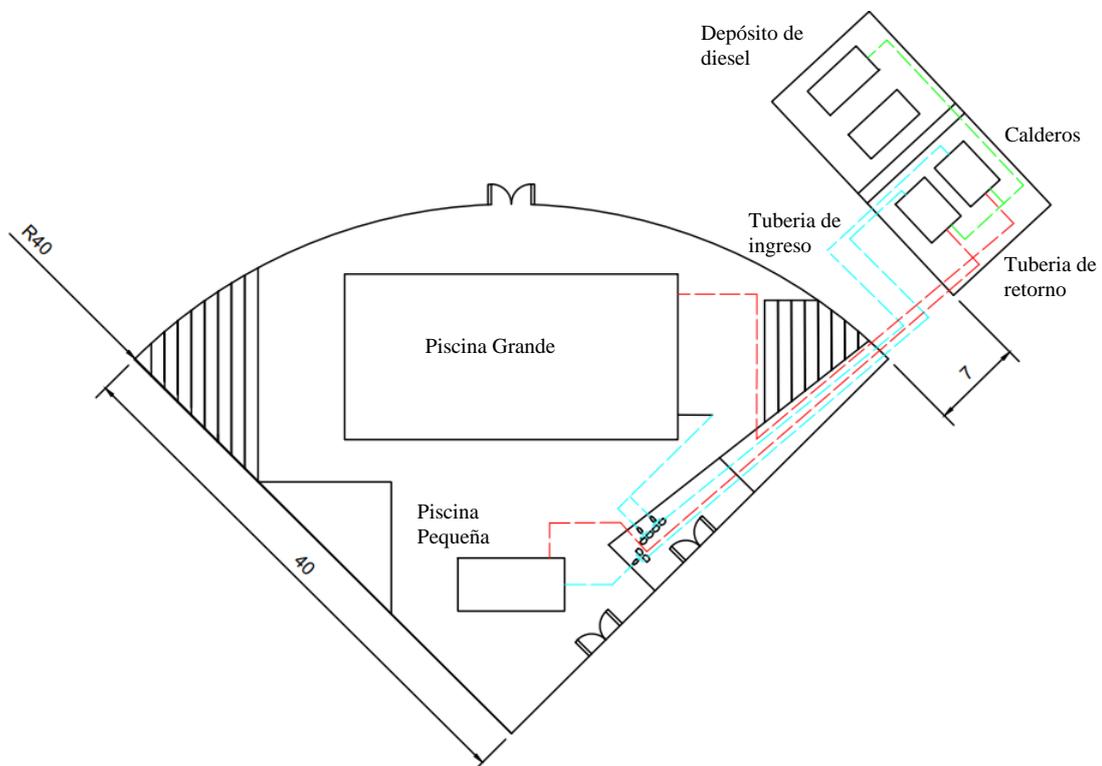
*Figura 27. Entrevista realizada al encargado de las piscinas de la institución.*

Luego de haber realizado las entrevistas a las personas antes mencionadas, se evidenció el claro problema que con lleva el calentamiento de agua para piscinas que causa la quema de combustibles fósiles, pudiendo identificar que no se tiene un control adecuado para el encendido y apagado de los calderos, por lo tanto, no se tiene un conocimiento definido del consumo diario de combustible, esto depende de la persona que está ejecutando esta tarea, a pesar de que las piscinas poseen un sistema automático, este no está en funcionamiento; luego de esto se identificó los siguientes parámetros con los que funciona actualmente las piscinas detalladas en la tabla 2.

**Tabla 2.** *Parámetros de funcionamiento actuales de las piscinas.*

<b>Parámetros de funcionamiento</b>	
<b>Consumo de combustible</b>	1.000 galones en 45 días
<b>Costo de combustible</b>	3450 USD
<b>Generadores de calor</b>	Dos calderos (Uno para cada piscina)

A continuación, se esquematiza la situación en la que se encuentran actualmente las piscinas de la institución, donde tendrá lugar este proyecto (figura 28).



**Figura 28.** *Estado actual de las piscinas de la Unidad Educativa Fiscomisional Técnico Salesiano.*

### 5.3.2 Definición de Variables

Una vez analizado los problemas con el trabajo de campo, haber visitado las instalaciones, haber verificado las condiciones actuales en las que se trabaja; se pueden identificar las variables cualitativas que servirán como punto de partida para el diseño del sistema y estas definirán las condiciones de confort con las que se tiene que trabajar en las piscinas, tal como se muestra en la tabla 3.

**Tabla 3.** Determinación de variables luego de aplicar las entrevistas.

<i>Variables de diseño</i>	
<b>Temperatura</b>	Piscina grande: 26°C – 28°C
	Piscina pequeña: 28°C – 30°C
<b>Dimensiones</b>	Piscina grande: 25 x 12,5 x 17,0 metros
	Piscina pequeña: 8 x 4 x 1 metros
<b>Volumen de agua</b>	Piscina grande: 531,25 m <sup>3</sup>
	Piscina pequeña: 32 m <sup>3</sup>
<b>Periodos de uso</b>	7:00h – 16:00h
<b>Flujo de agua</b>	Constante (24h)
<b>Área de trabajo (Techo)</b>	322 m <sup>2</sup>

### 5.3.3 Selección del tipo de colector solar térmico

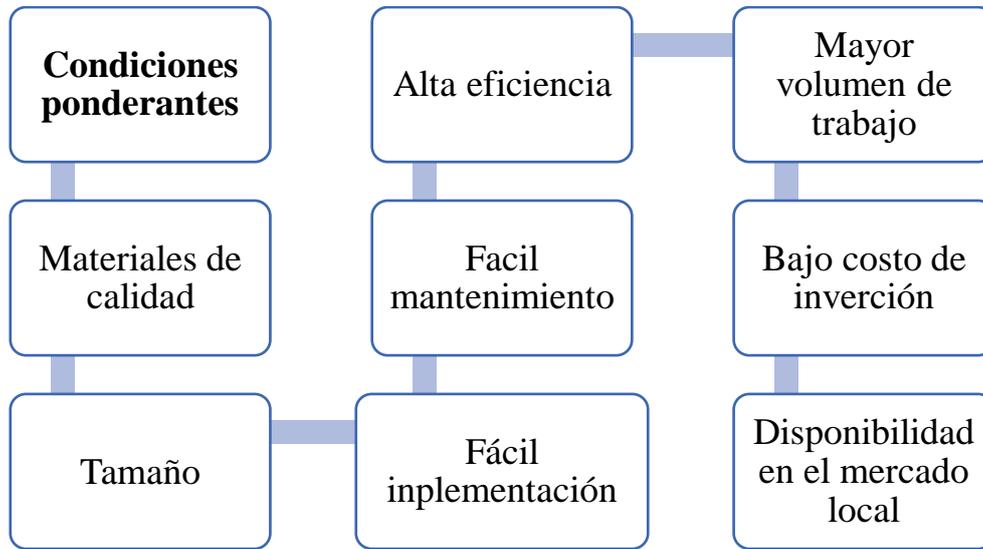
Luego de haber realizado un exhaustivo estudio del arte; hemos establecido algunas condiciones que permitirán realizar una adecuada selección de los equipos, tomando en cuenta la disponibilidad tecnológica en mercados ecuatorianos como también en mercados internacionales; seguido de una selección meticulosa de posibles opciones de colectores solares térmicos disponibles se han establecido cinco posibles opciones para realizar la implementación, se observa en la tabla 4.

**Tabla 4.** Opciones de colectores solares térmicos.

<b>Opciones</b>	
<b>1</b>	<p>Colector solar plano</p> 
<b>2</b>	<p>Colector solar flexible</p> 
<b>3</b>	<p>Colector solar de tubos de vacío</p> 
<b>4</b>	<p>Colector solar de tubos de vacío con tubo de calor (heat pipe)</p> 
<b>5</b>	<p>Colector solar termosifónico tipo manifold.</p> 

Luego de esto hemos establecido condiciones que ayudaran a una eficiente discriminación del equipo óptimo para la satisfacción de la necesidad del proyecto, esto permite obtener agua caliente para piscinas mediante la energía solar térmica, implementando un tipo de colector solar térmico idóneo.

A continuación, detallamos todas las condiciones ponderantes que serán estudiados para esta selección mostradas en la figura 29.



**Figura 29.** Variables para el diseño.

Luego de haber establecido las condiciones para la ponderación y los cinco tipos colectores solares térmicos para el sistema, se realiza una discriminación por medio de una matriz detallada en la tabla 5.

**Tabla 5.** Matriz de ponderación para selección de colectores solares.

Factor de ponderación	Importancia relativa P (%)	1. Colector solar plano		2. Colector solar flexible		3. Colector solar de tubos de vacío		4. Colector solar de bulbo		5. Colector solar de tubos de vacío termosifónico	
		CSP (0-1)	CSP*P (%)	CSP (0-1)	CSP*P (%)	CSP (0-1)	CSP*P (%)	CSP (0-1)	CSP*P (%)	CSP (0-1)	CSP*P (%)
Materiales de calidad	0,15	1	0,15	1	0,15	1	0,15	1	0,15	<b>1</b>	<b>0,15</b>
Tamaño	0,7	0,5	0,035	0,7	0,049	1	0,07	1	0,07	<b>1</b>	<b>0,07</b>
Fácil implementación	0,13	1	0,13	1	0,13	0,75	0,097	0,7	0,091	<b>0,8</b>	<b>0,104</b>
Fácil mantenimiento	0,1	0,3	0,03	0,5	0,05	1	0,1	0,9	0,09	<b>1</b>	<b>0,1</b>
Alta eficiencia	0,15	0,8	0,12	0,5	0,075	1	0,15	1	0,15	<b>1</b>	<b>0,15</b>
Mayor volumen de trabajo	0,1	0,1	0,1	0,8	0,8	0,5	0,05	0,5	0,05	<b>0,9</b>	<b>0,09</b>
Bajo costo de inversión	0,15	0,75	0,113	1	0,15	0,5	0,075	0,8	0,12	<b>0,9</b>	<b>0,135</b>
Disponibilidad en el mercado actual	0,15	0,8	0,12	0,3	0,045	1	0,15	0,9	0,135	<b>1</b>	<b>0,15</b>
Subtotal	1		0,798		0,729		0,843		0,856		<b>0,949</b>
Total		79,8		72,9		84,3		85,6		<b>94,9</b>	

Según calificaciones obtenidas para cada uno de los equipos seleccionados para esta matriz de ponderación, se seleccionó el colector solar de tubos de vacío termosifónico con una puntuación de 94.9 % figura 30.



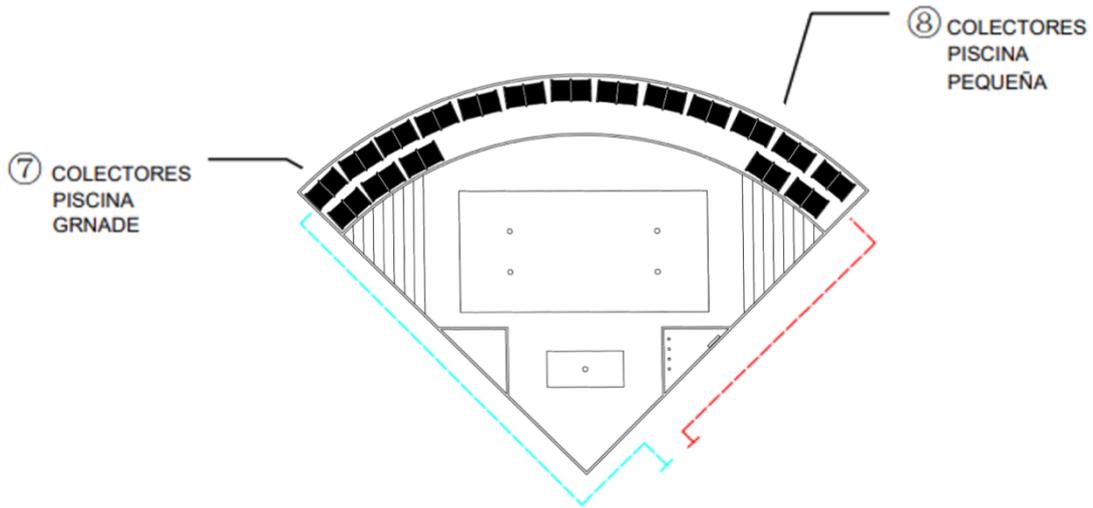
*Figura 30. Colector solar térmico seleccionado como óptimo con puntuación de 94.9%.*

#### **5.3.4 Diseño de concepto**

Para el diseño se propone la ubicación de colectores solares térmicos en el techo de las instalaciones ya que se cuenta con la tubería que abastece y a la misma vez por donde también sale el agua se unirá posteriormente al sistema actual que tienen los colectores ya que se considera que la radiación solar, que es la cantidad de energía solar recibida en un tiempo determinado, la que es tomada en cuenta para dimensionar sistemas de calentamiento solar [22].

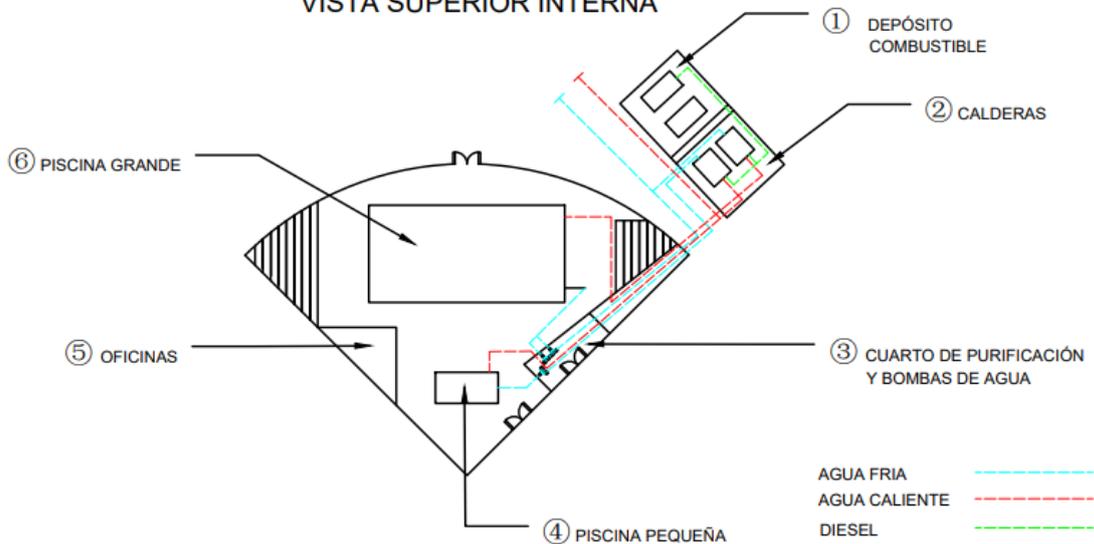
Sin embargo, sabemos que no se puede obtener el 100 % de energía solar, sino que tiene que ser un sistema híbrido, con este planteamiento proponemos un diseño de concepto que se compone de vista superior externa y vista superior interna que se muestran en las figuras 31 y 32.

### VISTA SUPERIOR EXTERNA



**Figura 31.** Vista superior externa del diseño de concepto de colectores solares térmicos.

### VISTA SUPERIOR INTERNA



**Figura 32.** Vista superior interna de las instalaciones de las piscinas.

De acuerdo esto, se han enlistado todas las partes que conformaran el diseño, como se detalla en la tabla 6; lo que ha permitido establecer un planteamiento de diseño formado por dos partes que compondrán el sistema: siendo la una el diseño mecánico y la otra parte todo lo que conllevara la implementación de los colectores solares en el techo de las

instalaciones; seguidamente los sistemas enunciados se han dividido en subsistemas como se detalla en la tabla 7.

**Tabla 6.** componentes del sistema

<i>Parte (#)</i>	<i>Elementos</i>
1	<i>Combustible</i>
2	<i>Calderas</i>
3	<i>Cuarto de purificado de agua y bombas</i>
4	<i>Piscina pequeña</i>
5	<i>Oficinas</i>
6	<i>Piscina grande</i>
7	<i>Colectores solares térmicos para piscina grande</i>
8	<i>Colectores solares térmicos para piscina pequeña</i>

**Tabla 7.** Subsistemas del sistema de calentamiento de agua por colectores solares térmicos.

<i>Sistemas</i>	<i>Subsistemas</i>	<i>Elementos</i>
<i>Mecánico</i>	<i>Colectores</i>	<i>Tubos de vacío, techo, tubería de termofusión, uniones, codos, válvulas, válvula antirretorno, tarraja.</i>
	<i>Estructura</i>	<i>Perfiles de hierro, tornillos, pernos, arandelas, tuercas, máquinas cortadoras de metal, alicate, abrazaderas.</i>
	<i>Tubería y Bombas</i>	<i>Tubos PVC, Pegamento, uniones (codo, tes), pistola de calor.</i>

### 5.3.5 Diseño de los componentes del sistema

- **Radiación solar en la zona de instalación**

La radiación incidente que se obtiene en la zona se establece por medio de la toma de datos de la estación meteorológica, comprendida en la Universidad Politécnica Salesiana el cual el rango de mediciones es por cada hora/día, generando los resultados de la tabla 8.

**Tabla 8.** Datos de radiación solar en la zona de instalación.

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	
	5988	4604	4494	4423	4715	3681	3712	5098	3363	5879	3970	3676	
	4212	4484	4024	4819	5001	3687	1969	3128	6190	3875	3758	5049	
	3805	2727	5074	3722	3979	1690	4995	2448	4127	2676	3313	6371	
	4124	3267	5757	4825	4386	3144	5533	2232	5094	5676	5775	5553	
	5613	3494	4605	6593	3455	2343	2865	1735	3030	7188	5884	4617	
	6039	3998	3418	6034	3531	2869	2707	4504	3279	6223	5684	4551	
	4794	3162	3601	3258	3150	3956	2659	4079	3652	4260	2428	4673	
	2976	5340	3089	2910	2794	4599	2137	4623	5601	3067	4853	6558	
	6963	4520	3464	4405	2181	2726	3393	2356	4839	3232	4288	3008	
	3233	5857	2809	5465	3956	2523	3672	1905	6136	3144	5379	5143	
	3992	4262	3152	5633	5861	1876	3533	1228	4790	3735	2936	6182	
	4470	4249	4788	4769	2609	3071	3963	1871	3281	3258	5826	5674	
	4821	3293	5580	3109	1944	4241	3660	2679	2670	3452	6478	6565	
	4819	4114	4543	4645	2849	2468	1820	1574	2233	4985	7047	7276	
	5361	5171	3659	4170	3041	5138	3075	1192	3485	3561	6940	6125	
	2808	4921	4457	4773	4036	2591	4693	4080	4621	2900	5031	5983	
	2911	5513	4551	3460	4552	2965	3935	4796	4864	4469	6060	7287	
	3498	5370	4747	3678	5285	1825	2299	5873	4231	6871	6845	7408	
	2802	4096	3979	2749	3482	3690	4462	2053	4950	5161	3729	3395	
	2932	5967	5509	3971	3908	2523	3120	1894	2943	2990	2779	3834	
	5186	3506	5730	4419	3907	1551	2368	3046	4195	4624	3928	5479	
	3950	2827	4202	4533	3812	1927	2347	2265	3851	5681	7107	5509	
	4816	3389	4340	3560	3596	977	2020	2824	4014	3754	4628	4047	
	4630	4645	3585	2556	3747	3027	2549	2057	1858	5171	3725	4267	
	4612	3413	3181	3410	4740	5339	3905	4973	2245	3898	4654	4663	
	4269	5127	6317	3790	3733	4927	3464	1959	4999	3077	5036	6345	
	5221	4650	5000	3102	5603	4216	3084	3378	5411	4284	3307	5526	
	6214	5860	4653	3805	4680	3903	1775	2629	3846	5325	4559	4866	
	5237		3509	2665	3114	2347	5828	3699	5526	7650	6715	6157	
	4788		2576	3970	2318	3743	5848	6600	5824	4781	6525	3947	
	4421		3406		3482		4880	3773	5879	4667		5613	
<b>Total</b>	139505	121826	131799	123221	117447	93563	106270	96551	131027	139514	149187	165347	1515257
<b>Promedio</b>	4500.16129	4350.92857	4251.58065	4107.36667	3788.6129	3118.76667	3428.06452	3114.54839	4226.67742	4500.45161	4972.9	5333.77419	4141.15274

Considerando la tabla 3 expuestas anteriormente, procedemos a realizar el diseño de los componentes del sistema.

- **Determinación de aporte energético de un colector**

Se considera el análisis energético de un colector de acuerdo con las características técnicas, especificadas en la tabla 9, de acuerdo al catálogo del proveedor [27], se considera espacios para colocar accesorios de la instalación y zonas para poder circular y dar mantenimiento a los colectores solares térmicos, se establece un área total de 13 m<sup>2</sup> para instalación de los colectores solares.

**Tabla 9.** Datos técnicos del colector solar térmico termosifónico

Características técnicas del colector solar térmico termo-sifónico			
Características	Simbología		Unidades
Factor de corrección de radiación incidente en colectores	$\alpha_s$	0,7337	
Porcentaje de pérdida de tubería y colector		4	%
Números de tubos del colector	$n_t$	50	u
Longitud de tubo del colector	l	1,8	m
Diámetro de del tubo del colector	d	0,058	m
Radiación solar incidente	$I_p$	4141	W*dia/m <sup>2</sup>

- Energía aportada por los colectores termosifónicos

En primer lugar, se calcula el área de trabajo de los tubos del colector, correspondiente, el cual realiza la captación de la radiación del sol.

**Ecuación 1.** Área de colector termosifónico.

$$A_{colector} = \left( \frac{\pi * d}{2} \right) * L * N_{tubos} \quad (1)$$

$$A_{colector} = \frac{\pi * (0,058 \text{ m})}{2} * 1,8 \text{ m} * 50$$

$$A_{colector} = 8 \text{ m}^2$$

Donde:  $A_{colector}$  = área de colector, d = diámetro exterior de tubo de colector, L= longitud de tubo de colector,  $N_{tubos}$ = número de tubos de colector.

Se procede al cálculo de aporte energético del colector solar.

**Ecuación 2.** Calor incidente

$$Q_{Inc} = I_p * \alpha_s * A_{colector} \quad (2)$$

$$Q_{inc} = 4141 \frac{\text{w} * \text{dia}}{\text{m}^2} * 0,7337 * 8 \text{ m}^2$$

$$Q_{inc} = 24306,01 \text{ w} * \text{dia}$$

Donde:  $Q_{Inc}$ = calor incidente,  $I_p$  = radiación incidente,  $\alpha_s$ = factor de corrección de radiación,  $A_{colector}$ = área de colector.

**Ecuación 3. Pérdidas de calor**

$$Q_p = Q_{Incolec} * Porcen_{perd} \quad (3)$$

$$Q_p = 24306,01 W * día * 0,04$$

$$Q_p = 972 w * dia$$

Donde:  $Q_p$ = pérdidas de calor,  $Q_{Incolec}$ = calor incidente en los colectores,  $Porcen_{perd}$ = porcentaje de calor perdido.

**Ecuación 4. Calor útil.**

$$Q_u = Q_{Incolec} - Q_p \quad (4)$$

$$Q_u = 24306,01W * día - 972W * día$$

$$Q_u = 23334,01 W * día$$

Considerando que los colectores tienen un rendimiento de 40% de absorción de energía tenemos lo siguiente.

**Ecuación 5. Energía total útil de colector**

$$Q_{uT} = Q_u * \eta \quad (5)$$

$$Q_{uT} = 23334,01W * día * 0,4$$

$$Q_{uT} = 9333,60W * día$$

**5.3.6 Análisis para el funcionamiento eficiente del sistema de calentamiento de agua con diésel**

Para establecer el consumo eficiente de diésel que actualmente se utiliza para el calentamiento de agua es necesario realizar un análisis, ya que, el proceso se realiza manual y no se cuentan con datos específicos de consumo

- **Caudal de trabajo piscina pequeña**

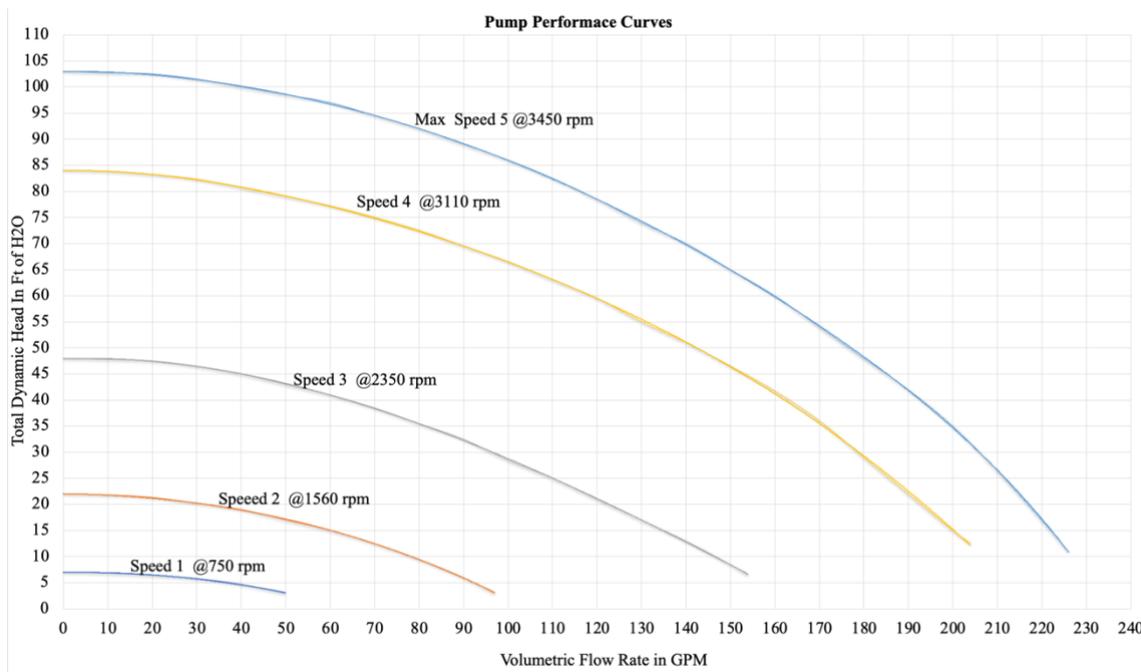
De acuerdo con lo investigado y por información obtenida se ha identificado la bomba que impulsa el agua de la piscina pequeña, la placa de esta y la curva de rendimiento que posee la bomba se observa en las figuras 33, 34 y 35.



**Figura 33.** Bomba que propulsa el agua de la piscina pequeña.



**Figura 34.** Placa técnica de la bomba que propulsa el agua de la piscina pequeña.



**Figura 35.** Curva de rendimiento de bomba de agua usada para propulsar el agua de las piscinas [30].

Con lo obtenido, se pudo establecer lo siguiente: tomando datos de la placa de la bomba y de la curva de rendimiento.

$\omega_{angular}$ (rpm)	Flujo(GPM)
3450	223

$$\omega_{angular} = 3450 \text{ rpm nos da } 223 \text{ GPM}$$

$$F = 223 \text{ GPM}$$

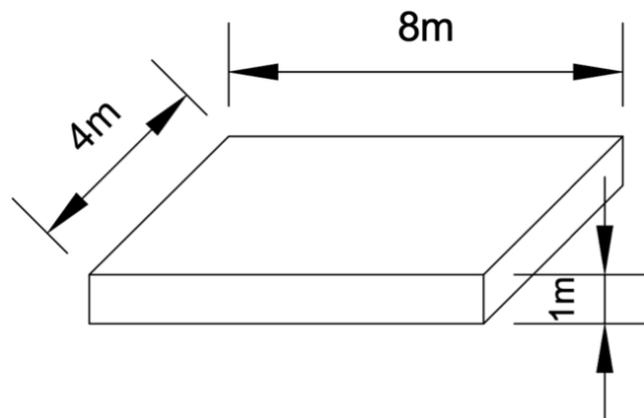
$$F = 14,07 \text{ l/s}$$

$$F = 0,01407 \text{ m}^3/\text{s}$$

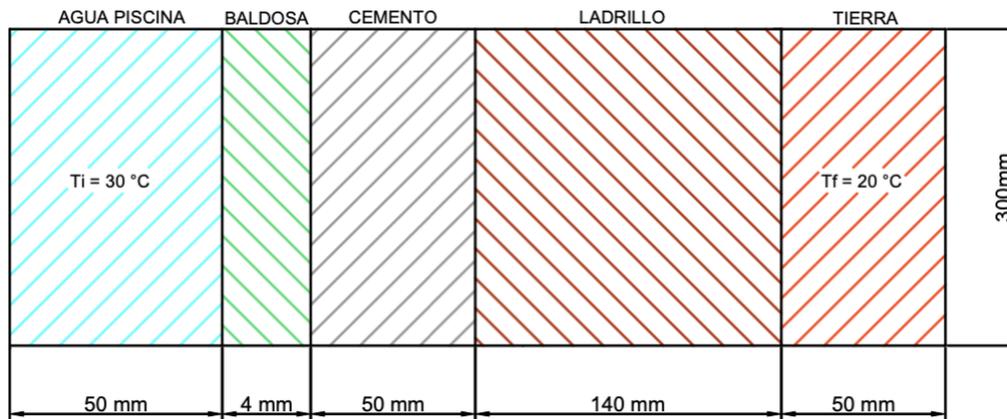
- **Pérdidas de calor de la piscina pequeña**

Para el cálculo de pérdidas de calor por conducción y convección en la piscina pequeña tomamos sus medidas figura 36. también se considera una pequeña sección de las piscinas para realizar el cálculo de las resistencias térmicas de los materiales figura 37; y medidas de un ladrillo rojo común figura 38.

**Datos:**



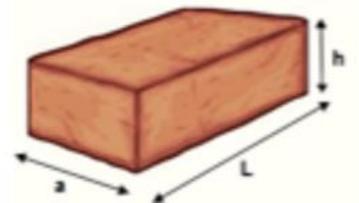
*Figura 36. Esquema piscina pequeña.*



**Figura 37.** Sección de la piscina pequeña.

Dimensiones del ladrillo:

L =	24	cm
a =	14	cm
h =	9	cm



**Figura 38.** Medidas de ladrillo rojo común [31].

Coefficientes de conductividad térmica de los materiales de la piscina pequeña (K) se muestran en la tabla 10.

**Tabla 10.** Coeficientes de conductividad térmica de los materiales.

Conductividad térmica k		
Material	Valor	Unidades
Agua	0.6	$\frac{W}{m * ^\circ C}$
Baldosa	0.7	$\frac{W}{m * ^\circ C}$
Cemento	0.80	$\frac{W}{m * ^\circ C}$
Ladrillo	0.67	$\frac{W}{m * ^\circ C}$
Coeficiente de térmico por convección del agua h		
Agua	300	$\frac{W}{m^2 * ^\circ C}$

[32]

- Cálculo de las resistencias térmicas en los materiales.

**Ecuación 6. Resistencia térmica.**

$$R = \frac{L}{k * A} \quad (6)$$

[14]

Donde: R = resistencia térmica, K = coeficiente de conductividad térmica de material, A = área de sección.

$$R_{baldosa} = \frac{0,004m}{0,7 \frac{W}{m * ^\circ C} * (0,3m * 0,004m)}$$

$$R_{baldosa} = 4,762 W$$

$$R_{cemento} = \frac{0,05m}{0,8 \frac{W}{m * ^\circ C} * (0,3m * 0,05m)}$$

$$R_{cemento} = 4,167 W$$

$$R_{ladrillo} = \frac{0,140m}{0,67 \frac{W}{m * ^\circ C} * (0,3m * 0,140m)}$$

$$R_{ladrillo} = 4,975 W$$

$$R_{agua} = \frac{0,05m}{0,6 \frac{W}{m * ^\circ C} * (0,3m * 0,05m)}$$

$$R_{agua} = 5,55W$$

**Ecuación 7. Resistencia Térmica total.**

$$R_{Total} = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 \dots \quad (7)$$

[14]

$$R_{Total} = 4,762 W + 4,167 W + 4,975 W + 5,55W$$

$$R_{Total} = 19,46 W$$

**Ecuación 8. Calor por pérdidas**

$$Q_{p-Conducción} = \frac{T_f - T_i}{R_{Total}} \quad (8)$$

[14]

Donde:  $Q_{p-Conducción}$  = pérdidas de calor por conducción,  $T_f$  = temperatura final,  $T_i$  = temperatura inicial,  $R_{Total}$  = resistencia total térmica.

$$Q_{p-Conducción} = \frac{20^\circ\text{C} - 30^\circ\text{C}}{19,46 \text{ W}}$$

$$Q_{p-Conducción} = - 0,514$$

Se calcula la cantidad de calor de pérdida por unidad de área (baldosa de 30cm x30cmx4mm)  $A_u = b * h$

$$q_{p-área} = \frac{Q_{p-Conducción}}{A_u}$$

Donde:  $q_{p-área}$  = calor perdido por unidad de área,  $Q_{p-Conducción}$  = pérdida de calor por conducción,  $A_u$  = área unitaria (baldosa).

$$q_{p-área} = \frac{- 0,514 \text{ W}}{0,09\text{m}^2}$$

$$q_{p-área} = - 5,71 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

Cálculo de las áreas de las paredes de la piscina para establecer las pérdidas en cada pared de la piscina.

**Ecuación 9. Área**

$$A = b * h \quad (9)$$

$$A_{L1} = 4 * 1$$

$$A_{L1} = 4 \text{ m}^2$$

$$A_{L2} = 4 * 1$$

$$A_{L2} = 4 \text{ m}^2$$

$$A_{L3} = 4 * 8$$

$$A_{L3} = 32 \text{ m}^2$$

$$A_{L4} = 8 * 1$$

$$A_{L4} = 8 \text{ m}^2$$

$$A_{L5} = 8 * 1$$

$$A_{L5} = 8 \text{ m}^2$$

**Ecuación 10.** *Perdidas por conducción en pared de piscina.*

$$Q_{p\text{-Conducción}} = q_{p\text{-área}} * A \quad (10)$$

$$Q_{p\text{-Conducción } L1} = -5,71 \frac{W}{m^2} * 4 \text{ m}^2$$

$$Q_{p\text{-Conducción } L1} = -22,84 \text{ W}$$

$$Q_{p\text{-Conducción } L2} = -5,71 \frac{W}{m^2} * 4 \text{ m}^2$$

$$Q_{p\text{-Conducción } L2} = -22,84 \text{ W}$$

$$Q_{p\text{-Conducción } L3} = -5,71 \frac{W}{m^2} * 32 \text{ m}^2$$

$$Q_{p\text{-Conducción } L3} = -182,72 \text{ W}$$

$$Q_{p\text{-Conducción } L4} = -5,71 \frac{W}{m^2} * 8 \text{ m}^2$$

$$Q_{p\text{-Conducción } L4} = -45,68 \text{ W}$$

$$Q_{p\text{-Conducción } L5} = -5,71 \frac{W}{m^2} * 8 \text{ m}^2$$

$$Q_{p\text{-Conducción } L5} = -45,68 \text{ W}$$

$$Q_{p\text{-Conducción Total}} = -22,84 \text{ W} - 22,84 \text{ W} - 182,72 \text{ W} - 45,68 \text{ W} - 45,68 \text{ W}$$

$$Q_{p-Conducción\ Total} = - 319,76W \approx -319,76 J$$

Cálculo de pérdidas de calor de piscina por convección

$$h\ agua = 300 \frac{W}{m^2 * ^\circ C}$$

**Ecuación 11. Calor por convección**

$$Q_{p-Convección} = h * A * (T_f - T_i) \quad (11)$$

[14]

Donde:  $Q_{p-Convección}$  = pérdida de calor por convección, h = coeficiente de conductividad térmica por convección, A = área,  $T_f$  = temperatura final,  $T_i$  = temperatura inicial.

$$Q_{p-Convección} = 300 \frac{W}{m^2 * ^\circ C} * 32 m^2 * (20 ^\circ C - 30 ^\circ C)$$

$$Q_{p-Convección} = - 96000 W$$

- **Cálculo de pérdidas por reposición de agua**

Según Iñaki y Miguel Ángel, mencionan en su trabajo que la normativa dicta que la renovación del agua por razones higiénicas debe ser del 5 % de vaso o volumen de la piscina al día (Iñaki Goñi Echeverz, Miguel Ángel Pascual Buisan, 2013). De acuerdo con, mediciones realizadas se tiene que esta agua se encuentra a 16 °C figura 39.



**Figura 39.** Temperatura de agua de cebado para piscina.

**Ecuación 12.** Volumen de un cuerpo.

$$V = l * b * e \quad (12)$$

[34]

Donde: v = volumen, l= longitud, b= base, e = espesor.

$$V = 8 \text{ m} * 4 \text{ m} * 1 \text{ m}$$

$$V = 32 \text{ m}^3$$

Calculamos el volumen de cebado sobre la base del porcentaje indicado.

$$V = 32 \text{ m}^3 * 0.05$$

$$V = 1,6 \text{ m}^3$$

Ahora para determinar la pérdida de calor que genera encontramos la masa del cuerpo de agua y la fórmula de calorimetría.

**Datos:**

$$\text{Densidad del agua } \rho = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\text{Calor específico del agua } C_e = 4186 \frac{\text{J}}{\text{kg} * ^\circ\text{C}}$$

**Ecuación 13.** Masa de un cuerpo.

$$m = \rho * V \quad (13)$$

(Jerry D. Wilson, Anthony J. Buffa, Bo Lou, 2003)

$$m = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 1.6 \text{ m}^3$$

$$m = 1600 \text{ kg}$$

**Ecuación 14.** Calorimetría.

$$Q = m * C_e * (T_f - T_i) \quad (14)$$

[14]

Donde: Q = calor, m = masa (kg),  $C_e$  = calor específico del agua,  $T_f$  = temperatura final,  $T_i$  = temperatura inicial.

$$Q_{agua} = 1600 \text{ kg} * 4186 \frac{\text{J}}{\text{kg} * ^\circ\text{C}} * (16^\circ\text{C} - 30^\circ\text{C})$$

$$Q_{agua} = -93766400 \text{ w}$$

- **Cálculo de pérdidas de calor por el uso personas y ventilación**

Para determinar cuánto es la pérdida de calor por el uso de los estudiantes en la piscina pequeña se calculó por medio de registro de asistencias a la piscina de estudiantes, encontrando un promedio de 40 personas al día en cinco sesiones de dos horas en la piscina pequeña.

**Datos:**

El caudal de aire por persona es de:  $Q_a = 20,77 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$

Número de personas:  $N = 40 \text{ personas}$

Temperatura ambiente exterior:  $T_{ext} = 20^\circ\text{C}$

Temperatura inicial instalaciones donde se encuentra la piscina:  $T_{int} = 26^\circ\text{C}$

Densidad del aire:  $\rho = 1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

Calor específico del aire:  $C_e = 1010 \frac{\text{J}}{\text{kg} * ^\circ\text{C}}$

**Ecuación 15. Volumen de aire por persona.**

$$V_a = Q_a * t \tag{15}$$

Donde:  $V_a$  = volumen de aire por persona,  $Q_a$  = caudal de aire por persona,  $t$  = tiempo (s)

$$V_a = 20,77 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} * 3600 \text{ s}$$

$$V_a = 5,77 * 10^{-3} \text{ m}^3$$

**Ecuación 16. Masa de aire por persona.**

$$m_a = \rho * V_a \tag{16}$$

Donde:  $m_a$  = masa de aire por persona,  $\rho$  = densidad,  $V_a$  = volumen de aire por persona.

$$m_a = \rho_a * V_a$$

$$m_a = 1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 5,77 * 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$m_a = 6,924 * 10^{-3} \text{ kg}$$

**Ecuación 17.** Fórmula de calorimetría para pérdidas por ventilación y personas.

$$Q_{vp} = m_a * C_e * (T_{ext} - T_{inte}) * N \quad (17)$$

(Iñaki Goñi Echeverz, Miguel Ángel Pascual Buisan, 2013)

Datos:  $Q_{vp}$  = pérdidas de calor por ventilación y personas,  $m_a$  = masa de aire por persona,  $C_e$  = calor específico del agua,  $T_{ext}$  = Temperatura del exterior,  $T_{inte}$  = temperatura interna,  $N$  = número de personas.

$$Q_{vp} = 6,924 \times 10^{-3} \text{kg} * 1010 \frac{\text{J}}{\text{kg} * ^\circ\text{C}} * (20^\circ\text{C} - 26^\circ\text{C}) * 40$$

$$Q_{vp} = -1678,4 \text{ W}$$

- **Cálculo de pérdidas totales en la piscina pequeña entre todas las pérdidas consideradas.**

Se procede a hacer la sumatoria de todas las consideraciones de pérdidas de calor que se han tomado en cuenta para obtener un valor total de pérdidas de calor de la piscina pequeña.

**Ecuación 18.** Perdidas de calor totales

$$Q_{p-Total} = Q_{p-Convección} + Q_{p-Conducción} + Q_{agua} + Q_{vp} \quad (18)$$

$$Q_{p-Total} = -96000 \text{ W} - 319,76 \text{ W} - 93766400 \text{ W} - 1678,4 \text{ W}$$

$$Q_{p-Total} = -93864398,16 \text{ W}$$

- **Tiempo de recirculación de la piscina**

Flujo de agua de la piscina:  $F = 0,01407 \text{ m}^3/\text{s}$

$$V = 8 \text{ m} * 4 \text{ m} * 1 \text{ m}$$

$$V = 32 \text{ m}^3$$

$$T_r = \frac{V}{F}$$

Donde:  $T_r$  = tiempo de recirculación,  $V$  = volumen,  $F$  = flujo de agua

$$t_r = \frac{32 \text{ m}^3}{0,01407}$$

$$t_r = 2274,34 \text{ s}$$

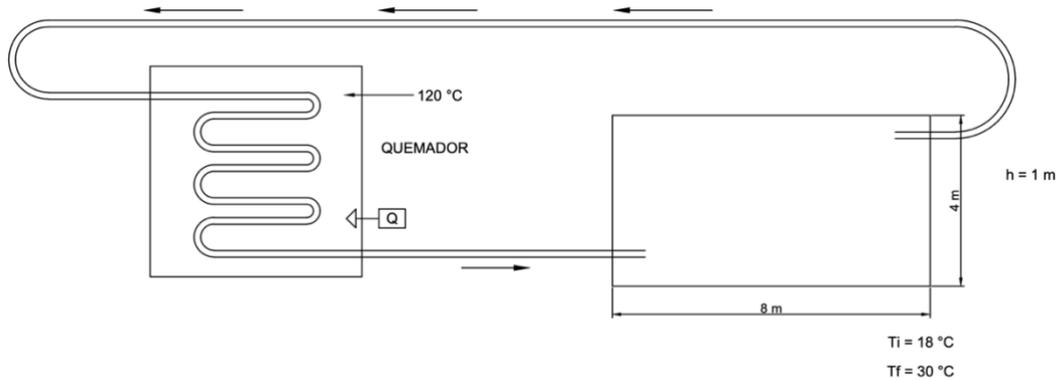
$$t_h = 2274,34 \text{ s} * \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}}$$

$$t_h = 0,631 \text{ h} * 60 \text{ min}$$

$$t_h = 37,87 \text{ min}$$

- **Calor requerido para calentar la piscina**

Para este cálculo se toma en cuenta el volumen de agua que tiene la piscina y las temperaturas a las que se usa la piscina, a base de las características de la figura 40.



**Figura 40.** Esquema de funcionamiento de la piscina pequeña.

**Datos:**

Densidad del agua  $\rho = 1000 \frac{kg}{m^3}$

Calor específico del agua  $C_e = 4186 \frac{J}{kg * ^\circ C}$

$$V = 8 \text{ m} * 4 \text{ m} * 1 \text{ m}$$

$$V = 32 \text{ m}^3$$

$$m = \rho * V$$

$$m = 1000 \frac{kg}{m^3} * 32 \text{ m}^3$$

$$m = 32000 \text{ kg}$$

$$Q = m * C_e * (T_f - T_i)$$

$$Q = 32000 \text{ kg} * 4186 \frac{J}{kg * ^\circ C} * (30^\circ C - 28^\circ C)$$

$$Q = 1607424000 \text{ W}$$

Se considera el consumo energético para mantener la temperatura de la piscina de 28°C a 30 °C.

$$Q_c = m * C_e * (T_f - T_i)$$

$$Q_c = 32000 \text{ kg} * 4186 \frac{\text{J}}{\text{kg} * ^\circ\text{C}} * (30^\circ\text{C} - 28^\circ\text{C})$$

$$Q_c = 267904874,9 \text{ W}$$

Compensación térmica de calor de perdidas más energía calórica requerida para mantener la temperatura a 30 °C

$$Q_{CT} = Q_c + Q_{pT}$$

$$Q_{CT} = 267904874,9 \text{ W} + 93864398,16 \text{ W}$$

$$Q_{CT} = 361769273,1 \text{ W}$$

- **Cálculo de flujo calórico aportado y tiempo de calentamiento de agua de la piscina.**

Para el análisis de cálculo del tiempo de calentado de agua de la piscina pequeña considera la caldera figura 41, características del quemador en la figura 42 y la tabla 11; se toma en cuenta los datos de calor calculados en el punto anterior; para esto dividimos el calor que se necesita para la potencia del quemador multiplicado por el rendimiento y el tiempo nos queda en segundos.



**Figura 41.** Caldero de piscina pequeña.



**Figura 42.** Quemador de la piscina, SF Oil Burner 1.25 to 5.50 GPH | AC power [35].

Daos técnicos del quemador que posee el caldero tabla 11.

**Tabla 11.** Datos técnicos del quemador.

SF Oil Burner 1.25 to 5.50 GPH   AC power		
Capacidades	Mínimo	Máximo
Consumo	1.25 GPH	5.50 GPH
Potencia	175 000 BTU/h	70 000 BTU/h
	51 289.56 J/s	225 674 J/s

Condiciones:

- Consideramos las temperaturas del agua caliente que entra a la piscina pequeña que proviene del caldero directamente de esta forma se consideran pérdidas y rendimiento.
- Análisis de tiempo de calentado de la piscina sin pérdidas.

**Datos:**

Velocidad de trabajo de la bomba: 3450 rpm

$$\text{Flujo másico: } F = 14,07 \frac{l}{s} \rightarrow \dot{m} = 14,07 \frac{kg}{s}$$

Temperatura de entrada:  $T_{ent.} = 18 \text{ }^\circ\text{C}$

Temperatura de salida:  $T_{sal.} = 35,2 \text{ }^\circ\text{C}$

**Ecuación 19.** Flujo calórico.

$$\dot{Q} = \dot{m} * cp * (T_{sal.} - T_{ent.}) \quad (19)$$

$$\dot{Q} = \dot{m} * cp * (T_{sal.} - T_{ent.})$$

Donde:  $\dot{Q}$ = flujo calórico,  $\dot{m}$  = flujo másico,  $cp$ = calor específico del agua,  $T_{sal.}$  = temperatura de salida,  $T_{ent.}$ = temperatura de entrada.

$$\dot{Q} = 14,07 \text{ kg/s} * 4186 \frac{\text{J}}{\text{kg} * ^\circ\text{C}} * (35,2 ^\circ\text{C} - 28 ^\circ\text{C})$$

$$\dot{Q} = 424058,54 \text{ J/s}$$

Tenemos el calor necesario para calentar la piscina pequeña ya como dato calculado:  $Q = 1607424000 \text{ W}$

**Ecuación 20.** Tiempo de calentado

$$t = \frac{Q}{\dot{Q}_{aprov.}} \quad (20)$$

$$t = \frac{1607424000 \text{ J}}{424058,54 \text{ J/s}}$$

$$t = 3790,57 \text{ s}$$

$$t_h = 3790,57 \text{ s} * \frac{1h}{3600s}$$

$$t_h = 1,053 \text{ h}$$

- Consideración de tiempo de calentado con las pérdidas de calor de la piscina pequeña, tomando en cuenta todas las pérdidas de calor calculadas anteriormente, estas se consideran con signo negativo para indicar que son pérdidas de calor; para el cálculo total del calor necesario para la piscina se suma las pérdidas de calor (sin considerar el signo menos porque es solo para indicar pérdida) necesario para calentar el volumen total de agua de la piscina.

Pérdidas totales de piscina del punto anterior  $Q_{p-Total} = - 93864398,16 \text{ J}$

Calor para calentar a  $30^\circ\text{C}$  del punto anterior  $Q = 1607424000 \text{ J}$

**Ecuación 21.** Calor total con pérdidas.

$$Q_T = Q_{p-Total} + Q \quad (21)$$

$$Q_T = 93864398,16 J + 1607424000 J$$

$$Q_T = 1701288398 J$$

**Ecuación 22.** Tiempo incluyendo perdidas.

$$t = \frac{Q_T}{\dot{Q}_{aprov.}} \quad (22)$$

Donde: t = tiempo en (s),  $Q_T$  = calor total requerido,  $\dot{Q}_{aprov.}$  = flujo calórico aprovechable.

$$t = \frac{1701288398 J}{424058,54 J/s}$$

$$t = 4011,92 s$$

$$t_h = 4011,92 s * \frac{1h}{3600s}$$

$$t_h = 1,11 h$$

- **Compensación de temperatura de piscina**

En este apartado es conocido que la piscina opera a temperatura de 28 °C a 30 °C.

Pérdidas totales de piscina del punto 6.6.2.5.  $Q_{p-Total} = - 93864398,16 J$

$$t = \frac{Q_T}{\dot{Q}_{aprov.}}$$

$$t = \frac{361769273,1J}{424058,54 J/s}$$

$$t = 853,11 s$$

$$t_h = 853,11 * \frac{1h}{3600s}$$

$$t_h = 0,24 h \approx 14,4 min$$

- **Tiempo de enfriamiento de la piscina pequeña**

Para este análisis recurrimos a la ley de enfriamiento de Newton mediante condiciones iniciales, con lo cual realizamos la medida de la temperatura de la piscina pequeña en un día normal de uso sin recirculamiento como fase más desfavorable para poder establecer cuanto tiempo tarda la piscina en llegar a 28 °C; el equipo usado para esta medición fue un multímetro con adaptación de un termopar tipo K se observa en la figura 43.



**Figura 43.** Multímetro y termopar tipo K usado en la medición de la piscina pequeña.

La ley de Newton indica la siguiente ecuación que permite analizar este fenómeno.

**Ecuación 23.** Ley de enfriamiento de Newton.

$$\frac{dT}{dt} = k(T - T_A) \quad (23)$$

La ecuación desarrollándola nos queda de la siguiente manera:

**Ecuación 24.** Deducción de la ecuación de la ley de enfriamiento de Newton.

$$T = C * e^{k*t} + T_A \quad (24)$$

Se procede de la siguiente manera,

**Datos:**

La temperatura inicial de la piscina figura 44:  $T_i = 33,3\text{ }^{\circ}\text{C}$



*Figura 44. Toma de temperatura piscina pequeña inicialmente.*

La temperatura ambiente del lugar es:  $T_A = 20^{\circ}\text{C}$

Temperatura tomada luego de 60 min de tiempo figura 45:  $T_t = 30,3\text{ }^{\circ}\text{C}$



*Figura 45. Temperatura luego del transcurso de una hora, sistema totalmente apagado, situación más desfavorable.*

Entonces, estos datos se toman como condiciones iniciales para establecer el tiempo que se demora en alcanzar una temperatura de 28 °C.

$$T = C * e^{k*t} + T_A$$

Primera condición  $t = 0$        $T_i = 33,3$  °C

$$33,3 = C * e^{k*(0)} + 20$$

$$33,3 = C * 1 + 20$$

$$33,3 = C + 20$$

$$C = 33,3 - 20$$

$$C = 13,3$$

$$T = 13,3 * e^{k*t} + 20$$

Segunda condición  $t = 60$  min       $T_i = 30,3$  °C

$$30,3 = 13,3 * e^{k*(60)} + 20$$

$$30,3 - 20 = 13,3 * e^{k*(60)}$$

$$10,3 = 13,3 * e^{k*(60)}$$

$$\frac{10,3}{13,3} = e^{k*(60)}$$

$$\ln\left(\frac{10,3}{13,3}\right) = \ln(e^{k*(60)})$$

$$\ln\left(\frac{10,3}{13,3}\right) = 60 * k$$

$$k = \frac{\ln\left(\frac{10,3}{13,3}\right)}{60}$$

$$k = -4,2603x10^{-3}$$

$$T = 13,3 * e^{-4,2603x10^{-3}*t} + 20$$

$$T = 13,3 * e^{k*t} + 20$$

Tiempo de enfriado  $t = ?$        $T = 28 \text{ }^\circ\text{C}$

$$28 = 13,3 * e^{-4,2603x10^{-3}*t} + 20$$

$$28 - 20 = 13,3 * e^{-4,2603x10^{-3}*t}$$

$$8 = 13,3 * e^{-4,2603x10^{-3}*t}$$

$$\left(\frac{8}{13,3}\right) = e^{-4,2603x10^{-3}*t}$$

$$\ln\left(\frac{8}{13,3}\right) = \ln(e^{-4,2603x10^{-3}*t})$$

$$\ln\left(\frac{8}{13,3}\right) = -4,2603x10^{-3} * t$$

$$t = \frac{\ln\left(\frac{8}{13,3}\right)}{-4,2603x10^{-3}}$$

$$t = 119,32min \approx 2h$$

- **Consumo de diésel en galones para la piscina pequeña**

Según, los datos técnicos del quemador de la tabla 9, apoyados en esos datos para estimar el consumo de Diesel para el calentado de la piscina pequeña.

Se tiene que el consumo de diésel en galones por hora del quemador que se encuentra en la caldera de la piscina pequeña es de 1,25 GPH a 5,50 GPH respectivamente a mínima y máxima potencia.

**Ecuación 25.** Consumo de diésel.

$$Co = C_{min} * t \quad (25)$$

Donde: Co = consumo de diésel,  $C_{min}$  = consumo mínimo de quemador, t = tiempo en horas.

- Consumo de diésel sin pérdidas

$$Co = C_{min} * t$$

$$Co = 1,25 \frac{G}{h} * 1,053 h$$

$$Co = 1,31 G \approx 4,96 l$$

- Consumo de diésel considerando las pérdidas térmicas de la piscina pequeña.

$$Co = 1,25 \frac{G}{h} * 1,11 h$$

$$Co = 1,39 G \approx 5,26 l$$

- Consumo de diésel para conservación de temperatura de 28 °C a 30 °C considerando las pérdidas térmicas de la piscina pequeña.

$$Co = 1,25 \frac{G}{h} * 0,024 h$$

$$Co = 0,30 G \approx 1,13 l$$

- Consumo de diésel por número total de horas de uso en un día.

$$Co = 1,25 \frac{G}{h} * 5 h$$

$$Co = 6,25 G \approx 23,7 l$$

- **Resumen análisis de la piscina pequeña**

Resumen de análisis realizado para la piscina pequeña se detalla en la tabla 12.

**Tabla 12.** Resumen de todos los análisis realizados de la piscina pequeña.

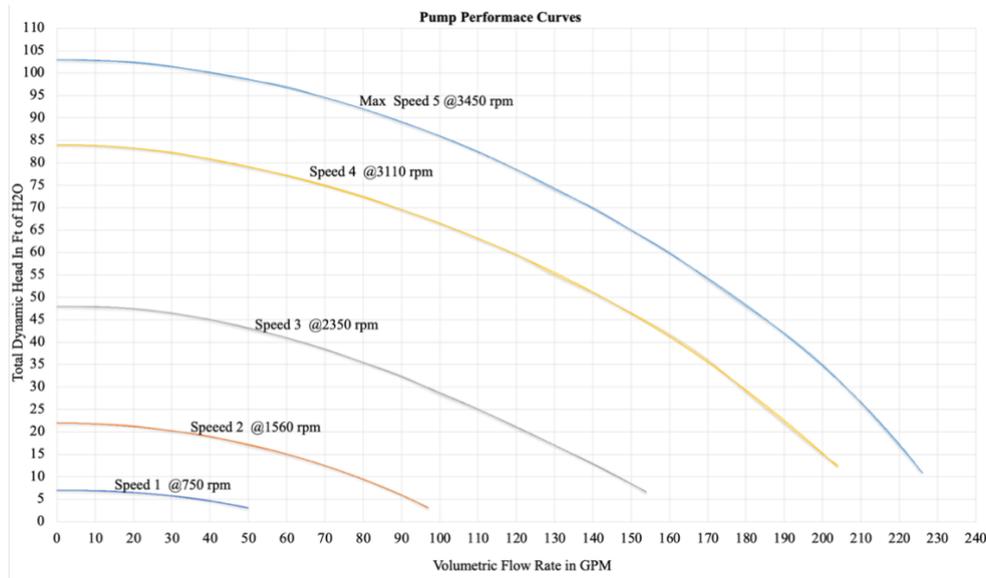
<b>Análisis piscina pequeña 32 m<sup>3</sup></b>	
<b>Flujo de trabajo</b>	223 GPM
<b>Flujo de másico de trabajo</b>	$\dot{m} = 14,07 \text{ kg/s}$
<b>Perdidas de calor totales</b>	$Q_{p-Total} = -93864398,16 \text{ J}$
<b>Calor requerido</b>	$Q = 1607424000 \text{ J}$
<b>Total, de calor requerido con pérdidas</b>	$Q_T = 1701288398 \text{ J}$
<b>Energía producida por el caldero por la quema de diésel primer encendido</b>	911725,87 J/s
<b>Energía producida para compensación de temperatura</b>	$Q_{CT} = 361769273,1W$
<b>Tiempo de calentamiento de agua</b>	
<b>Potencia máxima del quemador</b>	225 674 J/s
<b>Potencia mínima del quemador</b>	51 289.56 J/s
<b>Tiempo de calentado sin pérdidas</b>	1,05 h
<b>Tiempo de calentado con pérdidas</b>	1,11h
<b>Tiempo compensación de calor de 28°C a 30 °C con pérdidas</b>	0,24h $\approx$ 14,4 min
<b>Tiempo de enfriamiento de la piscina</b>	
<b>30°C a 28 °C</b>	119,32min $\approx$ 2h
<b>Consumo de Diesel</b>	
<b>Consumo de diésel para compensación de temperatura de 30 °C a 28 °C.</b>	3.3 G $\approx$ 12,5 l
<b>Consumo de diésel en un día de uso.</b>	4,39 G $\approx$ 16,62 l
<b>Tiempo de operación al día de caldero de 30 °C a 18 °C.</b>	3,51 h
<b>Tiempo de operación al día de caldero de 30 °C a 28 °C.</b>	2,64 h
<b>Emisiones de gases generados por la piscina</b>	
<b>Diario</b>	32,88 kg de CO <sub>2</sub>
<b>Mensual</b>	986,25 kg de CO <sub>2</sub>
<b>Anual</b>	11999,38 kg de CO <sub>2</sub>

- **Caudal de trabajo de la piscina grande (semiolímpica)**

De acuerdo con lo investigado y por información obtenida en las instalaciones de las piscinas tenemos un grupo de tres bombas de la misma marca y mismas especificaciones, se ha identificado la curva de rendimiento que poseen las bombas, con las que propulsan el agua de las piscinas de la Unidad Educativa. Donde se observa las bombas y su curva de rendimiento que se observa en la figura 46 y 47.



*Figura 46. Grupo de bombas que propulsan el agua de la piscina grande (semiolímpica)*



*Figura 47. Curva de rendimiento de bomba que se usa para la propulsión de agua en la piscina grande (semiolímpica)[30].*

Con lo obtenido, se pudo establecer lo siguiente tomando datos de la curva de rendimiento de la bomba.

**Datos:**

$$\omega_{angular} = 750 \text{ rpm nos da } 50\text{GPM}$$

$$\omega_{angular} = 1500 \text{ rpm nos da } 98 \text{ GPM}$$

Usando el método de la interpolación lineal se establece el flujo de agua propulsado a rpm enunciadas.

**Ecuación 26. Interpolación lineal.**

$$y = y_0 + \frac{y_1 - y_0}{x_1 - x_0} * (x - x_0) \quad (26)$$

[36]

Se procede a determinar el flujo mínimo a 1000 rpm.

$\omega_{angular}$ (rpm)	Flujo(GPM)
750	50
1000	F
1560	98

$$F = 50 \text{ GPM} + \frac{98 \text{ GPM} - 50\text{GPM}}{1560 \text{ rpm} - 750 \text{ rpm}} * (1000 \text{ rpm} - 750 \text{ rpm})$$

$$F = 64,81 \text{ GPM}$$

El valor calculado a mínima potencia se multiplica por tres debido a que son tres bombas de las mismas características que se encargan de la propulsión del agua de la piscina grande (semiolímpica).

$$F_T = 64,81 \text{ GPM} * 3$$

$$F_T = 194,43 \text{ GPM}$$

$$F_T = 12,27 \text{ l/s}$$

$$F_T = 0,01227 \text{ m}^3/\text{s}$$

Se procede a determinar el flujo máximo a 1500 rpm.

$\omega_{angular}$ (rpm)	Flujo(GPM)
750	50
1500	F
1560	98

$$F = 50 \text{ GPM} + \frac{98 \text{ GPM} - 50 \text{ GPM}}{1560 \text{ rpm} - 750 \text{ rpm}} * (1500 \text{ rpm} - 750 \text{ rpm})$$

$$F = 94,44 \text{ GPM}$$

El valor calculado a mínima potencia se multiplica por tres debido a que son tres bombas de las mismas características que se encargan de la propulsión del agua de la piscina grande (semiolímpica).

$$F_T = 94,44 \text{ GPM} * 3$$

$$F_T = 283,32 \text{ GPM}$$

$$F_T = 17,87 \text{ l/s}$$

$$F_T = 0,01787 \text{ m}^3/\text{s}$$

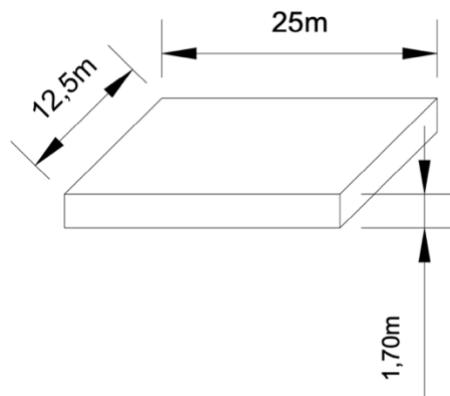
- **Impulsión de agua de las piscinas**

Para propulsar el agua de las piscinas a una altura de 10 m de alto. Usamos el mismo criterio de la interpolación lineal y la curva de rendimiento de las bombas para establecer las nuevas velocidades de trabajo. Entonces, las bombas tendrán que trabajar a una velocidad de 1941,00 rpm para impulsar el agua a una altura de 10,36 m a razón de 90 GPM

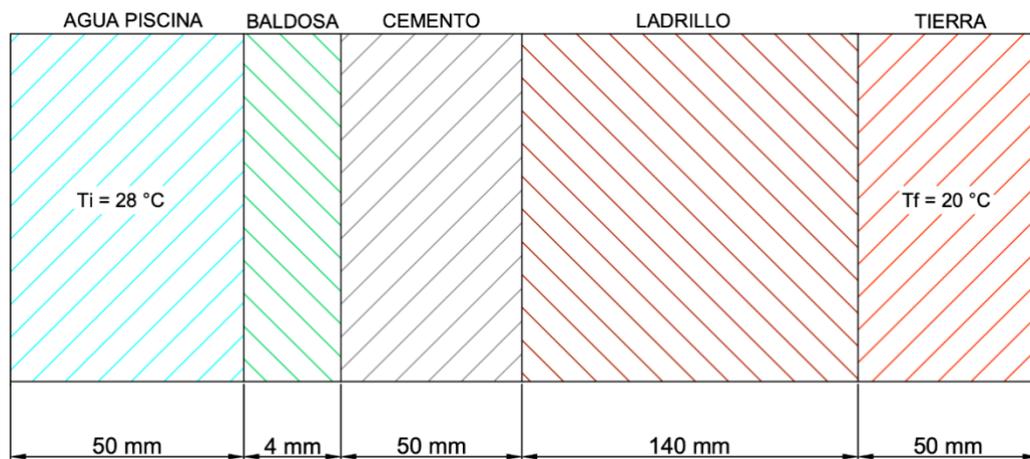
- **Pérdidas de calor de piscina grande.**

Para el cálculo de pérdidas de calor por conducción y convección en la piscina grande (semiolímpica) tomamos sus medidas figura 48. También se considera una pequeña sección de las piscinas para realizar el cálculo de las resistencias térmicas de los materiales, figura 49; y medidas de un ladrillo rojo común, figura 50, para la consideración de los coeficientes de conductividad térmica de los materiales que componen la piscina se tomaran los mismos que se encuentran en la tabla 10.

**Datos:**



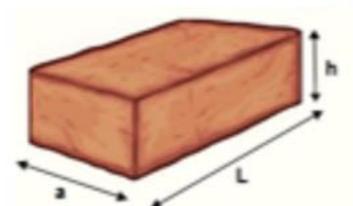
**Figura 48.** Dimensiones de la piscina grande (semiolímpica).



**Figura 49.** Sección de la piscina grande (semiolímpica)

Dimensiones del ladrillo:

L =	24	cm
a =	14	cm
h =	9	cm



**Figura 50.** Medidas de ladrillo rojo común[31].

Cálculo de las resistencias térmicas de los materiales que componen la piscina grande (semiolímpica).

$$R = \frac{L}{k * A}$$

$$R_{baldosa} = \frac{0,004m}{0,7 \frac{W}{m * ^\circ C} * (0,3m * 0,004m)}$$

$$R_{baldosa} = 4,762 W$$

$$R_{cemento} = \frac{0,05m}{0,8 \frac{W}{m * ^\circ C} * (0,3m * 0,05m)}$$

$$R_{cemento} = 4,167 W$$

$$R_{ladrillo} = \frac{0,140m}{0,67 \frac{W}{m * ^\circ C} * (0,3m * 0,140m)}$$

$$R_{ladrillo} = 4,98 W$$

$$R_{agua} = \frac{0,05m}{0,6 \frac{W}{m * ^\circ C} * (0,3m * 0,05m)}$$

$$R_{agua} = 5,56W$$

Procedemos a calcular las resistencias totales por conducción en los materiales

$$R_{Total} = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 \dots$$

$$R_{Total} = 4,762 W + 4,167 W + 4,98 W + 5,56W$$

$$R_{Total} = 19,5 W$$

$$Q_{p-Conducción} = \frac{T_f - T_i}{R_{Total}}$$

$$Q_{p-Condición} = \frac{20^{\circ}\text{C} - 28^{\circ}\text{C}}{19,5 \text{ W}}$$

$$Q_{p-Condición} = - 0,410$$

Se calcula la cantidad de calor de pérdida por unidad de área

$$q_{p-área} = \frac{Q_{p-Condición}}{A}$$

$$q_{p-área} = \frac{- 0,410 \text{ W}}{0,09 \text{ m}^2}$$

$$q_{p-área} = - 4,556 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

Cálculo de las áreas de las paredes de la piscina para establecer las pérdidas en cada pared de la piscina.

$$A = b * h$$

$$A_{L1} = 12,5 * 1,70$$

$$A_{L1} = 21,25 \text{ m}^2$$

$$A_{L2} = 12,5 * 1,70$$

$$A_{L2} = 21,25 \text{ m}^2$$

$$A_{L3} = 12,5 * 25$$

$$A_{L3} = 312,5 \text{ m}^2$$

$$A_{L4} = 1,70 * 25$$

$$A_{L4} = 42,5 \text{ m}^2$$

$$A_{L5} = 1,70 * 25$$

$$A_{L5} = 42,5 \text{ m}^2$$

Cálculo de pérdidas por conducción en paredes de la piscina

$$Q_{p-Condición} = \dot{q}_{p-área} * A$$

$$Q_{p-Condición L1} = - 4,556 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} * 21,25 \text{ m}^2$$

$$Q_{p\text{-Conducción } L1} = -96,815 \text{ W}$$

$$Q_{p\text{-Conducción } L2} = -4,556 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} * 21,25 \text{ m}^2$$

$$Q_{p\text{-Conducción } L2} = -96,815, \text{ W}$$

$$Q_{p\text{-Conducción } L3} = -4,556 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} * 312,5 \text{ m}^2$$

$$Q_{p\text{-Conducción } L3} = -1423,75 \text{ W}$$

$$Q_{p\text{-Conducción } L4} = -4,556 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} * 42,5 \text{ m}^2$$

$$Q_{p\text{-Conducción } L4} = -193,63 \text{ W}$$

$$Q_{p\text{-Conducción } L5} = -4,556 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} * 42,5 \text{ m}^2$$

$$Q_{p\text{-Conducción } L5} = -193,63 \text{ W}$$

$$Q_{p\text{-Conducción Total}} = -96,815 \text{ W} - 96,815 \text{ W} - 1423,75 \text{ W} - 193,63 \text{ W} - 193,63 \text{ W}$$

$$\dot{Q}_{p\text{-Conducción Total}} = -2004,64 \text{ W} \approx -2004,64 \text{ J}$$

Cálculo de pérdidas de calor de piscina por convección

$$h \text{ agua} = 300 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 * ^\circ\text{C}}$$

$$Q_{p\text{-Convección}} = h * A * (T_f - T_i)$$

$$Q_{p\text{-Convección}} = 300 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 * ^\circ\text{C}} * 312,5 \text{ m}^2 * (20^\circ\text{C} - 28^\circ\text{C})$$

$$Q_{p\text{-Convección}} = -750\,000 \text{ W} \approx -750\,000 \text{ J}$$

- **Cálculo de reposición de agua en la piscina grande (semiolímpica)**

Según Iñaki y Miguel Angel, mencionan en su trabajo que la normativa dicta que la renovación del agua por razones higiénicas debe ser del 5 % de vaso o volumen de la piscina al día (Iñaki Goñi Echeverz, Miguel Ángel Pascual Buisan, 2013). De acuerdo con, mediciones realizadas se tiene que esta agua se encuentra a 16 °C figura 51, debido a que esta agua se usa para realizar el cebado de agua tanto de la piscina pequeña como de la grande (semiolímpica) es decir se usa la misma temperatura medida.



*Figura 51. Temperatura de cebado del agua de cebado para la piscina grande (semiolímpica).*

Para observar las medidas de la piscina grande semiolímpica observamos la figura 44. Para realizar estos cálculos.

$$V = l * b * e$$

$$V = 12,5 \text{ m} * 25 \text{ m} * 1,70 \text{ m}$$

$$V = 531,5 \text{ m}^3$$

Calculamos el volumen de cebado con base en el porcentaje indicado.

$$V = 531,25 \text{ m}^3 * 0,05$$

$$V = 26,6 \text{ m}^3$$

Ahora para determinar la pérdida de calor que genera encontramos la masa del cuerpo de agua y la fórmula de calorimetría.

**Datos:**

Densidad del agua  $\rho = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

Calor específico del agua  $C_e = 4186 \frac{\text{J}}{\text{kg} * ^\circ\text{C}}$

$$m = \rho * V$$

$$m = 1000 \frac{kg}{m^3} * 26.6 m^3$$

$$m = 26\,600 kg$$

$$\dot{Q} = m * C_e * (T_f - T_i)$$

$$Q_{agua} = 26\,600 kg * 4186 \frac{J}{kg * ^\circ C} * (16^\circ C - 28^\circ C)$$

$$Q_{agua} = -1336171200 J$$

- **Cálculo de pérdidas de calor por el uso, personas y ventilación en piscina grande (semiolímpica)**

Para determinar cuánto es la pérdida de calor por el uso de los estudiantes en la piscina grande (semiolímpica), se calculó por medio de registro de asistencias a la piscina de estudiantes, encontrando un promedio de 130 personas al día en cinco sesiones de dos horas en la piscina pequeña.

**Datos:**

El caudal de aire por persona es de:  $Q = 20,77 \frac{m^3}{h}$

Número de personas:  $N = 130 personas$

Temperatura ambiente exterior:  $T_{ext} = 20^\circ C$

Temperatura inicial instalaciones donde se encuentra la piscina:  $T_{int} = 26^\circ C$

Densidad del aire:  $\rho = 1,2 \frac{kg}{m^3}$

Calor específico del aire:  $C_e = 1010 \frac{J}{kg * ^\circ C}$

$$V_a = Q * t$$

$$V_a = 20,77 \frac{m^3}{h} * 3600 s$$

$$V_a = 5,77 * 10^{-3} m^3$$

$$m_a = \rho * V_a$$

$$m_a = 1,2 \frac{kg}{m^3} * 5,77 * 10^{-3} m^3$$

$$m_a = 6,924 * 10^{-3} kg$$

$$Q_{vp} = m_a * C_e * (T_{ext} - T_{inte}) * N$$

$$Q_{vp} = 6,924 * 10^{-3} kg * 1010 \frac{J}{kg * ^\circ C} * (20^\circ C - 26^\circ C) * 130$$

$$Q_{vp} = -5454,72 J$$

- **Cálculo de pérdidas totales en la piscina grande entre todas las pérdidas consideradas.**

Se procede a hacer la sumatoria de todas las consideraciones de pérdidas de calor que se han tomado en cuenta para obtener un valor total de pérdidas de calor de la piscina grande (semiolímpica), tomando con signo negativo para indicar que son pérdidas de calor de la piscina hacia los alrededores.

$$Q_{p-Total} = Q_{p-Convección} + Q_{p-Conducción} + Q_{agua} + Q_{vp}$$

$$Q_{p-Total} = - 750\,000\,W - 2004,64\,W - 1336171200\,W - 5454,72\,W$$

$$Q_{p-Total} = - 1.336.928.659\,W$$

- **Tiempo requerido para recircular el volumen agua de la piscina grande (semiolímpica)**

Flujo de agua de la piscina:  $F = 0,01227\,m^3/s$

$$V = 25m * 12,5\,m * 1,70\,m$$

$$V = 531,25\,m^3$$

$$T_r = \frac{V}{F}$$

$$t_r = \frac{531,25\,m^3}{0,01227\,m^3/s}$$

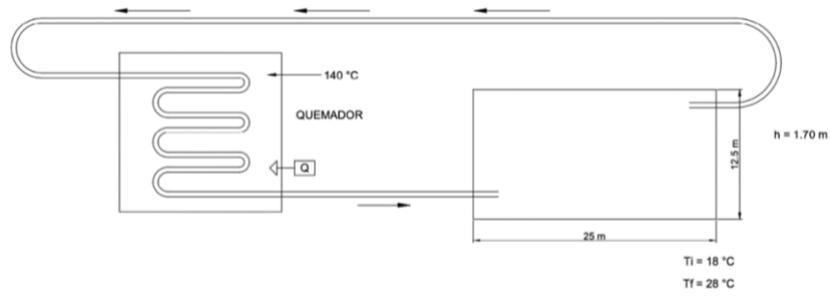
$$t_r = 2274,34\,s$$

$$t_h = 43298,3\,s * \frac{1\,h}{3600\,s}$$

$$t_h = 12,03\,h$$

- **Calor requerido para calentar la piscina grande (semiolímpica)**

Para este cálculo se toma en cuenta el volumen de agua que tiene la piscina y las temperaturas a las que se usa la piscina, con base en las características de la figura 52.



**Figura 52.** Esquema de funcionamiento de la piscina grande (semiolímpica).

**Datos:**

Densidad del agua  $\rho = 1000 \frac{kg}{m^3}$

Calor específico del agua  $C_e = 4186 \frac{J}{kg \cdot ^\circ C}$

$$V = 25 \text{ m} * 12,5 \text{ m} * 1,70 \text{ m}$$

$$V = 531,25 \text{ m}^3$$

$$m = \rho * V$$

$$m = 1000 \frac{kg}{m^3} * 531,25 \text{ m}^3$$

$$m = 531\ 250 \text{ kg}$$

$$Q = m * C_e * (T_f - T_i)$$

$$Q = 531\ 250 \text{ kg} * 4186 \frac{J}{kg * ^\circ C} * (28^\circ C - 18^\circ C)$$

$$Q = 22238125000 \text{ J}$$

Se considera el consumo energético para mantener la temperatura de la piscina de 26°C a 28 °C.

$$Q_c = m * C_e * (T_f - T_i)$$

$$Q_c = 531250 \text{ kg} * 4186 \frac{J}{kg * ^\circ C} * (28^\circ C - 26^\circ C)$$

$$Q_c = 4.447.625.000 \text{ W}$$

Compensación térmica de calor de perdidas más energía calórica requerida para mantener la temperatura a 30 °C

$$Q_{CT} = Q_c + Q_{pT}$$

$$Q_{CT} = 4.447.625.000 \text{ W} + 1.336.928.659 \text{ W}$$

$$Q_{CT} = 5784553659W$$

- **Cálculo de flujo calórico aportado y tiempo de calentado de la piscina.**

Para el análisis de cálculo de del tiempo de calentado de agua de la piscina pequeña considera la caldera figura 53, características del quemador en la figura 54 y la tabla 11; se toma en cuenta los datos de calor calculados en el punto anterior; para esto dividimos el calor que se necesita para la potencia del quemador multiplicado por el rendimiento y el tiempo nos queda en segundos.



*Figura 53. Caldero para calentado de agua de la piscina grande (semiolímpica)*



**Figura 54.** Quemador de la piscina, SF Oil Burner 1.25 to 5.50 GPH | AC power [35].

Datos técnicos del quemador que posee el caldero de la piscina grande (semiolímpica) se muestran en la tabla 13.

**Tabla 13.** Datos técnicos del quemador de la piscina grande.

<b>SF Oil Burner 1.25 to 5.50 GPH   AC power</b>		
<i>Capacidades</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>
Consumo	1.25 GPH	5.50 GPH
Potencia	175 000 BTU/h	770 000 BTU/h
	51 257.5 Watt	225 533 Watt

Condiciones:

- Consideramos las temperaturas del agua caliente que entra a la piscina grande, que proviene del caldero directamente de esta forma se consideran pérdidas y rendimiento.
- Consideración de tiempo de calentado de la piscina sin pérdidas.

**Datos:**

Velocidad de trabajo de la bomba: 1000 rpm

Flujo másico:  $12,27 \text{ l/s} \rightarrow \dot{m} = 12,27 \text{ kg/s}$

Temperatura de entrada:  $T_{ent.} = 18 \text{ °C}$

Temperatura de salida:  $T_{sal.} = 32,8 \text{ °C}$

$$\dot{Q} = \dot{m} * cp * (T_{sal.} - T_{ent.})$$

$$\dot{Q} = 12,27 \text{ kg/s} * 4186 \frac{\text{J}}{\text{kg} * \text{°C}} * (33 \text{ °C} - 26 \text{ °C})$$

$$\dot{Q} = 410897,76 \text{ J/s}$$

Se tiene el calor necesario para calentar la piscina grande ya como dato calculado:

$$Q = 22238125000 \text{ J}$$

$$t = \frac{Q}{\dot{Q}_{aprov.}}$$

$$t = \frac{22238125000 \text{ J}}{410897,76 \text{ J/s}}$$

$$t = 54120,82 \text{ s}$$

$$t_h = 54120,82 \text{ s} * \frac{1h}{3600s}$$

$$t_h = 15,03 \text{ h}$$

Consideración de tiempo de calentado con las pérdidas de calor de la piscina grande (semiolímpica), tomando en cuenta todas las pérdidas de calor calculadas anteriormente, estas se consideran con signo negativo para indicar que son perdidas de calor; para el cálculo total del calor necesario para la piscina se suma las pérdidas de calor (sin considerar el signo menos porque es solo para indicar pérdida) necesario para calentar el volumen total de agua de la piscina, a potencia mínima del quemador.

Pérdidas totales de piscina del punto anterior:  $Q_{p-Total} = -1336928659 \text{ J}$

Calor para calentar a  $30\text{°C}$  del punto anterior:  $Q = 22238125000 \text{ J}$

$$Q_T = Q_{p-Total} + Q$$

$$Q_T = 1336928659 \text{ J} + 22238125000 \text{ J}$$

$$Q_T = 23575053660 J$$

$$t = \frac{Q}{\dot{Q}_{aprov.}}$$

$$t = \frac{23575053660 J}{410897,76 J/s}$$

$$t = 57374,50 s$$

$$t_h = 57374,50 s * \frac{1h}{3600s}$$

$$t_h = 15,94 h$$

- **Compensación de temperatura de piscina grande (semiolímpica)**

En este apartado es conocido que la piscina opera a temperatura de 26 °C a 28 °C. Para este cálculo usamos la ecuación de calorimetría.

Pérdidas totales de piscina del punto 6.6.3.5. (se considera con signo negativo para indicar pérdida)  $\dot{Q}_{p-Total} = - 1336928659 J$

$$t = \frac{Q}{\dot{Q}_{aprov.}}$$

$$t = \frac{1336928659 J}{410897,76 J/s}$$

$$t = 3253,67 s$$

$$t_h = 3253,67 s * \frac{1h}{3600s}$$

$$t_h = 0,904 h \approx 54,24 min$$

- **Tiempo de enfriamiento de la piscina grande (semiolímpica)**

Para este análisis recurrimos a la ley de enfriamiento de Newton mediante condiciones iniciales, con lo cual realizamos la medida de la temperatura de la piscina pequeña en un día normal de uso sin recirculación de agua como fase más desfavorable para poder establecer cuanto tiempo tarda la piscina en llegar a 28 °C; el equipo usado para esta medición fue un multímetro con adaptación de un termopar tipo K se observa en la figura 44.

- La ley de Newton indica la siguiente ecuación que permite analizar este fenómeno.

$$\frac{dT}{dt} = k(T - T_A)$$

Luego de desarrollar la ecuación de la ley de enfriamiento de Newton nos queda en la siguiente expresión:

$$T = C * e^{k*t} + T_A$$

Se procede de la siguiente manera,

**Datos:**

La temperatura inicial de la piscina figura 55:  $T_i = 28,4 \text{ }^\circ\text{C}$



*Figura 55. Temperatura de la piscina grande (semiolímpica).*

La temperatura ambiente del lugar es:  $T_A = 20^\circ\text{C}$

Temperatura tomada luego de 60 min de tiempo figura 56:  $T_t = 26,3^\circ\text{C}$



**Figura 56.** Temperatura de la piscina grande (semiolímpica) luego de una hora apagado todo el sistema para recrear la situación más desfavorable.

Entonces, estos datos se toman como condiciones iniciales para establecer el tiempo que se demora en alcanzar una temperatura de 28 °C.

$$T = C * e^{k*t} + T_A$$

Primera condición  $t = 0$        $T_i = 28,4$  °C

$$28,4 = C * e^{k*(0)} + 20$$

$$28,4 = C * 1 + 20$$

$$28,4 = C + 20$$

$$C = 28,4 - 20$$

$$C = 8,4$$

$$T = 8,4 * e^{k*t} + 20$$

Segunda condición  $t = 60 \text{ min}$        $T_i = 26,3$  °C

$$26,3 = 8,4 * e^{k*(60)} + 20$$

$$26,3 - 20 = 8,4 * e^{k*(60)}$$

$$6,3 = 8,4 * e^{k*(60)}$$

$$\frac{6,3}{8,4} = e^{k*(60)}$$

$$\ln\left(\frac{6,3}{8,4}\right) = \ln(e^{k*(60)})$$

$$\ln\left(\frac{6,3}{8,4}\right) = 60 * k$$

$$k = \frac{\ln\left(\frac{6,3}{8,4}\right)}{60}$$

$$k = -4,7947x10^{-3}$$

$$T = 8,4 * e^{-4,7947x10^{-3}*t} + 20$$

$$T = 8,4 * e^{k*t} + 20$$

Tiempo de enfriado  $t = \zeta$        $T = 26$  °C

$$26 = 8,4 * e^{-4,7947x10^{-3}*t} + 20$$

$$26 - 20 = 8,4 * e^{-4,7947x10^{-3}*t}$$

$$6 = 8,4 * e^{-4,7947x10^{-3}*t}$$

$$\left(\frac{6}{8,4}\right) = e^{-4,7947x10^{-3}*t}$$

$$\ln\left(\frac{6}{8,4}\right) = \ln(e^{-4,7947x10^{-3}*t})$$

$$\ln\left(\frac{6}{8,4}\right) = -4,7947x10^{-3} * t$$

$$t = \frac{\ln\left(\frac{6}{8,4}\right)}{-4,7947x10^{-3}}$$

$$t = 70,2 \text{ min} \approx 1,17 \text{ h}$$

- **Consumo de diésel en galones**

Según, los datos técnicos del quemador de la tabla 13, apoyados en esos datos para estimar el consumo de Diesel para el calentado de la piscina grande (semiolímpica).

Se tiene que el consumo de diésel en galones por hora del quemador que se encuentra en la caldera de la piscina grande (semiolímpica) es de 1,25 GPH a 5,50 GPH respectivamente a mínima y máxima potencia.

$$Co = C_{min} * t$$

- Consumo de diésel sin pérdidas a potencia mínima de pisciana grande.

$$Co = 1,25 \frac{G}{h} * 9,03 h$$

$$Co = 11,29 G \approx 42,74 l$$

- Consumo de diésel considerando las pérdidas térmicas de la piscina grande.

$$Co = 1,25 \frac{G}{h} * 9,57 h$$

$$Co = 12 G \approx 45,42 l$$

- Consumo de diésel para conservación de temperatura de 26 °C a 28 °C considerando las pérdidas térmicas de la piscina grande.

$$Co = 1,25 \frac{G}{h} * 0,543 h$$

$$Co = 0,68 G \approx 2,6 l$$

- Consumo de diésel en un día operativo.

$$Co = 1,25 \frac{G}{h} * 10 h$$

$$Co = 12,5 G \approx 47,32 l$$

- **Resumen del análisis de la piscina grande (Semiolímpica)**

Resumen del análisis realizado para la piscina grande (semiolímpica) se muestran en la tabla 14.

**Tabla 14.** Resumen de todos los análisis de la piscina grande (semiolímpica).

<b>Análisis piscina grande semiolímpica 531,25 m<sup>3</sup></b>	
<b>Flujo de trabajo</b>	194,43 GPM
<b>Flujo de másico de trabajo</b>	$\dot{m} = 12,27 \text{ kg/s}$
<b>Perdidas de calor totales</b>	$Q_{p-total} = -1336928659 \text{ J}$
<b>Calor requerido</b>	$Q = 22238125000 \text{ J}$
<b>Total, de calor requerido con pérdidas</b>	$Q_T = 23575053660 \text{ J}$
<b>Energía producida por el caldero por la quema de diésel</b>	$\dot{Q}_{aprov.} = 684\,144,8 \text{ J/s}$
<b>Energía producida por compensación de temperatura</b>	$Q_{CT} = 5784553659 \text{ W}$
<b>Tiempo de calentado de agua</b>	
<b>Potencia máxima del quemador</b>	225 674 J/s
<b>Potencia mínima del quemador</b>	51 289.56 J/s
<b>Tiempo de calentado sin pérdidas</b>	15 h
<b>Tiempo de calentado con pérdidas</b>	15,94 h
<b>Tiempo compensación de calor de 26°C a 28 °C con pérdidas</b>	0,904 h $\approx$ 54,24 min
<b>Tiempo de enfriamiento de la piscina</b>	
<b>28°C a 26 °C</b>	70,2 min $\approx$ 1,17 h
<b>Consumo de Diesel</b>	
<b>Consumo de diésel sin pérdidas</b>	15 G
<b>Consumo de diésel con pérdidas</b>	15,94 G
<b>Consumo de diésel para compensación de temperatura de 28°C a 26 °C.</b>	$C_o = 0,68 \text{ G} \approx 2,6 \text{ l}$
<b>Consumo de diésel en un día de uso.</b>	12,49G $\approx$ 47,28 l
<b>Tiempo de operación al día de caldero de 28 °C a 18 °C arranque inicial</b>	18,7 h
<b>Tiempo de operación al día de caldero de 28 °C a 26 °C.</b>	9.9 h
<b>Emisiones de gases generados por la piscina</b>	
<b>Diario</b>	124,32 kg de CO <sub>2</sub>
<b>Mensual</b>	3729,60 kg de CO <sub>2</sub>
<b>Anual</b>	45376,84 kg de CO <sub>2</sub>

### 5.3.7 Análisis energético del sistema de colectores solares térmicos para obtención de agua caliente

- Determinación de número de colectores solares para la piscina pequeña

Se realiza este análisis en base a las pérdidas totales que se tiene en las piscinas y la energía que se necesita para elevar de 28°C a 30 °C.

Se tiene que para suplir perdidas y mantener la temperatura de piscina se necesita:

$$Q_{pT} = 361769273,1W$$

Ahora se toma en cuenta la energía que aporta el colector solar:

$$Q_{utCol} = 9333,60W * día$$

Para poder relacionar las unidades de las energías de aporte y perdidas, la energía de aporte de los colectores la expresamos en Watt.

$$Q_{utCol} = 9333,60W * día * 11h * 3600s$$

$$Q_{utCol} = 369610560 W$$

Ahora para determinar el número de colectores totales se tiene lo siguiente:

*Ecuación 27. Número de colectores mediante energía aportada*

$$N_{Colectores} = \frac{Q_{PT}}{Q_{utCol}} \quad (27)$$

$$N_{Colectores} = \frac{361769273,1W}{369610560 W}$$

$$N_{Colectores} = 0,98$$

De acuerdo con este análisis se determina que para la compensación de energía de la piscina pequeña se requieren 1 colectores, pero para el sistema se consideran 2 por motivos de que la radiación es variable y los colectores tienen una eficiencia de 40% además que el área de trabajo lo permite.

- **Análisis de consumo de diésel sin presencia de radiación solar en la noche.**

Según, lo calculado para mantener la temperatura en la noche, el caldero que mantiene caliente el agua de la piscina pequeña debe trabajar periodos de 51 minutos a lo largo de la noche sabiendo que el agua de la piscina se enfría a 28 °C en un lapso de 2 horas, dando un total de horas de trabajo de 3,97 h a lo largo de la noche. Según la tabla 12 el quemador de la caldera consume 1,25 GPH de diésel.

**Ecuación 28. Consumo de combustible en la noche**

$$Co_D = t_{noche} * Co_{quemador} \quad (28)$$

$$Co_D = 2,53 \text{ h} * 1,25 \text{ GPh}$$

$$Co_D = 3,16 \text{ galones}$$

Donde:  $Co_D$  = Consumo de diésel,  $t_{noche}$  = tiempo de encendido en la noche,  $Co_{quemador}$  = consumo de diésel por hora del quemador del caldero.

- **Resumen del análisis de la radiación absorbida en la piscina pequeña**

Se muestra el resumen del análisis de radiación en la piscina pequeña en la tabla 15.

**Tabla 15. Resumen de energía generada por colectores térmicos de la piscina pequeña y consumo de diésel.**

<b>Balance energético piscina pequeña</b>	
<b>Número de colectores requeridos</b>	2
<b>Radiación incidente al día</b>	4141 $\frac{\text{W} * \text{día}}{\text{m}^2}$
<b>Calor útil generado con colectores.</b>	369610560 W
<b>Consumo de diésel en la noche</b>	3,16 galones
<b>Aporte total</b>	20%

- **Determinación de numero de colectores solares para la piscina Grande semiolímpica.**

Se realiza este análisis en base a las pérdidas totales que se tiene en las piscinas y la energía que se necesita para elevar de 26°C a 28 °C.

Se tiene que para suplir perdidas y mantener la temperatura de piscina se necesita:

$$Q_{pT} = 5784553659 \text{ W}$$

Ahora se toma en cuenta la energía que aporta el colector solar:

$$Q_{utCol} = 9333,60\text{W} * \text{día}$$

Para poder relacionar las unidades de las energías de aporte y perdidas, la energía de aporte de los colectores la expresamos en Watt.

$$Q_{utCol} = 9333,60\text{W} * \text{día} * 11\text{h} * 3600\text{s}$$

$$Q_{utCol} = 369610560 \text{ W}$$

Ahora para determinar el número de colectores totales se tiene lo siguiente:

**Ecuación 29.** Número de colectores mediante energía aportada

$$N_{\text{Colectores}} = \frac{Q_{PT}}{Q_{utCol}} \quad (29)$$

$$N_{\text{Colectores}} = \frac{5784553659 \text{ W}}{369610560 \text{ W}}$$

$$N_{\text{Colectores}} = 15,65 \approx 16$$

De acuerdo con este análisis se determina que para la compensación de energía de la piscina pequeña se requieren 16 colectores solares.

- **Análisis de consumo de diésel sin presencia de radiación solar en la noche.**

Según, lo calculado para mantener la temperatura en la noche, el caldero que mantiene caliente el agua de la piscina grande debe trabajar a lo largo de la noche 10h, sabiendo que el agua de la piscina se enfría a 26°C en un lapso de 1,17 horas, según la tabla 14 el quemador de la caldera consume 1,25 GPH de diésel.

**Ecuación 30.** Consumo de combustible en la noche

$$Co_D = t_{\text{noche}} * Co_{\text{quemador}} \quad (30)$$

$$Co_D = 8 \text{ h} * 1,25 \text{ GPh}$$

$$Co_D = 10 \text{ galones}$$

Donde:  $Co_D$  = Consumo de diésel,  $t_{\text{noche}}$  = tiempo de encendido en la noche,  $Co_{\text{quemador}}$  = consumo de diésel por hora del quemador del caldero.

- **Resumen del análisis de la radiación absorbida en la piscina grande (semiolímpica)**

Resumen del análisis de radiación en la piscina grande se presenta en la tabla 16.

**Tabla 16.** resumen de energía generada por colectores térmicos de la piscina grande.

<b>Energía y aporte energético aportado por colectores</b>	
<b>Número de colectores requeridos</b>	16
<b>Radiación incidente al día</b>	4141 $\frac{\text{W} * \text{día}}{\text{m}^2}$
<b>Calor útil generada al día</b>	5913768960 W
<b>Consumo de diésel en la noche</b>	10 galones
<b>Aporte generado total</b>	40%

- **Consideración de la energía total aprovechable que generan los calderos y el sistema con colectores solares.**

Se consideran los totales de las energías aportadas por los dos sistemas y se estima el aporte total de los colectores solares:

Calor útil total de la quema de diesel al día: 14389362811 W \* día

Calor generado por los colectores total: 6652990080 W\*día

Se detalla en la tabla 17.

**Tabla 17.** Balance energético total.

<b>Análisis energético</b>	
<b>Energía del sistema de calderos a diésel</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
14389362811 W * día	100
<b>Aporte de energía quema de diésel</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
7736372731 W*día	<b>54</b>
<b>Energía del sistema con radiación solar</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
6652990080 W*día	46

Para este análisis tomamos en cuenta los gastos de combustible que previamente se calcularon, se tiene entre las dos piscinas un total de 18,51 galones de diésel para calentar las piscinas al día.

**Datos:**

Consumo diario = 16,88 galones de diésel

Aporte en porcentaje de calor: A = 46 %

**Ecuación 31.** Ahorro de combustible por día

$$\text{Ahorro} = \text{consumo diario} * A \quad (31)$$

$$\text{Ahorro} = 16,88 \text{ galones} * 0,46 \%$$

$$\text{Ahorro} = 7,76 \text{ galones}$$

Se tiene un ahorro de 8,03 galones al día de diésel.

El personal a cargo de las piscinas de la institución indica como se lleva a cabo la adquisición del diésel para el calentamiento de las piscinas, cuya información que es de nuestro conocimiento indica que se compra 1000 galones de diésel en un periodo de 45 días, lo que nos da un consumo diario de 22,222 galones de diésel esto se explica mejor en la tabla 18. Según Petroecuador, el galón de diésel industrial prémium ronda un precio de 3,45 dólares para uso industrial, figura 57 [37].

<b>SECTOR INDUSTRIAL</b>		
<b>DIESEL 1 INDUSTRIAL</b>	Galones	\$ 3,149944
<b>DIESEL 2 INDUSTRIAL</b>	Galones	\$ 3,149944
<b>DIESEL PREMIUM INDUSTRIAL</b>	Galones	\$ 3,454388
<b>EXTRA INDUSTRIAL</b>	Galones	\$ 2,881198

*Figura 57. Precios de combustibles con vigencia hasta el 11 de febrero de 2023 [37].*

*Tabla 18. Consumo actual de diésel en las piscinas de la institución.*

<b>Consumo y costo actual de diésel en las piscinas</b>		
<i>Tiempo</i>	<i>Galones de diésel</i>	<i>Costo (\$)</i>
Diario	22,222	77
Mensual	667	2301,2
Anual	8111	27983,1

De acuerdo con, los valores calculados de consumo de diésel diario y el costo, se procede a analizar los dos sistemas para establecer diferencias entre el uno y el otro y sobre todo estimar cuanto sería el ahorro económico anual con la implementación de colectores solares térmicos, lo que se puede observar en la tabla 19.

*Tabla 19. Comparativa de sistemas y ahorro de dinero.*

<b>Sistema</b>	<b>Consumo de diésel al día</b>	<b>Costos (\$)</b>		
	<b>Galones</b>	<b>Día</b>	<b>Mes</b>	<b>Anual</b>

<i>Actual</i>	22,22	77	2301,20	27983,1
<i>Eficiente</i>	16,88	58,24	1747,08	21256,14
<b>Ahorro</b>	5,34	18,42	552,69	6724,39
<i>Hibrido</i>	13,16	45,40	1362,06	16571,73
<b>Ahorro</b>	7,76	26,77	803,16	9771,78

Luego de haber hecho varios cálculos para establecer el consumo diario de diésel en el sistema actual de las piscinas y el de la implementación de colectores solares. es decir, el sistema híbrido, se procede a analizar las emisiones que se generaban y se generaran con el sistema híbrido. Según Santiago Bedón “Un litro de diésel produce un 2.63 Kg de  $CO_2$ , debido a su mayor densidad y mayor contenido de carbono”[3], según lo expuesto se procede a analizar las emisiones de  $CO_2$  en la tabla 20.

**Tabla 20.** Relación de contaminación del sistema actual y el híbrido y el ahorro de contaminación

<b>Sistema</b>	<b>Consumo de diésel al día</b>		<b>Contaminación <math>kg</math> de <math>CO_2</math></b>		
	<b>Galones</b>	<b>Litros</b>	<b>día</b>	<b>mes</b>	<b>anual</b>
<i>Actual</i>	22,22	84,12	221,24	6637,10	80751,00
<i>Eficiente</i>	16,88	63,90	168,06	5041,71	61340,81
<b>Ahorro</b>	5,34	20,21	53,15	1594,57	19400,59
<i>Hibrido</i>	13,16	49,82	131,03	3930,80	47824,71
<b>Ahorro</b>	7,76	29,37	77,24	2317,29	28193,73

### 5.3.8 Análisis estructural de la cubierta que soportara los colectores

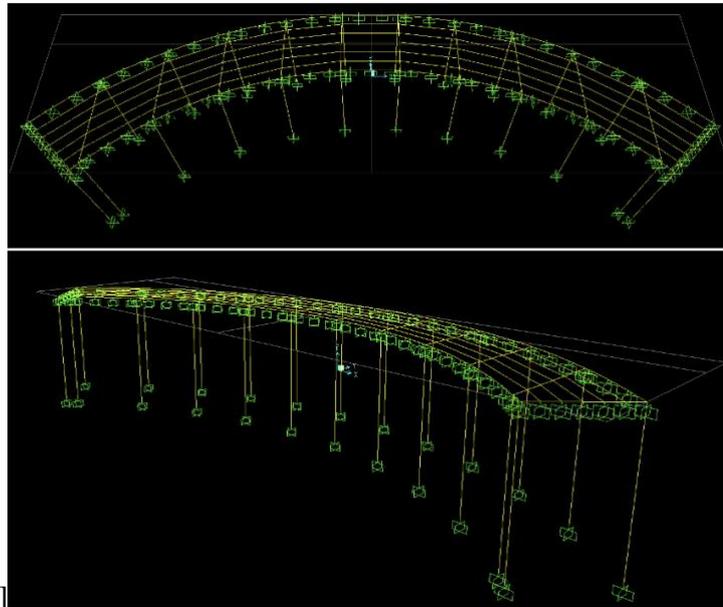
En este punto se consideran todas las cargas a las que se va a someter la estructura ya con la adición de los 25 colectores solares térmicos, considerando con su capacidad máxima de almacenaje de agua en cada uno. Luego de esto, se realizan todas las consideraciones de sobrecarga de la estructura a las que se someterá con el peso adicionado.

Para realizar todas estas estimaciones de las sobrecargas de la estructura que soportara todos los colectores solares se revisó la normativa INEN que es la que regula a nivel del país en Ecuador tabla 21.

**Tabla 21.** Consideraciones de sobrecargas de la estructura bajo la normativa INEN.

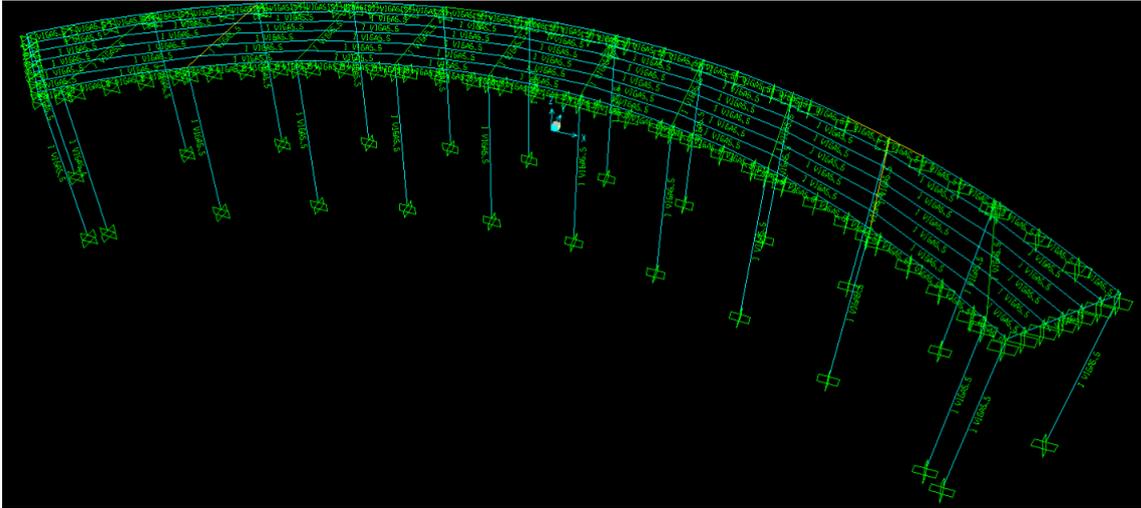
Tipo de carga	Denominación	Valores de las cargas	
Muerta	Colectores	2949,57 [N] u	64890,59 [N] total
Viva	Personal de instalación	2 [N/m <sup>2</sup> ]	
Viento	Viento	5 [KN/m <sup>2</sup> ]	
Granizo	Granizo	21 m/s	

Luego de haber establecido todas las cargas que se someterán en la estructura que soportara la carga, procedemos a usar el software de ingeniería SAP 2000, cuyo software permitió esquematizar la estructura para poder realizar el análisis estructural en una simulación y determinar si es posible implementar este sistema híbrido con aporte de los colectores solares a continuación se presenta la estructura que soportara estos las cargas establecidas figura 58.



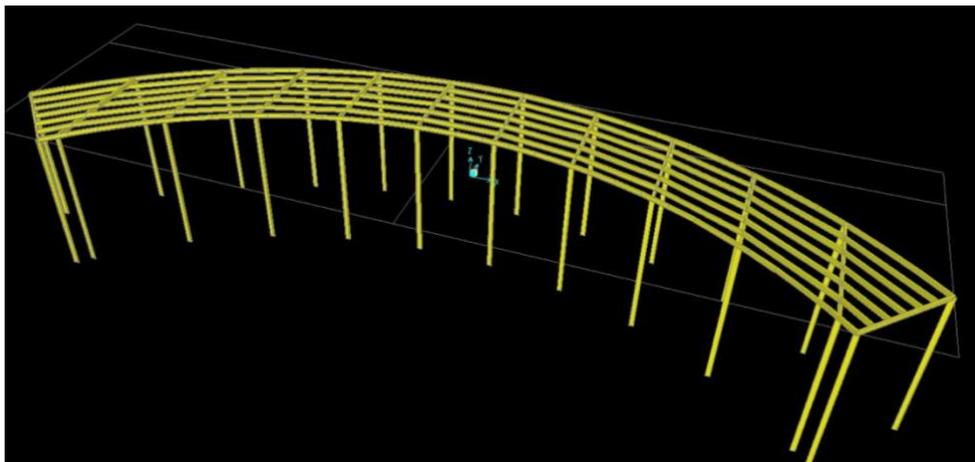
**Figura 58.** Estructura de cubierta de las piscinas de la institución Técnico Salesiano.

Luego de esto se procede a ubicar todas las consideraciones de cargas que soportara la estructura figura 59.



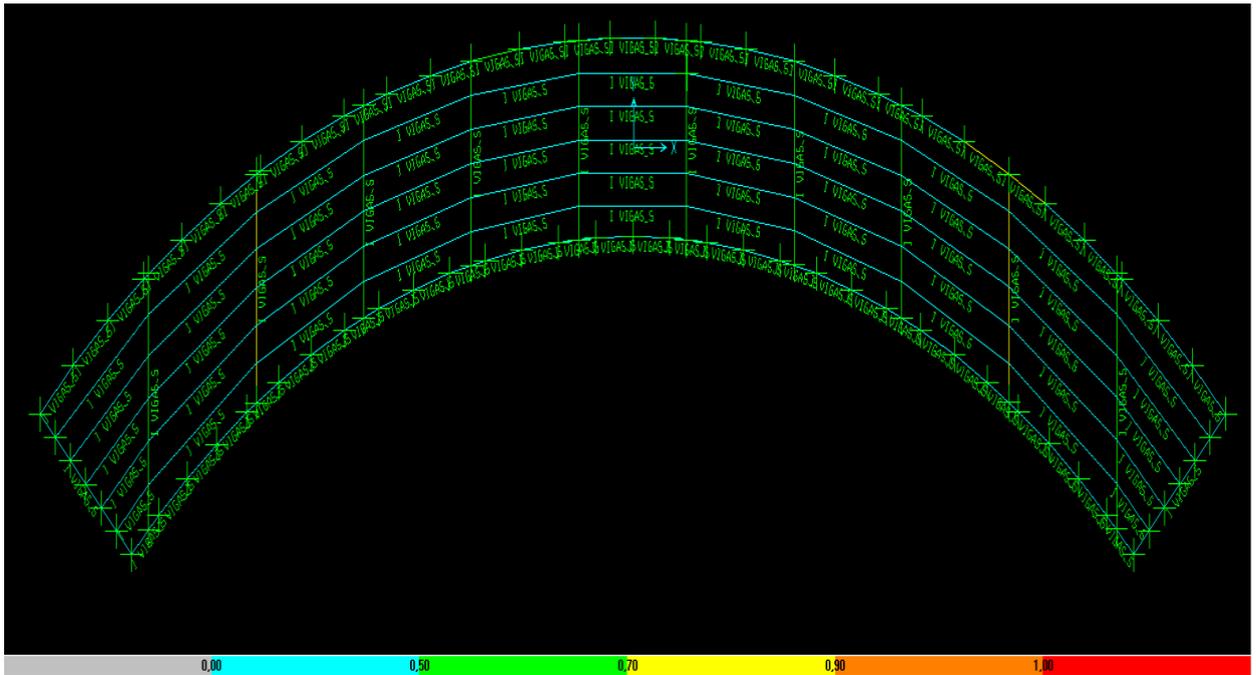
**Figura 59.** Ubicación de las cargas en la estructura.

Luego de ubicar las cargas también se designa el material con el que se va a trabajar, en este caso es acero estructural A-36 como se muestra en la figura 60.



**Figura 60.** Estructura armada de forma realista.

Luego de esto se procede a realizar la simulación de la estructura para verificar si es factible agregar los colectores en el techo de las instalaciones de las piscinas de la Unidad Educativa Fiscomisional Técnico Salesiano Figura 61.



**Figura 61.** Simulación de consideraciones de cargas de la estructura.

Luego de haber realizado las simulaciones podemos observar los siguientes resultados tabla 22.

**Tabla 22.** Capacidad de carga en la estructura.

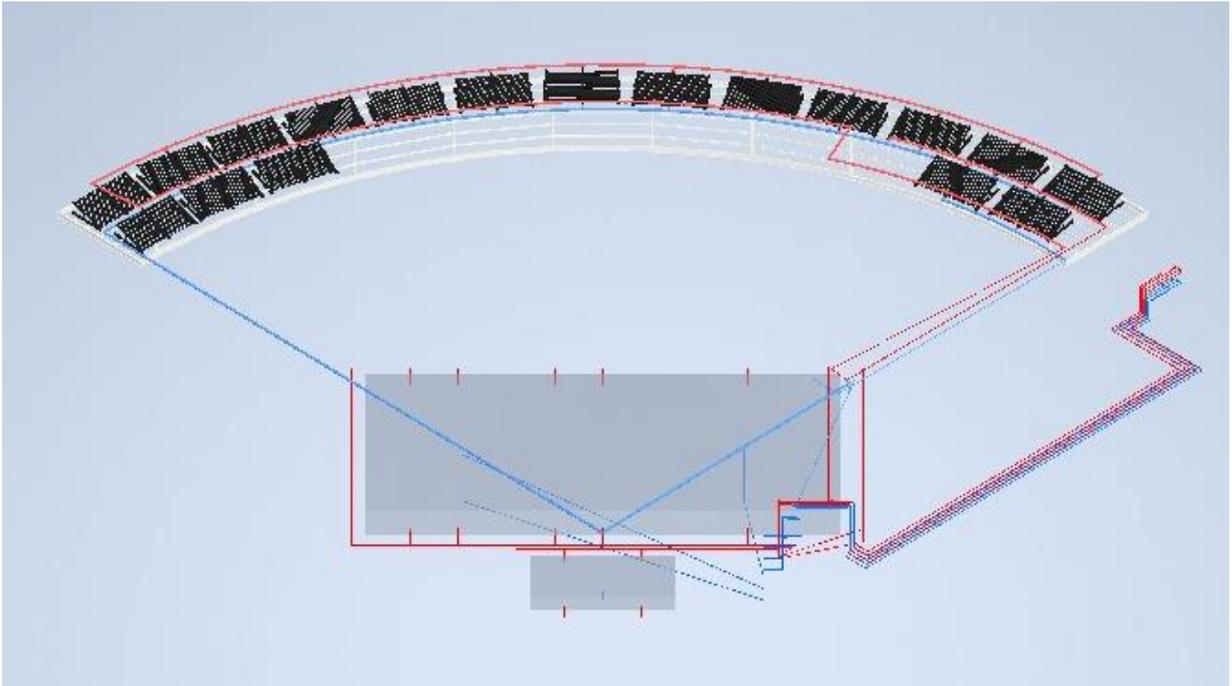
Capacidad de trabajo de las vigas en la estructura	
Mínimo	0,50
Máximo	0,80

Luego de obtener los resultados de la simulación de la estructura se puede determinar que si es posible realizar la implementación del sistema de los colectores solares en el techo de la estructura.

### 5.3.9 Integración física del sistema solar térmico con el sistema de calderos

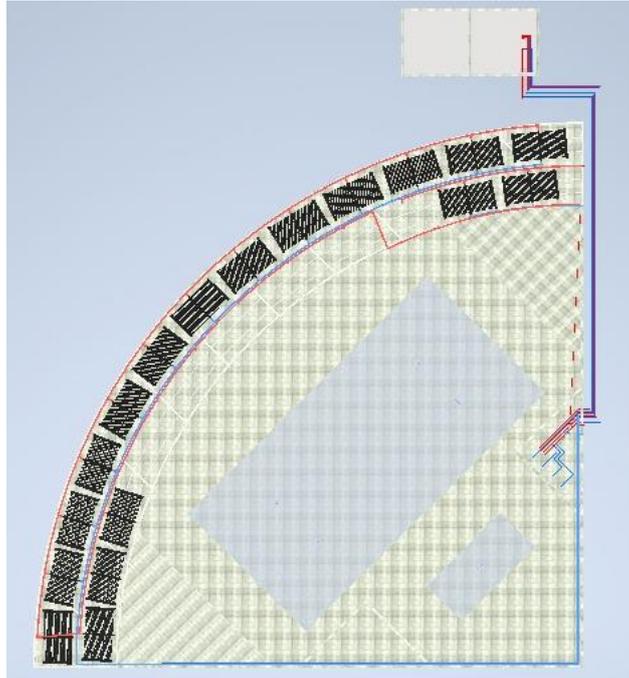
De acuerdo con todos los análisis realizados anteriormente, se determina, que es factible realizar la implementación de un sistema híbrido. Es decir, un sistema que tendrá un aporte energético por parte de la energía limpia que ofrece el sol y la otra parte que se proporcionaría con el uso de los calderos con los que ya cuentan las instalaciones para de esta manera reducir la dependencia de los calderos que se disponen y de cierta forma reducir la contaminación ambiental.

Debido a esto, se realiza el diseño de todo el sistema mediante la utilización de software de diseño mecánico Inventor, se expone la extracción del agua para ser elevada al techo de las instalaciones de las piscinas, misma que se extrae a la salida de la zona de purificado de agua después de haber pasado por la zona de las bombas que propulsan el agua de las piscinas; las cuales tendrán que trabajar a 1941 rpm de velocidad para impulsar el agua a 10 m de altura a razón de 90 GPM cada bomba, y de esta forma nos queda el diseño de las tuberías. Mostrado en la figura 62.



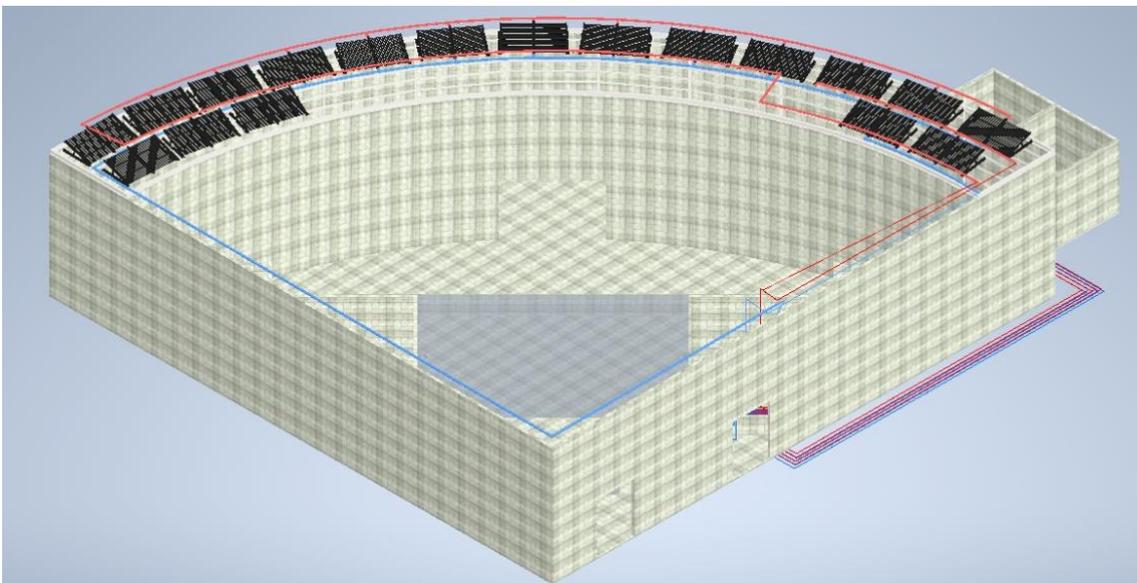
**Figura 62.** *Diseño 3D de las conexiones de agua fría, agua caliente y colectores.*

Para el diseño a detalle consideramos todos los accesorios extras que se implementarán en la instalación del sistema para realizar un diseño figura 63.



**Figura 63.** *Diseño a detalle de sistema híbrido vista superior.*

Luego de esto hacemos el diseño 3D a detalle para establecer como sería el sistema totalmente instalado en la realidad con un aprovechamiento total de espacio de 25 colectores solares que serán instalados 3 para la piscina pequeña y 22 para la piscina semiolímpica observar la figura 64.



**Figura 64.** *Diseño 3D realista del sistema*

## 6 Análisis Técnico Financiero

### 6.1 Análisis de precios unitarios

Para el análisis de costos unitarios, analizar se ha tomado en cuenta material, herramientas, transporte, maquinaria, mano de obra que se encarga de ensamblaje, de los subsistemas, hemos utilizado un sistema de costos unitarios para establecer en función de los diagramas de construcción de los tres:

Sistema de colectores representado en el anexo 1, por medio de este método detallamos el costo en la tabla 23.

*Tabla 23. Análisis de costos para el sistema de colectores solares.*

PROYECTO: Diseño de un sistema de calentamiento de agua mediante colectores solares térmicos para las piscinas de la unidad educativafiscomisional técnico salesiano					
ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
NOMBRE DEL OFERENTE:	García J. Ortiz J.				
PROYECTO: Diseño de un sistema de calentamiento de agua mediante colectores solares térmicos para las piscinas de la unidad educativafiscomisional técnico salesiano					
ITEM:	1				
DESCRIPCION:	Sistema de colectores				
UNIDAD:	u				
EQUIPO Y HERRAMIENTA					
DESCRIPCION	CANTIDAD A	TARIFA HORA B	RENDIMIENTO HORAS/U C	COSTO TOTAL D=A*B*C	
Válvula termostática	2			160.00	
Válvula anti-retorno	25			375.00	
Sensor temperatura piscina	1			25.00	
Sensor temperatura colectores	1			25.00	
Colectores	18			23400.00	
			PARCIAL M	23985.00	
MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	PRECI/U	COSTO TOTAL C=A*B	
				PARCIAL N	0.00
TRANSPORTE					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	TARIFA/U B	DISTANCIA C	COSTO TOTAL D=A*B*C
Servicio de transporte	u	1	1.74	115	200.10
				PARCIAL O	200.10
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANTIDAD A	S.R.H. B	RENDIMIENTO HORAS/U	COSTO TOTAL D=A*B*C	
Ayudante de instalación	1	3.22	160	515.20	
Ingeniero Mecanico	2	3.58	160	1145.60	
				PARCIAL P	1660.80
<b>TOTAL COSTOS DIRECTOS X = (M+N+O+P)</b>					<b>25845.90</b>
INDIRECTOS Y UTILIDAD				20.00%	5169.18
<b>COSTO TOTAL DEL RUBRO</b>					
<b>VALOR PROPUESTO</b>					<b>31015.08</b>

Sistema de soporte representado en el anexo 2, se considera todos los costos de materiales y construcción de este sistema en la tabla 24.

**Tabla 24. Análisis de costos del sistema de soporte de los colectores solares.**

ÁNALISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
<b>NOMBRE DEL OFERENTE:</b>	Garcia J. Ortiz J.				
<b>PROYECTO:</b>	Diseño de un sistema de calentamiento de agua mediante colectores solares térmicos para las piscinas de la unidad educativafiscomisional técnico salesiano				
<b>ITEM:</b>	2				
<b>DESCRIPCION:</b>	Soporte				
<b>UNIDAD:</b>	u				
<b>EQUIPO Y HERRAMIENTA</b>					
<b>DESCRIPCION</b>		<b>CANTIDAD A</b>	<b>TARIFA HORA B</b>	<b>RENDIMIENTO HORAS/U C</b>	<b>COSTO TOTAL D=A*B*C</b>
Amoladora		1			60,00
Taladro		1			40,00
Flexometro		1			5,00
Granete		1			3,00
Soldadora		1			150,00
				<b>PARCIAL M</b>	<b>258,00</b>
<b>MATERIALES</b>					
<b>DESCRIPCION</b>		<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD A</b>	<b>PRECI/U</b>	<b>COSTO TOTAL C=A*B</b>
Perfiles en ángulo		u	33	35	1155,00
Pernos		u	400	0,2	80,00
Tubo cuadrado		u	17	60	1020,00
Barilla de suelda		kg	8,00	2	16,00
				<b>PARCIAL N</b>	<b>2271,00</b>
<b>TRANSPORTE</b>					
<b>DESCRIPCION</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD A</b>	<b>TARIFA/U B</b>	<b>DISTANCIA C</b>	<b>COSTO TOTAL D=A*B*C</b>
Servicio de transporte	km	1	2,10	12	25,20
				<b>PARCIAL O</b>	<b>25,20</b>
<b>MANO DE OBRA</b>					
<b>DESCRIPCION</b>		<b>CANTIDAD A</b>	<b>S.R.H. B</b>	<b>RENDIMIENTO HORAS/U</b>	<b>COSTO TOTAL D=A*B*C</b>
Ayudante de instalación		1	3,22	160	515,20
Ingeniero Mecanico		2	3,58	160	1145,60
				<b>PARCIAL P</b>	<b>1145,60</b>
<b>TOTAL COSTOS DIRECTOS X = (M+N+O+P)</b>					<b>3699,80</b>
<b>INDIRECTOS Y UTILIDAD</b>				20,00%	739,96
<b>COSTO TOTAL DEL RUBRO</b>					
<b>VALOR PROPUESTO</b>					<b>4439,76</b>

Sistema de las tuberías corresponde al anexo 3, por medio de este método se considera los costos de tuberías y accesorios para esta instalación en la tabla 25.

**Tabla 25. Análisis de costos del sistema de tuberías y bombas.**

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
<b>NOMBRE DEL OFERENTE:</b>		García J. Ortiz J.			
<b>PROYECTO:</b> Diseño de un sistema de calentamiento de agua mediante colectores solares térmicos para las piscinas de la unidad educativafiscomisional técnico salesiano					
<b>ITEM:</b>		3			
<b>DESCRIPCION:</b>		Tubería			
<b>UNIDAD:</b>		u			
<b>EQUIPO Y HERRAMIENTA</b>					
<b>DESCRIPCION</b>		<b>CANTIDAD A</b>	<b>TARIFA HORA B</b>	<b>RENDIMIENTO HORAS/U C</b>	<b>COSTO TOTAL D=A*B*C</b>
Bomba de agua 1hp		1			227,00
				<b>PARCIAL M</b>	<b>227,00</b>
<b>MATERIALES</b>					
<b>DESCRIPCION</b>		<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD A</b>	<b>PRECI/U</b>	<b>COSTO TOTAL C=A*B</b>
Tubo Plastigama PP 2"X6M		u	32	61	1952,00
Codo Roscado 2" X 90		u	26	6,52	169,52
Tee Polipr. 2"		u	56	7,15	400,40
Tubo PVC P Roscado 2"		u	15	51,77	776,55
Pegamento de tubos		u	5	12	60,00
Pistola de calor		u	1	60	60,00
Codo P		u	35	0,4	14,00
Tarrajá		u	1	25	25,00
				<b>PARCIAL N</b>	<b>3432,47</b>
<b>TRANSPORTE</b>					
<b>DESCRIPCION</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD A</b>	<b>TARIFA/U B</b>	<b>DISTANCIA C</b>	<b>COSTO TOTAL D=A*B*C</b>
Servicio de transporte	km	1	2,10	12	25,20
				<b>PARCIAL O</b>	<b>25,20</b>
<b>MANO DE OBRA</b>					
<b>DESCRIPCION</b>		<b>CANTIDAD A</b>	<b>S.R.H. B</b>	<b>RENDIMIENTO HORAS/U</b>	<b>COSTO TOTAL D=A*B*C</b>
Ayudante de instalación		1	3,22	160	515,20
Ingeniero Mecánico		2	3,58	160	1145,60
				<b>PARCIAL P</b>	<b>1660,80</b>
<b>TOTAL COSTOS DIRECTOS X = (M+N+O+P)</b>					5345,47
<b>INDIRECTOS Y UTILIDAD</b>					20,00% 1069,09
<b>COSTO TOTAL DEL RUBRO</b>					
<b>VALOR PROPUESTO</b>					<b>6414,56</b>

Luego de hacer análisis de costos de todos los sistemas se presenta la oferta del costo total de todo el sistema en la tabla 26.

**Tabla 26. Costo total de oferta del sistema híbrido.**

<b>ANÁLISIS DE COSTOS TOTALES</b>					
<b>PROYECTO: Diseño de un sistema de calentamiento de agua mediante colectores solares térmicos para las piscinas de la unidad educativa fiscomisional técnico salesiano</b>					
<b>ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS</b>					
Fecha:					
N°	Descripción	Unid.	Cantidad	P. Unitario	P. Total
1	Sistema de colectores	u	1	31015.08	31015.1
2	Soporte	u	1	4439.76	4439.76
3	Tubería	u	1	6414.56	6414.56
				<b>TOTAL</b>	<b>41869.40</b>
<b>Cuarenta y un mil ochocientos sesenta y nueve con cuarenta centavos</b>					
Responsable: Javier Garcia y John Ortiz					

### 6.2 Análisis de retorno de inversión de los sistemas

Luego de analizar los costos de inversión de cada sistema, da como resultado una inversión total de 41.869,40 USD, en donde se ha realizado una comparativa de ahorro de dinero entre los tres sistemas como muestra tabla 27.

**Tabla 27. Consumo de combustible de los tres sistemas**

Sistema manual	Consumo	1.25	Sistema Eficiente	Consumo	1.035	Sistema Colectores	Consumo	0.77
Piscina Pequeña	Día	\$4.31	Piscina Pequeña	Día	\$3.57	Piscina Pequeña	Día	\$2.66
	Mes	\$129.38		Mes	\$107.12		Mes	\$79.70
	Año	\$1,574.06		Año	\$1,303.32		Año	\$969.62
	Consumo	22.22		Consumo	16.88		Consumo	13.16
Piscina Grande	Día	\$76.66	Piscina Grande	Día	\$58.24	Piscina Grande	Día	\$45.40
	Mes	\$2,299.77		Mes	\$1,747.08		Mes	\$1,362.06
	Año	\$27,980.54		Año	\$21,256.14		Año	\$16,571.73
<b>Total</b>		<b>\$29,554.60</b>	<b>Total</b>		<b>\$22,559.46</b>	<b>Total</b>		<b>\$17,541.35</b>

### 6.3 Análisis de tasa inversión de retorno

Para el análisis TIR, se considera un flujo de 10 años, para conocer el tiempo de amortización y saber desde qué año se obtiene un balance positivo, se detalla en la tabla 28.

**Tabla 28. Flujo de tasa inversión de retorno en 10 años**

Inversion	-41869.40	USD	TIR
Flujo año 1	17390.24	USD	-58%
Flujo año 2	17911.95	USD	-11%
Flujo año 3	18449.31	USD	13%
Flujo año 4	19002.78	USD	26%
Flujo año 5	19572.87	USD	33%
Flujo año 6	20160.05	USD	37%
Flujo año 7	20764.86	USD	40%
Flujo año 8	21387.80	USD	41%
Flujo año 9	22029.44	USD	42%
Flujo año 10	22690.32	USD	43%

De acuerdo con el análisis TIR desde el tercer año de funcionamiento se amortiza toda la inversión inicial de la implementación de colectores solares térmicos, generando 13% de ganancia en comparación a los dos primeros años, conforme se acerca a los diez años, el porcentaje de ganancia se mantiene estable, debido a la inflación del 3 % de cada año en Ecuador.

## 7 Análisis de resultados

En el análisis de la situación inicial de las instalaciones de las piscinas, se pudo identificar que el sistema que se tiene actualmente es deficiente, aunque tiene un sistema automatizado que no está funcionando; lo que provoca que se tenga un alto consumo de combustible y no se tenga conciencia del gasto energético que representa y de las altas emanaciones de gases contaminantes; todo esto se presenta en la tabla 29.

**Tabla 29.** Consumo actual del sistema en un análisis inicial realizado.

<i>Consumo actual.</i>	
<b>Generadores de calor</b>	Dos calderos (Uno para cada piscina)
<b>Consumo de combustible</b>	1.000 galones en 45 días
<b>Costo de combustible</b>	3450 USD
<b>Consumo diario de combustible</b>	22,22 galones de diésel
<b>Costo de combustible anual</b>	27983,1 USD
<b>Contaminación anual actual</b>	80751,00 kg de $CO_2$

Se ha llegado a los resultados antes mencionados después de identificar que todo el proceso de funcionamiento se lleva de manera manual, convirtiéndose de por sí en una desventaja, pues depende de la persona que esté ejecutando todo el tiempo el encendido y apagado de los calderos; además de esto no cuentan con un control eficiente de las temperaturas de las piscinas, de la misma manera que no se lleva un control eficiente del consumo de diésel, por lo tanto, no tienen conciencia de que se está produciendo una alta contaminación ambiental.

Luego haber realizado todo el análisis que conlleva el correcto funcionamiento de la piscina pequeña, considerando las pérdidas de calor que se dan en el ambiente, la energía que se necesita para calentar la piscina de 18 °C hasta 30 °C, consumo de combustible y

todo lo demás que comprende la operación de esta piscina hemos obtenido los siguientes resultados en la tabla 30.

**Tabla 30.** Requerimientos de funcionamiento óptimo para piscina pequeña.

<i>Funcionamiento óptimo</i>	
<b>Total, de calor requerido con pérdidas</b>	$Q_T = 1701288398 J$
<b>Energía producida por el caldero por la quema de diésel</b>	$\dot{Q}_{aprov.} = 911725,87 J/s$
<b>Tiempo de calentado con pérdidas</b>	1,11 h
<b>Tiempo compensación de calor de 28°C a 30 °C con pérdidas</b>	0,24 h $\approx$ 14,4 min
<b>Consumo de diésel en un día de uso</b>	4,39 G $\approx$ 11,96 l
<b>Costo diario de consumo</b>	15,15 \$
<b>Emisiones Diarias</b>	43,71 kg de $CO_2$

Según lo calculado se tiene un consumo de diésel de 4,39 galones de diésel que al día nos produce un consumo y emisiones diarias de **43,71 kg de  $CO_2$** .

Entonces, luego de hacer todo el análisis para la piscina pequeña, procedimos a analizar las mismas variables con los mismos procesos de cálculo para la piscina grande semiolímpica considerando igualmente el volumen de agua, la energía, las pérdidas generadas, teniendo en cuenta que esta piscina trabaja de, 18 °C hasta 28 °C. Obtuvimos los resultados expuestos en la tabla 31.

**Tabla 31.** Requerimientos de funcionamiento óptimo para piscina pequeña.

<i>Funcionamiento óptimo</i>	
<b>Total, de calor requerido con pérdidas</b>	$Q_T = 23575053660 J$
<b>Energía producida por el caldero por la quema de diésel</b>	$\dot{Q}_{aprov.} = 684\ 144,8 J/s$
<b>Tiempo de calentado con pérdidas en el encendido</b>	15,94 h
<b>Tiempo compensación de calor de 28°C a 30 °C con pérdidas</b>	0,904 h $\approx$ 54,24 min
<b>Consumo de diésel en un día de uso</b>	12,49 G
<b>Costo diario de consumo</b>	54,83 \$
<b>Emisiones Diarias</b>	124,34 kg de $CO_2$

Luego del análisis de energía y el tiempo de calentado de la piscina grande semiolímpica tenemos que se consume 12,49 galones de diésel al día, esto supone un gasto diario de 54,83 \$ en combustible y **124,34 kg deCO<sub>2</sub>**.

Después de todos estos análisis, se estimó el aporte energético que supondrían los colectores solares térmicos, debido a que se optó por poner 18 colectores solares en el área de trabajo, esto determinado por el área total del techo de las instalaciones que se tienen, en donde se estableció colocar un número de 2 colectores solares térmicos para la piscina pequeña debido a que su volumen de agua es pequeño de 32 m<sup>3</sup> de agua.

Continuando con el análisis para la piscina grande semiolímpica se designó el número restante de colectores solares que es de 16, ya que cuenta con un volumen de agua total de 531,25 m<sup>3</sup> de agua y supone mayor aporte energético de calor. Todo este análisis nos da un aporte total de energía de los colectores solares térmicos que se muestran en la tabla 32.

**Tabla 32.** *Aporte energético de los colectores solares a las piscinas.*

<b>Aporte energético de colectores a las piscinas</b>	
<b>Radiación</b>	4141 $\frac{W * \text{día}}{m^2}$
<b>Piscina pequeña</b>	
<b>Número de colectores</b>	2
<b>Calor generado al día</b>	369610560 W
<b>Piscina Grande</b>	
<b>Número de colectores solares</b>	16
<b>Calor generado al día</b>	5913768960 W
<b>Total, de las dos piscinas</b>	6283379520 watt * día

Una vez analizado el aporte energético obtenido por los colectores solares, se obtuvo que se suple un 46 % de la energía calórica que se necesita suministrar para el calentamiento de las piscinas, de esta manera generando un importante ahorro de dinero y emisiones de gases mostrado en la tabla.

Una vez realizado todos los análisis anteriores se procede a establecer los ahorros de diésel, económicos y de emisiones al medioambiente, entre los sistemas analizados, sistema actúa, sistema eficiente y el sistema híbrido en la tabla 33.

**Tabla 33.** Comparativa de emisiones de los tres sistemas.

<b>Sistema</b>	<b>Consumo de diésel al día</b>		<b>Contaminación kg de CO<sub>2</sub></b>		
	<b>Galones</b>	<b>Litros</b>	<b>día</b>	<b>mes</b>	<b>anual</b>
<i>Actual</i>	22,22	84,12	221,24	6637,10	80751,00
<i>Eficiente</i>	16,88	63,90	168,06	5041,71	61340,81
<i>Ahorro</i>	5,34	20,21	53,15	1594,57	19400,59
<i>Hibrido</i>	13,16	49,82	131,03	3930,80	47824,71
<i>Ahorro</i>	7,76	29,37	77,24	2317,29	28193,73

Comparativa económica de los tres sistemas analizados detallado en la tabla 34.

**Tabla 34.** Comparativa de costos en los tres sistemas.

<b>Sistema</b>	<b>Consumo de diésel al día</b>	<b>Costos (\$)</b>		
	<b>Galones</b>	<b>Día</b>	<b>Mes</b>	<b>Anual</b>
<i>Actual</i>	22,22	77	2301,20	27983,1
<i>Eficiente</i>	16,88	58,24	1747,08	21256,14
<i>Ahorro</i>	5,34	18,42	552,69	6724,39
<i>Hibrido</i>	13,16	45,40	1362,06	16571,73
<i>Ahorro</i>	7,76	26,77	803,16	9771,78

Una vez culminado con los análisis energéticos y de consumo se ha ejecutado el análisis estructural del techo de las instalaciones para verificar que sea posible adicionar el peso de este nuevo sistema, utilizando el software Sap 2000 en donde nos dio que los elementos estructurales estaban trabajando a un factor de utilidad de un 50 % hasta un 80 % en pequeñas zonas, con lo que se determina que la estructura soporta el nuevo sistema sometido a varias cargas bajo a lo que establece la norma INEN.

Finalmente, se analiza mediante la herramienta de costos unitarios cada uno de los subsistemas para establecer los costos que generaran cada uno de estos establecidos en las tablas 23, 24, 25; lo que resulto con un costo total de 41.869,40 dólares.

Seguido de esto se implementó el método de tasa de inversión retornable (TIR) para establecer en cuanto tiempo se amortizará el costo total del proyecto tabla 35.

*Tabla 35. Taza de inversión de retorno en un periodo de 10 años.*

Inversion	-41869.40	USD	TIR
Flujo año 1	17390.24	USD	-58%
Flujo año 2	17911.95	USD	-11%
Flujo año 3	18449.31	USD	13%
Flujo año 4	19002.78	USD	26%
Flujo año 5	19572.87	USD	33%
Flujo año 6	20160.05	USD	37%
Flujo año 7	20764.86	USD	40%
Flujo año 8	21387.80	USD	41%
Flujo año 9	22029.44	USD	42%
Flujo año 10	22690.32	USD	43%

## 8 Conclusiones

- En primera instancia el sistema actual de las piscinas, se ha determinado como un sistema deficiente, pues tiene un consumo de **22, 22 galones** diarios de diésel, esto debiéndose a que este sistema no tiene control alguno, sino que depende del control total de la persona que realiza el encendido y apagado de los calderos que calientan las piscinas, esto es lo que genera las pérdidas y los altos consumos de diésel, pues no se tiene debidos controles de temperaturas de las dos piscinas, por lo tanto, no se tiene la conciencia de que este tipo de control es muy contaminante, ya que llega a tener un total de **80751,00 kg de CO<sub>2</sub>** al año que es un indicador de alta contaminación para este proceso que no se lleva con el control adecuado, produciendo un alto incremento de la huella de carbono ambiental de la institución.
- Después de realizado un diagnóstico del sistema actual de las piscinas, se ha realizado un estudio en donde se toma en cuenta la energía total que necesita cada piscina para poder calentarse de 18°C a 30 °C y 18°C a 28 °C en la piscina pequeña y grande respectivamente tomando en cuenta el tiempo de calentamiento, todas las pérdidas de calor que se generan en las piscinas, el consumo de combustible que se necesita para esta operación, y otras consideraciones para tener un sistema eficiente, se determinó que se necesita consumir diariamente **4,39 galones** de diésel para calentar la piscina pequeña durante el día, que para calentar la piscina grande necesitamos **12,49 galones** diarios de diésel y un total de **16,88 galones** todo esto ya con todas las pérdidas que se generan en el

transcurso del día, empleado un control de las temperaturas y del encendido de los calderos todo optimizado con un controlador para no depender enteramente de la persona que realiza este proceso; ya con todo este control se obtuvo que el total de la contaminación sería **61340,81 kg de CO<sub>2</sub>** una reducción notable solo con este control eficiente del proceso y un ahorro de **5,34 galones** de diésel lo que será **6724,39 kg de CO<sub>2</sub>** gases no contaminantes que no serán generados respecto del sistema actual que se tiene, todo esto en términos anuales.

- Entonces la propuesta que se hace en este sistema es hacer un sistema híbrido que trabaje de forma eficiente y tenga un aporte energético mediante energía renovable; es decir, que use la energía solar térmica para el calentamiento de agua para las piscinas, en donde por los volúmenes de agua de las piscinas se ha determinado colocar dos colectores solares térmicos para la piscina pequeña y 16 colectores solares térmicos para la piscina grande semiolímpica, lo que supondrá un aporte energético del **46%** del total requerido de energía para calentar las piscinas, pero como es sabido la energía solar térmica no suplirá el **100%** de energía, por tanto, se seguiría empleando diésel, pero con este estudio se tendrá que consumir **13,16 galones** de diésel para calentar las piscinas suponiendo una reducción de contaminación aún más grande respecto a la del sistema eficiente, pues se tendrá unas emisiones de 47824,71 kg de CO<sub>2</sub> y con los colectores solares se dejara de consumir **7,76 galones** y a su vez también se dejará de emanar **28193,73 kg de CO<sub>2</sub>** gases contaminantes todo esto de igual forma al año, y a nivel económico también supone un gran ahorro económico que se encuentra expuesto en la tabla 31.
- Luego de realizar todos los análisis pertinentes para el nuevo sistema híbrido, se analiza la estructura del techo de las instalaciones en donde se colocarán los colectores solares térmicos para determinar si esta soporta, mediante el software Sap 2000 y efectivamente luego de las consideraciones de carga que establece la normativa INEN, se verificó la estructura dando como resultado que se tienen una capacidad de carga de entre 50 y 80 % en toda la estructura con lo cual es factible la implementación del sistema.
- Finalmente, después de esto se analizó los costos del sistema mediante la herramienta de costos unitarios en donde establecimos tres sistemas: sistema colectores, sistema soportes, sistema tuberías; lo que nos supuso un costo total en los tres sistemas de **41.869,40 USD**, como un costo de inversión total; de tal

manera analizamos también la tasa de inversión de retorno (TIR) y tenemos que según este análisis que después de un periodo de tres años se suple la inversión y a partir de esto se obtienen ganancias por los ahorros que supone este sistema.

## 9 Recomendaciones

- Llevar un control más organizado del funcionamiento de las piscinas de la institución para que no haya deficiencias en el sistema.
- Retomar el sistema automatizado de las piscinas para que esto no solo dependa de la persona encargada de hacer cumplir este proceso.

## 10 Bibliografía

- [1] P. J. R. Torres, «Combustibles, fósiles y contaminación», *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, vol. 8, pp. 87-92, jun. 1999, doi: 10.18359/rcin.1412.
- [2] J. G. Velasco, *Energías renovables*. Reverte, 2009.
- [3] J. S. P. Bedón, «Grupos estacionarios diésel y la contaminación ambiental en la florícola Piganflor de la comunidad de Piganta.», p. 73, 2019.
- [4] Carlos Leal Iga y Javier Leal Iga, «Radiación Solar en proyectos Urbanos». Universidad Autónoma de Nuevo León, 2015. [En línea]. Disponible en: <http://eprints.uanl.mx/8870/1/Documento1.pdf>
- [5] M. P. Aparicio, *Radiación solar y su aprovechamiento energético*. Marcombo, 2020.
- [6] M. Martínez, «Radiación solar – conceptos y aplicaciones», p. 4, 2016.
- [7] J. L. Ordóñez, «Espectro electromagnético y espectro radioeléctrico», p. 15.
- [8] A. Carraminana, «1.1. Electrodinámica clásica», p. 22, ago. 2020.
- [9] F. Abarca Calderón, «Infografía: tecnologías en el espectro electromagnético», *Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica*, dic. 2019, Accedido: 23 de noviembre de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.kerwa.ucr.ac.cr/handle/10669/85519>
- [10] Román Bravo Cadena, «Sistema de colector plano para Deshidratación solar en el Valle de la Muerte». Centro de investigación en materiales avanzados, S.C., 2012. [En línea]. Disponible en: <https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1004/784/1/Román%20Bravo%20Cadena%20MER.pdf>
- [11] D. N. V. Limón, «Naturaleza de la e. S., geometría solar, análisis del clima y estudio de disponibilidad del recurso solar», p. 154, 2010.
- [12] Fernando Izquierdo Tacuri, «Atlas solar del ecuador con fines de generación eléctrica». CONELEC, Consejo Nacional de Electricidad, 12 de marzo de 2008. [En

línea]. Disponible en: <https://biblioteca.olade.org/opac-tmpl/Documentos/cg00041.pdf>

[13] D. Orellana y G. Jacqueline, «Estimación de la radiación solar global diaria en el cantón Cuenca mediante la aplicación del modelo Bristow & Campbell», p. 94, 2015.

[14] U. A. Cengel, *Transferencia de calor y masa. Un enfoque práctico*, Tercera edición. Mexico: McGraw-Hill Interamericana, 2007.

[15] F. Valdes-Parada, *Transferencia de calor: Notas de clase*. 2019.

[16] Narcisa de Jesús Sánchez Salcán, «“Simulación de un colector solar térmico de tubos de vacío”». Universidad técnica de Ambato, 2022. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/35506/1/t2026mfa.pdf>

[17] W. Carrión-Chamba, W. Murillo-Torres, A. Montero-Izquierdo, W. Carrión-Chamba, W. Murillo-Torres, y A. Montero-Izquierdo, «Una revisión de los últimos avances de los colectores solares térmicos aplicados en la industria», *Ingenius. Revista de Ciencia y Tecnología*, n.º 27, pp. 59-73, jun. 2022, doi: 10.17163/ings.n27.2022.06.

[18] Santiago Ramiro Peña Valencia, «“Estudio de aislantes térmicos para cubierta en paneles solares plásticos y su influencia sobre la eficiencia para el calentamiento de agua aprovechando la energía solar absorbida en la ciudad de ambato”». Universidad técnica de Ambato, 2014. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/7570/1/Tesis%20I.%20M.%2021%20-%20Peña%20Valencia%20Santiago%20Ramiro.pdf>

[19] M. Lozano, *Colectores solares térmicos*. 2019.

[20] I. M. Macri, «Autoridades nacionales», 2019.

[21] R. V. A. Gregorio, «Monitoreo y manejo de los recursos naturales», p. 54, 2021.

[22] John Ignacio Calle Sigüencia, «Integración de sistemas solares térmicos eficientes para obtener Agua Caliente Sanitaria y disminuir la contaminación ambiental en el cantón Cuenca», p. 203, 2018.

[23] Hermenegildo Rodríguez Galbarro, «Instalaciones Termosolares para la Producción de Agua Caliente Sanitaria (ACS)», 2022. <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn188.html> (accedido 21 de diciembre de 2022).

[24] LKN systems, «Tubo de vacío Heat Pipe LKN HP200 con limitación 90°C», 2022. <https://www.lknsistemas.com/es/tubo-de-vacio-heat-pipe-hp200-con-limitacion-90-kingspan-thermomax> (accedido 21 de diciembre de 2022).

[25] Almache Almeida Jacqueline Alexandra, Andrade Becerra Sebastián Alexander, «Análisis y desarrollo de un prototipo utilizando policarbonato alveolar de 8 mm para calentamiento de agua y calefacción de ambiente para el laboratorio de energías renovables de la universidad de las fuerzas armadas - ESPE». Universidad de las Fuerzas Armadas, 2016. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/11649/1/T-ESPE-053074.pdf>

[26] Ó. C. Fuentes y J. J. G. Macho, «Sistemas solares de termosifón de uso

doméstico para producción de agua caliente sanitaria», p. 138, 2016.

[27] Hissuma Materiales, «Colector solar termosifónico tipo Manifold de 25 o 50 tubos ideal para sistemas de calefacción o climatización», *HISSUMA MATERIALES*, 2022. <https://www.hissuma-materiales.com.ar/productos/colector-solar-termsifonico-tipo-manifold-de-25-o-50-tubos-ideal-para-sistemas-de-calefaccion-o-climatizacion/> (accedido 7 de diciembre de 2022).

[28] P. R. Martínez, *Energía Solar Térmica: Técnicas para su Aprovechamiento*. Marcombo, 2009.

[29] A. G. Rosas, J. C. G. Islas, G. G. Garrido, y J. M. M. Gómez, «Manual para la instalación de un sistema solar térmico», vol. 6, 2016.

[30] PENTAIR, «IntelliFlo® Variable Speed® High Performance Pool Pump», 2023. [https://www.pentair.com/en-us/products/residential/pool-spa-equipment/pool-pumps/intelliflo\\_variable\\_speed\\_high\\_performance\\_pump.html](https://www.pentair.com/en-us/products/residential/pool-spa-equipment/pool-pumps/intelliflo_variable_speed_high_performance_pump.html) (accedido 14 de febrero de 2023).

[31] Jimmy Castillo Lira, «Cálculo de Cantidades de Ladrillo y Mortero - Ingenieriyas», *Ingeniería y más*, 1 de abril de 2017. <http://ingenieriyas.com/2017/04/calculo-de-cantidades-de-ladrillo-y.html> (accedido 12 de enero de 2023).

[32] Efraín Rodríguez, «Rodríguez Efraín (2020) - Tabla de Conductividad Térmica de Materiales y Aislantes | PDF | Ingeniería de Edificación | Química», *Scribd*, 2020. <https://es.scribd.com/document/519520854/Rodriguez-Efrain-2020-Tabla-de-Conductividad-Termica-de-Materiales-y-Aislantes> (accedido 10 de enero de 2023).

[33] Iñaki Goñi Echeverz, Miguel Ángel Pascual Buisan, «Climatización de una piscina cubierta en pamplona-memoria y calculos», feb. 2013, [En línea]. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/19332239.pdf>

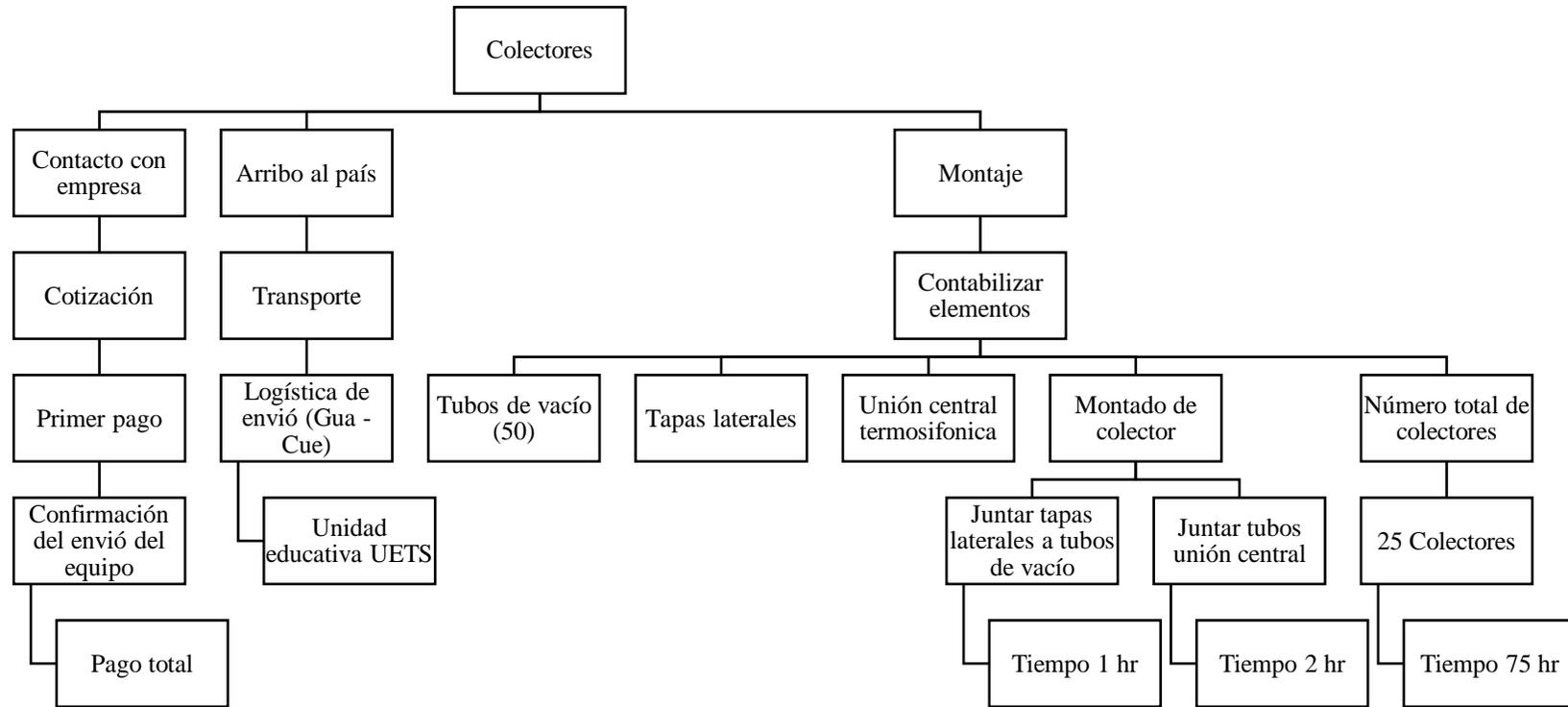
[34] Jerry D. Wilson, Anthony J. Buffa, Bo Lou, *College Physics - Jerry D. Wilson, Anthony J. Buffa, Bo Lou - Google Libros*, 5Ta. 2003. Accedido: 12 de enero de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=KFEvYPsc5IMC&oi=fnd&pg=PR18&dq=la+f%C3%ADsica+&ots=ROSOVBdcJs&sig=INEdy6RiLk00LLotEJeynIp8m3M#v=onepage&q=la%20f%C3%ADsica&f=false>

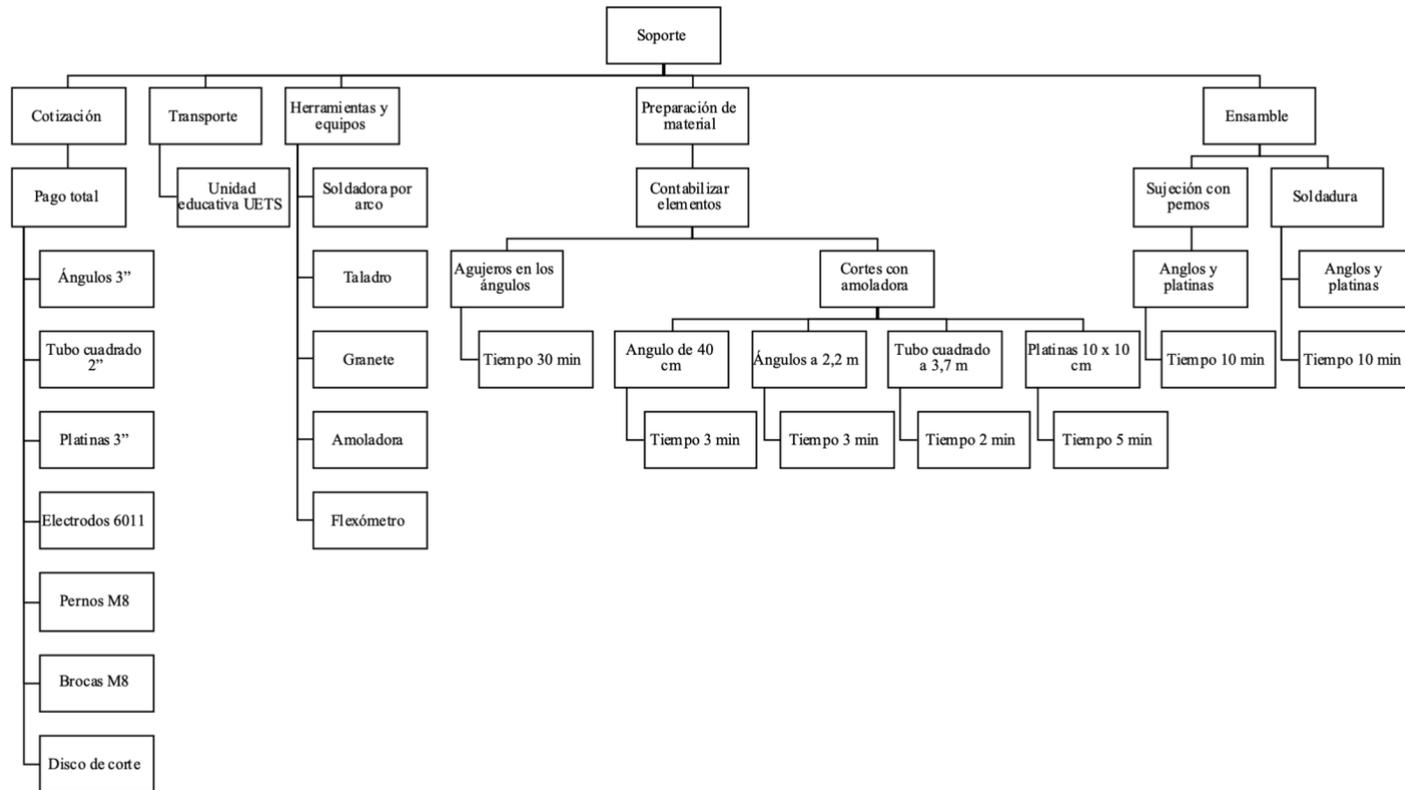
[35] Beckett Corporation, «SF Oil Burner 1.25 to 5.50 GPH | AC Power | Beckett Corporation», *Beckett*, 11 de mayo de 2022. <https://www.beckettcorp.com/product/sf-oil-burner-1-25-to-5-50-gph-ac-power/> (accedido 11 de enero de 2023).

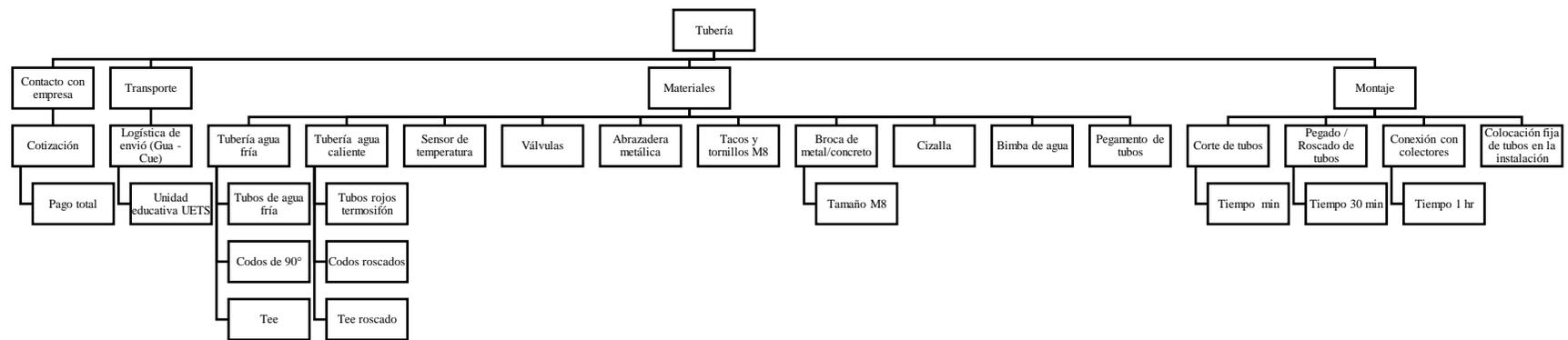
[36] Fanny Zapata, «Interpolación lineal: fórmulas, cómo hacerla, ejemplos, ejercicios», *Lifeder*, 12 de marzo de 2021. <https://www.lifeder.com/interpolacion-lineal/> (accedido 10 de enero de 2023).

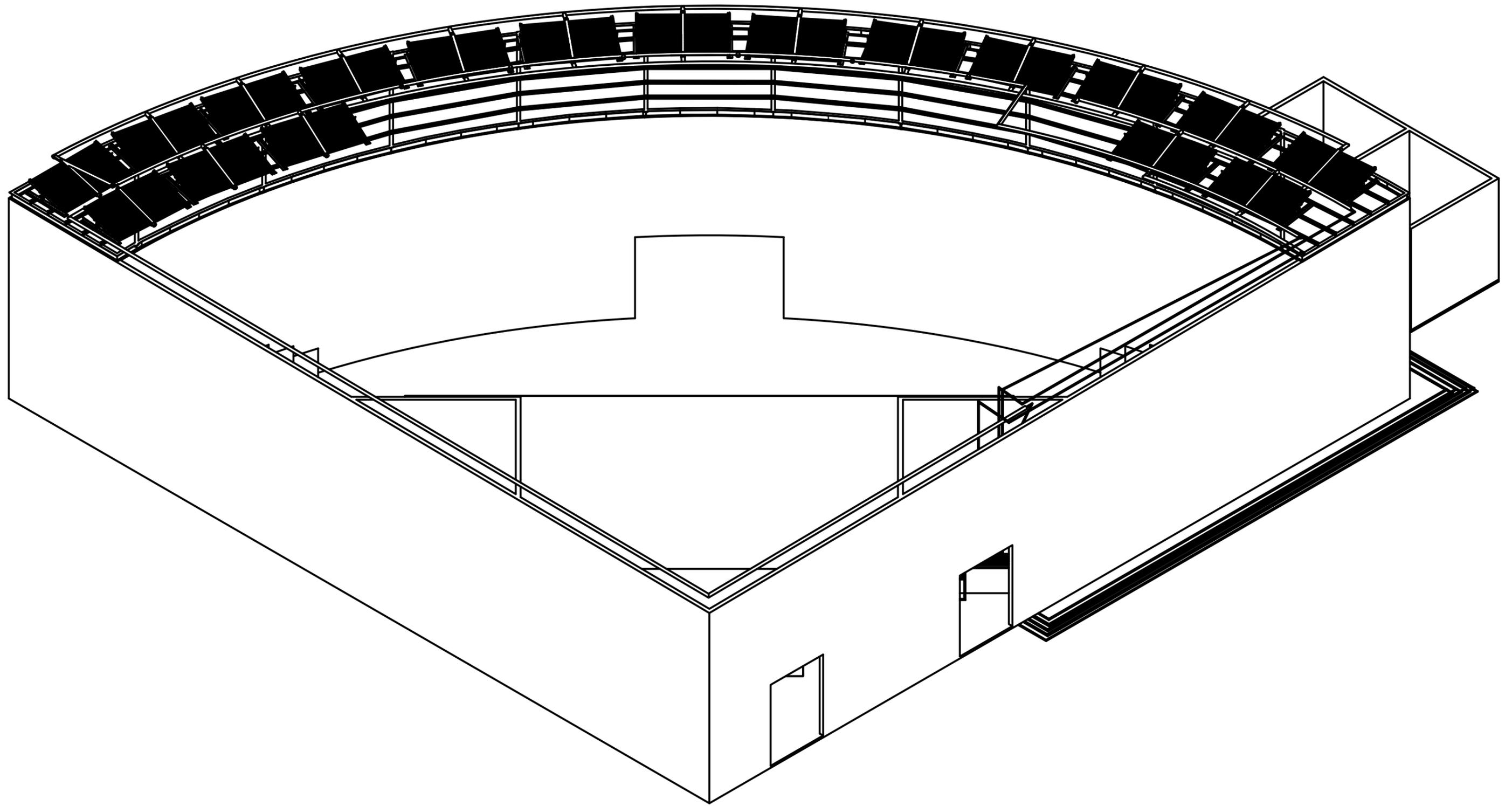
[37] Petroecuador, «Precios de venta en terminal para las comercializadoras calificadas y autorizadas a nivel nacional». Petroecuador, 12 de enero de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.eppetroecuador.ec/wp-content/uploads/downloads/2023/01/ESTRUCTURA-DE-PRECIOS-ENERO-2023.pdf>

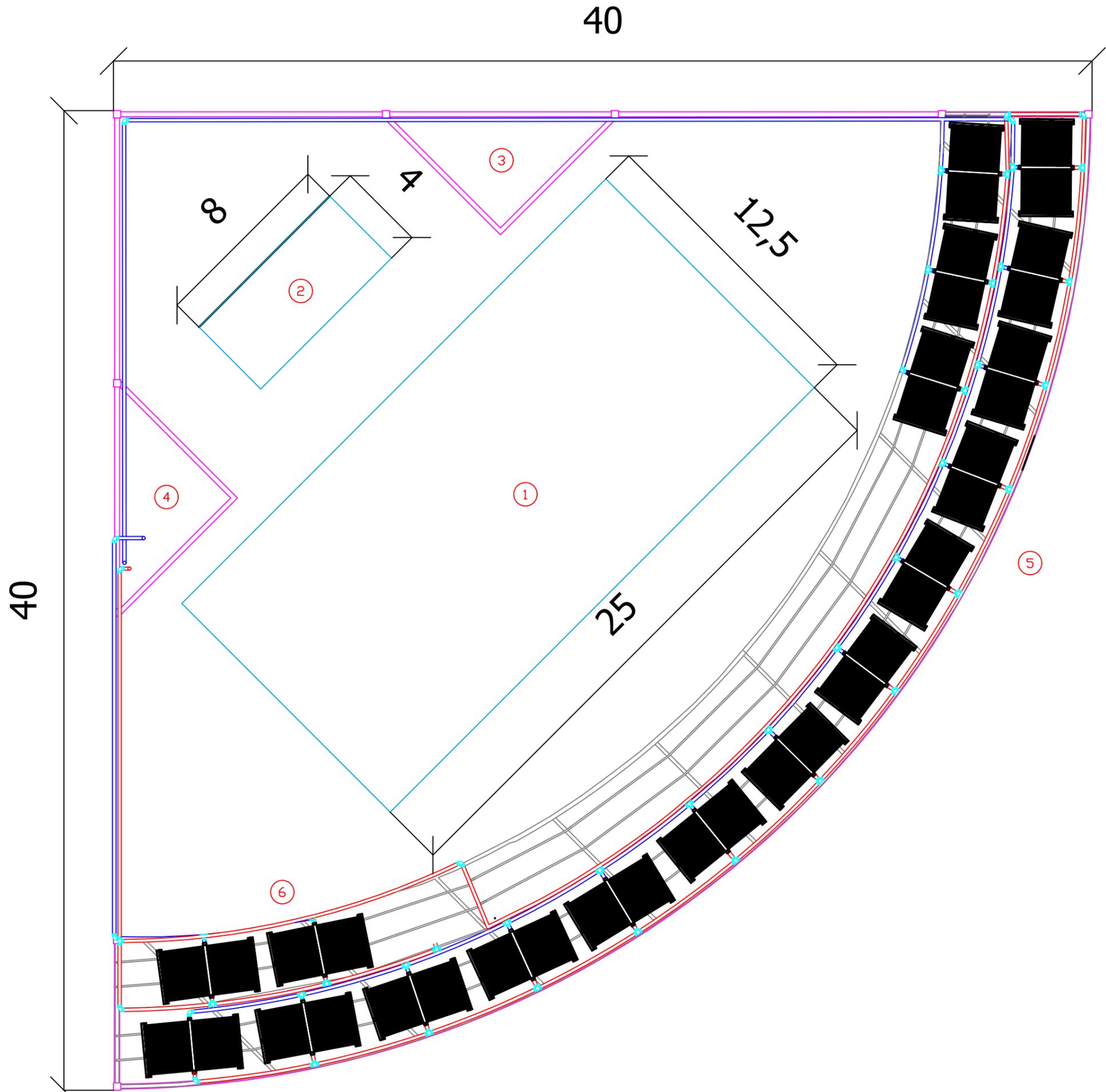
## Anexos



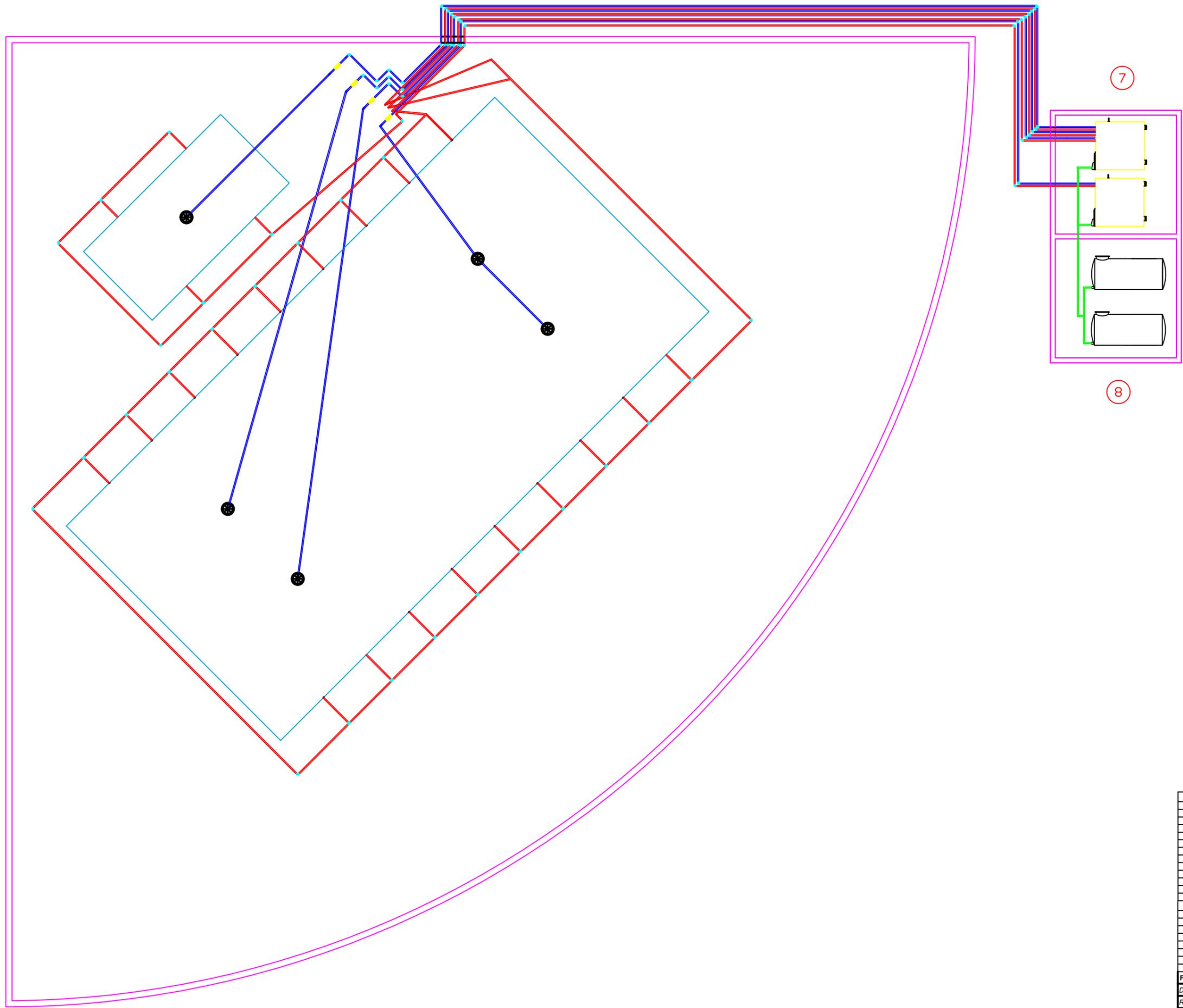








SIMBOLOGIA	
	Tubería agua fría
	Tubería agua caliente
	Tubería de combustible
	Paredes edificación
	Vigas armadas
	Piscinas
	Codos de 90° 2"
	Unión en tee 2"
	Deposito de combustible
	Caldera tipo artesanal
	Bomba de agua 1000RPM
	Skimmer (Salida de agua)
	Colector solar térmico
PARAMETROS DE DISEÑO	
	PISCINA GRANDE
	PISCINA PEQUEÑA
	OFICINAS
	CUARTO DE BOMBAS
	16 COLECTORES PISCINA GRANDE
	2 COLECTORES PISCINA PEQUEÑA
	CUARTO DE CALDERAS
	CUARTO DE DEPÓSITO DE COMBUSTIBLE
Fecha: 05/2/2023	
Dibujado: García & Ortiz	
Revisado: Ing. John Calle	
Escala: 1 : 100	Tol. gen.: 0
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE MATRIZ CUENCA	
INGENIERIAS Carrera de Ingeniería Mecánica	
Lámina: 2	Vista superior del techo raso externa



SIMBOLOGIA	
	Tubería agua fría
	Tubería agua caliente
	Tubería de combustible
	Paredes edificación
	Vigas armadas
	Piscinas
	Codos de 90° 2"
	Unión en tee 2"
	Deposito de combustible
	Caldera tipo artesanal
	Bomba de agua 1000RPM
	Skimer (Salida de agua)
	Colector solar térmico
PARAMETROS DE DISEÑO	
	PISCINA GRANDE
	PISCINA PEQUEÑA
	OFICINAS
	CUARTO DE BOMBAS
	16 COLECTORES PISCINA GRANDE
	2 COLECTORES PISCINA PEQUEÑA
	CUARTO DE CALDERAS
	CUARTO DE DEPÓSITO DE COMBUSTIBLE

