

**SELECCIÓN DE COLECTOR SOLAR PARA EL CALENTAMIENTO DE  
PISCINA EN EL CLUB CAMPESTRE MONTE VERDE**

**CHRISTIAN SANTIAGO MEDINA MARTINEZ**

**UNIVERSIDAD SANTO TOMAS TUNJA  
DIVISIÓN DE INGENIERIAS Y ARQUITECTURA  
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA**

**TUNJA**

**2023**

**SELECCIÓN DE COLECTOR SOLAR PARA EL CALENTAMIENTO DE  
PISCINA EN EL CLUB CAMPESTRE MONTE VERDE**

**CHRISTIAN SANTIAGO MEDINA MARTINEZ**

**DIRECTORES**

**ING. ALONSO HERNANDEZ MOLANO**

**ING. FABIAN LEONARDO HIGUERA SANCHEZ**

**UNIVERSIDAD SANTO TOMAS  
DIVISIÓN DE INGENIERIAS Y ARQUITECTURA  
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA**

**TUNJA**

**2023**

**Nota de aceptación**

---

---

---

---

---

**Firma del presidente del jurado**

---

**Firma del jurado**

---

**Firma del jurado**

**Tunja, 25 de abril del 2023**

## **DEDICATORIA**

Este proyecto va dedicado a mis grandes mentores de vida, mis padres, por estar de manera incondicional durante cada uno de los buenos y malos momentos, a ustedes que siempre tienen fe en mí y se alegran al cumplir mis metas les dedico este pequeño gran logro, con la promesa de que serán aun muchos más, gracias Pa y Ma

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a mis tutores de tesis Ing. Fabian Leonardo Higuera Sanches y al Ing. Alonso Hernández Molano por permitirme trabajar de la mano el presente proyecto, además por brindar de manera magistral cada uno de sus conocimientos y apoyo no solo durante la realización de esta tesis, sino que durante todo el periodo de la universidad, ingenieros notablemente pulcros, profesional y humanos. De la misma forma agradezco a la Universidad Santo Tomas y a todos sus miembros por ser siempre mi casa y el lugar donde construimos conocimientos y valores. Finalmente agradezco al Club Campestre Monte Verde por permitirme trabajar con ustedes y dejarme hacer parte de un proyecto con una importante proyección.

## TABLA DE CONTENIDO

pág.

1. GENERALIDADES .....	12
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	12
1.2. JUSTIFICACION DEL PROBLEMA .....	13
1.3. OBJETIVOS.....	14
1.3.1. General .....	14
1.3.2. Específicos .....	14
1.4. ALCANCE .....	15
1.5. MARCO CONCEPTUAL.....	16
1.5.1. Radiación solar:.....	16
1.5.2. Energía termo-solar:.....	16
1.5.3. Calentador solar: .....	16
1.5.4. Radiación directa:.....	16
1.5.5. Radiación difusa:.....	16
1.5.6. Irradiancia: .....	17
1.5.7. Constante solar:.....	17
1.5.8. Captador plano: .....	17
1.5.9. Captador de tubo de vacío:.....	17
1.5.10. Captador plano para piscinas:.....	17
1.5.11. Ecuación de Bresse.....	17
2. ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES ACTUALES. ....	18
2.1. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE LA PISCINA DE MONTE VERDE: .....	18
2.2. FRECUENCIA DE PRESTACIÓN DEL SERVICIO DE LA PISCINA .....	19
2.3. DESCRIPCIÓN Y FUNCIONAMIENTO DEL CALENTADOR.....	21
2.4. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE TUBERÍAS DE LA PISCINA.....	23
2.5. DESCRIPCIÓN DE LA BOMBA .....	26
2.6. TOMA DE MUESTRAS DE CONSUMO DE GAS.....	27

2.7.	CALCULO DE LA EFICIENCIA DEL SISTEMA ACTUAL .....	30
2.7.1.	Calor generado por el calentador de gas .....	31
2.7.2.	Calor absorbido por el agua .....	32
2.7.3.	Rendimiento del sistema .....	33
2.8.	CALCULO DE LA EFICIENCIA DEL SISTEMA PROPUESTO .....	34
2.9.	CONSUMO DE COMBUSTIBLE Y AHORRO ENERGETICO.....	35
3.	SELECCIÓN Y CARACTERIZACION DEL SISTEMA OPTIMO PARA CALENTAMIENTO SOLAR DEL AGUA .....	36
3.1.	DESCRIPCIÓN DE LA ALTERNATIVA .....	36
3.2.	LIMITACIONES DE LOS CALENTADORES SOLARES: .....	37
3.3.	CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA .....	39
3.4.	ALTERNATIVAS DEL TIPO DE CAPTADOR .....	40
3.4.1.	Captador de placa plana: .....	40
3.4.2.	Captadores por tubos de vacío: .....	42
3.4.3.	Captadores de polímeros .....	43
3.5.	MATRIZ DE SELECCIÓN .....	44
4.	DISEÑO Y DESARROLLO DEL PLAN DE EJECUCION DE LA PROPUESTA... 46	
4.1.	ANÁLISIS DEL CLIMA SEGÚN EL MODELO A IMPLEMENTAR PARA LA CIUDAD DE TUNJA .....	46
4.2.	CÁLCULO DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL CALENTADOR SOLAR.....	48
4.3.	SUPERFICIE DE CAPTADORES REQUERIDA .....	51
4.4.	UBICACIÓN Y DISPOSICIÓN DEL CALENTADOR SOLAR.....	51
4.5.	PROPUESTA Y MÉTODO DE INSTALACIÓN .....	53
5.	RESULTADOS .....	57
5.1.	OPERACIÓN .....	57
5.2.	ANÁLISIS ECONÓMICO Y TÉCNICO DE LA PROPUESTA.....	58
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	59
7.	BIBLIOGRAFÍA .....	64
8.	ANEXOS .....	68

## LISTA DE TABLAS

	<b>pág.</b>
1. Tabla I: Resumen de ingreso de personas a piscina.....	20
2. Tabla II: Caída de la temperatura del agua.....	22
3. Tabla III: Datos técnicos de la bomba LX SUPB 150.....	25
4. Tabla IV: Toma de muestra de consumo de gas.....	27
5. Tabla V: Comparativa de costos.....	35
6. Tabla VI: Placa plana.....	40
7. Tabla VII: Tubos de vacío.....	41
8. Tabla VIII: Placa de polímero.....	42
9. Tabla IX: Matriz de selección.....	44
10. Tabla X: Radiación promedio de un día de enero.....	46
11. Tabla XI: Análisis del ángulo Azimutal del sol.....	49
12. Tabla XII: Análisis económico.....	57

## LISTA DE FIGURAS

	<b>pág.</b>
1. Figura 1: Distribución de las zonas húmedas.....	18
2. Figura 2: Caída de la temperatura del agua.....	22
3. Figura 3: Diagrama de tuberías.....	23
4. Figura 4: Sistema de tuberías.....	24
5. Figura 5: Sistema de tuberías y bomba principal.....	24
6. Figura 6: Bomba LX SUPB 150.....	25
7. Figura 7: Esquema bomba LX SUPB 150.....	26
8. Figura 8: Sistema actual.....	30
9. Figura 9: Placa plana.....	40
10. Figura 10: Tubos de vacío.....	42
11. Figura 11: Placa de polímero.....	43
12. Figura 12: Promedio mensual de radiación global de Tunja (2022).....	45
13. Figura 13: Mapa promedio mensual de radiación global de Tunja (2022).....	46
14. Figura 14: Hoja de cálculo solar.....	47
15. Figura 15: Tejado occidental del hotel de Monte Verde.....	51

16. Figura 16: Descripción grafica del techo.....	51
17. Figura 17: Referencia y dimensiones de captadores.....	52
18. Figura 18: Vista isométrica de la estructura sobre tejado.....	53
19. Figura 19: Vista de planta de la estructura sobre tejado.....	54
20. Figura 20: Compensación de la declinación de captadores.....	54
21. Figura 21: Corrección de la orientación de captadores.....	54
22. Figura 22: Diagrama de tuberías con el sistema de captador solar.....	55

## **LISTA DE ANEXOS**

**Anexo A:** Ficha técnica de la bomba LX SUPB 150

**Anexo B:** Ficha técnica del calentador HAYWARD H400FD

**Anexo C:** Manual y ficha técnico para prototipo de colector de placa plana

**Anexo D:** Manual técnico de colectores planos de tubos de vacío

**Anexo F:** Manual técnico de colectores de polipropileno de Solapool

## **1. GENERALIDADES**

### **1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Como lo manifestó Felipe Bayón, presidente de Ecopetrol, actualmente Colombia cuenta con tan solo 3,8 terapés cúbicos de reserva de gas natural, los cuales estima que alcanzan para máximo unos ocho años (Rubio, 2022), con lo que la empresa solo está contemplando maneras de continuar supliendo tal producto importándolo con métodos especiales, esto refiere un aumento exponencial en el precio del mismo para todos los sectores a través de los años, con lo que sumado a la contaminación excesiva que refiere extraer y quemar este hidrocarburo para los recursos hídricos y suelos (Arias, 2017), y los riesgos que implica su manejo, es necesario empezar a plantear nuevas alternativas para suplir las necesidades requeridas.

Para el Club Campestre Monte Verde uno de sus atractivos más destacables son sus zonas húmedas, ya que a diferencia de la mayoría de hoteles y clubes de la ciudad de Tunja este brinda un servicio de piscina cubierta climatizada agradable y cálida, donde la temperatura del agua bajo normativa colombiana debe estar oscilando entre los 25°C y 30°C, por lo que para las bajas temperaturas de los climas de Tunja y, para prestar un servicio grato a los usuarios esta se conserva a 29°C al estar en uso, de esta forma al ser mantenida por un calentador de funcionamiento a gas genera un consumo significativo de aproximadamente 450 galones mensuales, lo que traduce a unos \$2'800.000 (COP) en cada recibo de gas. Los administradores y gerentes del club han probado diversas estrategias para reducir al máximo el consumo de gas únicamente por la piscina, llegando así a cambiar el calentador de automático a manual, regulando a determinadas horas la temperatura del agua, apagando el calentador por periodos de desuso con la complicación de que al bajar demasiado la temperatura puede tardar en volver a los 29°C hasta los dos días siguientes, por ende causando traumatismos en las reservas del servicio, o simplemente, han decidido en múltiples ocasiones suspender el uso por cuanto este genera más pérdidas que ganancias, además esto implica sosegar una de las fuentes de ingreso principales y comprometer la imagen y confiabilidad del establecimiento en general.

## **1.2. JUSTIFICACION DEL PROBLEMA**

El total de los recursos económicos dirigidos al mantenimiento y cuidado de la piscina es ostensiblemente costoso, teniendo en cuenta que del total de estos se destina un 80% para el pago del recibo mensual del servicio, sumado al costo del tiempo empleado que requiere el procedimiento de llenado de los tanques, transporte del mismo y personal requerido semanalmente para dicha labor.

Por lo que este proyecto se desarrolla principalmente como un sistema alternativo para el calentamiento de la piscina del Club Campestre Monte Verde, donde no solo pretende reducir el consumo de gas de la empresa aumentando su rentabilidad, sino que también sea una alternativa ecológica, renovable y eficiente contribuyendo con el medio ambiente, además que el sistema debe diseñarse de tal forma que no interfiera con los espacios normales de las instalaciones, ni presente ningún inconveniente en términos de acaparamiento de espacio, seguridad de los usuarios y personal, reducción de luminosidad en el establecimiento, desentonación con respecto a la estética del lugar o cualquier tipo de inconveniente con el funcionamiento normal de las zonas húmedas.

Actualmente en el mercado se pueden encontrar sistemas y dispositivos sencillos para el calentamiento de piscinas inflables o de pequeños volúmenes, sin embargo, el calentamiento de volúmenes más grandes a través de energía solar no es un mercado muy explotado en países como Colombia, Ecuador o México (Carvajal Paucar, 2021), por lo que la implementación de sistemas innovadores resultar rentable debido a su concepto.

Además, debe tenerse en cuenta que por el particular clima de Tunja en ciertos meses del año la radiación solar debidamente aprovechada podría llegar a sustituir casi por completo el uso del gas (Rojas Escobar, 2022). Por otro lado, los sistemas termo solares suelen ser sencillos, de poco mantenimiento y económicos de construir a comparación de otros, teniendo gran cantidad de variables para determinar su desempeño.

### **1.3. OBJETIVOS**

#### **1.3.1. General**

- Seleccionar un sistema de calentamiento de agua termo solar para la piscina del Club Campestre Monte Verde.

#### **1.3.2. Específicos**

- Evaluar los sistemas de calentamiento solar de agua en términos costo/beneficio.
- Determinar el mejor tipo de calentador termo solar, junto con su geometría y dimensiones.
- Definir los rangos de temperatura que trabajara el calentador termo solar en base al clima promedio de la ciudad.
- Establecer los criterios necesarios para implementación, uso y construcción del calentador termo solar.

#### **1.4. ALCANCE**

Este proyecto tendrá una duración aproximada de 6 meses donde se estipulará el tipo de colector solar apropiado, la ubicación recomendada y las dimensiones optimas, además de entregar las cifras aproximadas de ahorro en consumo de gas, con temperatura y eficiencia promedio, con ello los costos de manufactura y mantenimiento, y finalmente el procedimiento de construcción y ensamblaje.

## **1.5. MARCO CONCEPTUAL**

### **1.5.1. Radiación solar:**

Son ondas electromagnéticas producidas por la fisión nuclear de moléculas de hidrógeno en el centro del sol, y tienden a propagarse en todas direcciones en el espacio en forma de energía, además, son también las causantes de cambios dinámicos en el clima terrestre y otros aspectos fenómeno atmosférico (Radiación solar: ¿cuál es su impacto sobre el planeta y el ser humano?, 2022).

### **1.5.2. Energía termo-solar:**

Este tipo de energía se obtiene de la radiación de la luz solar, por lo que se convierte en calor para varios propósitos o procesos, el más común de los cuales es calentar agua, aceite o sales para procesos o en métodos industriales con gran variedad de fines.

### **1.5.3. Calentador solar:**

Es un dispositivo comúnmente utilizado para captar energía solar térmica y materializarla en el proceso de calentamiento de fluidos, y funciona convirtiendo el calor generado por la radiación en una superficie oscura que está en contacto directo con el fluido correspondiente, provocando su calentamiento.

### **1.5.4. Radiación directa:**

Este tipo de radiación es cuando los rayos del sol inciden en la Tierra sin ningún tipo de interferencia, obstrucción o redirección, básicamente va directamente del Sol a la Tierra.

### **1.5.5. Radiación difusa:**

Este tipo de radiación se refiere a la radiación que recibe la atmósfera de forma dispersa, los días soleados representan el 15% de la radiación difusa, mientras que los días con mucha nubosidad, la radiación directa es muy baja y la proporción puede ser mayor hacia el hemisferio del cielo, la superficie colocada horizontalmente es menor que las superficies colocadas verticalmente reciben una radiación más difusa.

### **1.5.6. Irradiancia:**

Es una magnitud determinada por un área y tiempo definido que mide la radiación de incidente del sol, por lo cual se puede determinar como la adición de radiación solar filtrada por la interposición de la atmosfera sobre una superficie en un tiempo determinado. Esta va en función del posicionamiento global donde se tome la muestra, además del clima, la época del año, el día y la hora.

### **1.5.7. Constante solar:**

Esta viene determinada por la irradiación solar en forma de densidad de flujo, que se refiere no solo a la luz visible, sino a la radiación solar promedio de todo tipo en un área definida, además de que el área debe ser perpendicular a los rayos del sol. Se mide por satélite como 1.361 kilovatios por metro cuadrado (kW/m<sup>2</sup>).

### **1.5.8. Captador plano:**

Es el colector solar más común. Consiste en una caja con una tapa de vidrio alrededor de la cual se enrolla un tubo de cobre a través del cual pasa el etilenglicol.

### **1.5.9. Captador de tubo de vacío:**

También conocido como tubo de vacío. Este tipo de colector solar consiste en un conjunto de tubos de vacío con un tubo interior con anticongelante en su interior. El vacío creado entre los dos tubos actúa como aislante y ayuda a alcanzar temperaturas más altas en el tubo interior.

### **1.5.10. Captador plano para piscinas:**

Es un sistema de menor rendimiento, pero menos costoso que se utiliza principalmente para calentar piscinas. Este tipo de colector solar no tiene vidrio protector, por lo que no aprovecha el efecto invernadero, se calienta simplemente porque la radiación solar calienta más las superficies oscuras que las de colores claros.

### **1.5.11. Ecuación de Bresse**

Es una ecuación hallada de forma experimental que representa una aproximación básica a la obtención de un diámetro para la sección de descarga de una bomba,

donde involucra una constante llamada coeficiente de Bresse de 1.1 a 1.3 y el caudal de diseño. (Arocha, 2023)

## **2. ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES ACTUALES.**

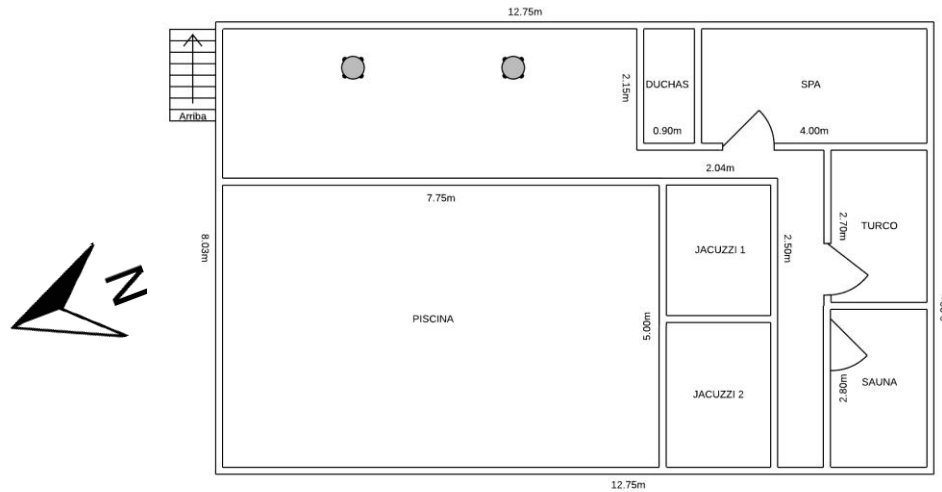
### **2.1. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE LA PISCINA DE MONTE VERDE:**

El Club Campestre Monte Verde ubicado en la parte oriental de la ciudad de Tunja, a 5 Km de la entrada vía Bogotá-Paipa sobre la doble calzada, cuenta con una variedad de zonas y servicios enfocados hacia diferentes entretenimientos, entre los cuales el edificio de hotel yace en la parte superior del complejo y posee dos plantas de habitaciones junto con tres plantas destinadas al uso de las zonas húmedas completamente cubiertas, el cual brinda los siguientes servicios específicos en dicha zona:

- Piscina
- Jacuzzis (2)
- Sauna
- Turco
- Cuarto de SPA
- Duchas (2)
- Zona común

La distribución del tercer nivel de las zonas húmedas y sus servicios se muestra en la figura 1.

Figura.1 Distribución de las zonas húmedas



Fuente: Autor

Las dimensiones de la piscina son de 7,75 m de largo por 5 m de ancho, con una profundidad de 1,20 m para un total de  $46,5 m^3$ , la piscina no cuenta con declinaciones en su base por lo que es completamente rectangular y se encuentra a 3,3 m de altura con respecto a la planta base del edificio, además esta adecuada con dos boquillas de impulsión en el fondo, una toma de limpiafondos, dos desnatadores y dos desagües, con lo que posee con el respectivo sistema de tuberías de alimentación y desagüe, un calentador a gas, una bomba de agua SUPB-150 del fabricante LX y un filtro volumétrico T700 del fabricante Emaux. La piscina siempre se mantiene a una altura del agua de no más 1,25 m, ni menos de 1,15 m como medida recomendada por el fabricante.

Además, se debe tener en cuenta que la piscina cuenta con todas las características correspondientes para cumplir con la ley 1209, del 14 de julio del 2008 de Colombia, donde en su capítulo IV, artículo 11 describe las normas mínimas de seguridad según la correspondiente entidad de cuidado sanitario. De igual manera la resolución 1618 de 2010 radicada por el ministerio de la protección social indica que en una piscina climatizada debe encontrarse a no más de  $32^{\circ}\text{C}$ , ya que una mayor temperatura se consideraría piscina termal y su mantenimiento sería diferente, de tal forma el agua de la misma debe mantenerse ajustando el PH entre los valores 7,2 y 7,4, junto que con el valor ideal de cloro en el agua es de 1ppm (partes por millón) y de alcalinidad de 125 o 150 ppm (Constitucion Política de Colombia, 2008).

## 2.2. FRECUENCIA DE PRESTACIÓN DEL SERVICIO DE LA PISCINA

El Club Campestre Monte Verde presta el servicio base de piscina bajo reserva (con excepciones en casos particulares), de los días martes a domingos en los horarios acordados. Se presta el servicio particular de martes a domingos de 10 de la mañana a 9 de la noche, sin embargo, cuando se realizan eventos que disponen de la utilización de este servicio la misma se encuentra disponible hasta un máximo de las 12 de la noche, su uso está sujeto a lo acordado por la administración y gerencia del club pues siempre se exige y requiere de un personal atento y capacitado para cualquier emergencia o imprevisto.

Los días lunes no se presta el servicio a particulares debido a los mantenimientos y limpiezas que se realizan en todas las zonas húmedas, sin embargo, de llegar a haber eventos que involucren estos servicios, a la piscina le corresponderá el respectivo mantenimiento y limpieza el día posterior. Cabe aclarar que el servicio de piscina también se encuentra incluido en planes o pasadías (circuitos) y sesiones de Spa, donde la inmersión de la persona en la piscina es únicamente de 5 a 10 minutos en total con fines terapéuticos y dictados por una especialista.

Con esto se presenta la siguiente tabla a modo de resumen con la cantidad de personas que ingresaron al Club Campestre Monte Verde en el último año (2022), con el fin de tomar y disponer de este servicio en particular y para un posterior análisis y comparación de los meses más críticos de uso.

Tabla I. Resumen de ingreso de personas a piscina

	ADULTOS	NIÑOS	PASADIA	SPA	SOLO PISCINA	TOTAL
ENERO	22	24	8	3	26	46
FEBRERO	8	34	20	10	12	42
MARZO	10	20	9	8	13	30
ABRIL	17	8	8	4	13	25
MAYO	15	2	6	6	5	17
JUNIO	7	20	11	5	11	27
JULIO	19	12	12	5	14	31
AGOSTO	15	7	8	7	7	22
SEPTIEMBRE	23	12	13	4	18	35
OCTUBRE	3	1	0	2	2	4
NOVIEMBRE	9	4	5	2	6	13

DICIEMBRE	18	10	6	8	14	28
TOTAL	166	154	106	64	141	

Fuente: Autor

En un análisis simple de la anterior tabla se puede observar que la fluencia máxima de usuarios se encuentra en los meses de enero y febrero a causa de los planes vacacionales en pasadías e inicios de cursos de natación que ofrece el club, también cabe resaltar un pico de afluencia hacia el mes de septiembre con un índice igualmente alto en pasadías y servicio único de piscina.

### 2.3. DESCRIPCIÓN Y FUNCIONAMIENTO DEL CALENTADOR

El calentador de gas implementado en la piscina de Monte Verde es un sistema adaptado por una empresa particular que parte de un Hayward

H400 y es despojado de gran parte de sus componentes electrónicos para simplificarlo a uno de tipo caldera, donde una serie de inyectores introducen y controlan el paso de gas hacia el cuerpo del caldeo y allí gracias a la ignición de un juego de bujías se mantiene una llama constante que intercambia calor con una sección de tubería de acero inoxidable de 0,5 pulgadas, de esta forma el proceso genera una convección de calor hacia el agua, la cual eleva su temperatura hasta los 30°C como corresponde con la norma (Martín, 2021). El calentador cuenta con un sistema de control de presión y flujo del gas el cual normalmente trabaja a 26 mbar, también tiene instalada un sensor de temperatura justo en la salida de la tubería de agua para indicar a cuanto temperatura se encuentra exactamente en este punto y no llegar a sobre pasar el límite de los 32°C, ya que esto no solo implica un cambio en los niveles de PH y cloro del agua por evaporación (pH, 2019), sino que también implica un aumento en el gasto y consumo del gas, por tanto una afectación directa económica. Es por esta razón que el gerente decidió manejar el rango de temperaturas de entre los 28,5°C hasta los 30°C, donde los usuarios encuentran una temperatura agradable al usar este servicio y el consumo del gas no es tan elevado.

También se debe de tener en cuenta que mientras que la piscina no vaya a tener usuarios, la temperatura de la misma se reduce hasta los 26°C para minimizar en lo mayor posible el consumo del gas, más sin embargo cuando se requiere usar la piscina

puede ser calentada en un tiempo de 8 horas sin tener que sobrepasar los límites de temperatura del agua.

El calentador de gas del club campestre monte verde se mantiene encendido las 24 horas de los 7 días de la semana con el fin de mantener idónea la temperatura de la piscina, en el único instante en que el calentador se apaga por mucho tiempo es cuando se le debe realizar el respectivo mantenimiento, el cual está programado a hacerse dos veces al mes los días lunes, para limpiar los inyectores y el cuerpo de caldeo de la ceniza volátil excesiva que genera el combustible.

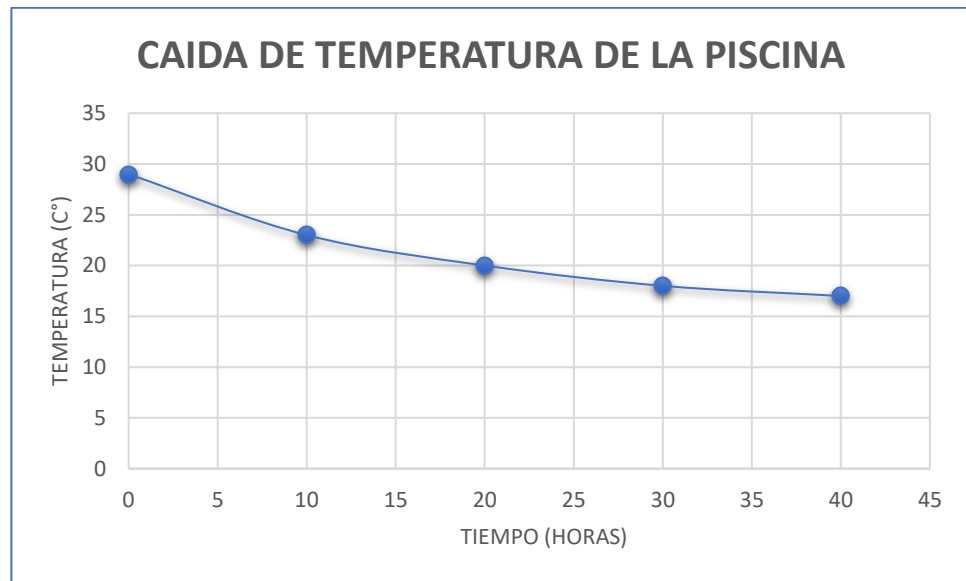
Mediante un proceso experimental de observación realizado durante la suspensión de la piscina por mantenimiento durante dos días con la ayuda de un complemento de medición de temperatura de un multímetro, se pudo identificar que la temperatura del agua desciende a razón de la siguiente tabla:

Tabla II. Caída de la temperatura del agua

CAIDA DE TEMPERATURA	
TIEMPO (Horas)	TEMPERATURA (C°)
0	29
10	23
20	20
30	18
40	17

Fuente: Autor

Figura 2. Caída de la temperatura del agua



Fuente: Autor

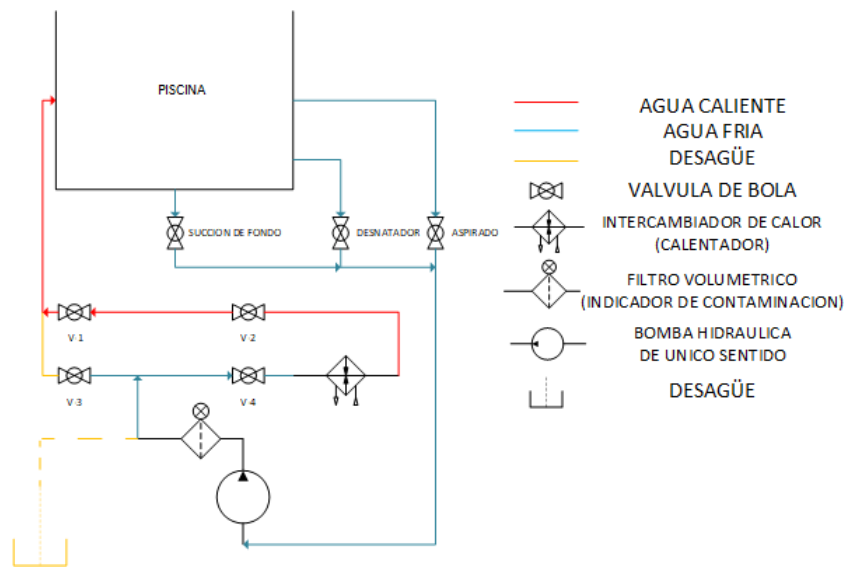
Con lo que se observa que el agua desciende rápidamente hasta que en menos de dos días en promedio alcanza la temperatura del ambiente, la cual oscila entre los 16°C y 17°C en Tunja (Spark, 2023), siendo una situación crítica para mantener la temperatura de un cuerpo de agua de respectivas dimensiones a diario a través de un único sistema. Tal razón de enfriamiento concuerda con el estudio experimental propuesto en la práctica documentada por la universidad UPTC de Tunja (Espitia, 2022).

#### **2.4. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE TUBERÍAS DE LA PISCINA**

El sistema de tuberías debe abastecer la piscina y los jacuzzis del club de forma simultánea, pues a través de una única bomba de agua dispuesta en el primer piso en la sala de máquinas debe conducir el agua a las respectivas boquillas de impulsión ubicadas en la parte inferior de la piscina, de la misma forma para los retornos del agua se disponen de tres sistemas anteriormente mencionados, los limpiafondos que permanecen normalmente abiertos ya que son el desagüe principal de la piscina, al tiempo que los desnatadores ubicados al nivel máximo del agua que controlan la generación de burbujas y recogen residuos flotantes sobre el nivel del agua de la piscina, finalmente la toma de aspirado es un sistema que únicamente se utiliza cuando se requiere realizar la limpieza en el fondo y paredes de la piscina (Cueto, 2019), por lo que se cierran las válvulas de limpiafondos y desnatadores para que este sistema tenga

la presión completa de la bomba por una única entrada, el sistema también cuenta con cuatro válvulas dispuestas para situaciones específicas del funcionamiento de la piscina, como el vaciado total o para suprimir un elemento sin perder la circulación (válvulas 1, 2, 3 y 4), por lo que no serán tomadas en cuenta. A continuación, se muestra un esquema del sistema de tuberías de la piscina sin tener en cuenta la de los jacuzzis, ya que no representan un factor determinante en el proyecto.

Figura 3. Diagrama de tuberías (ISO 1219)



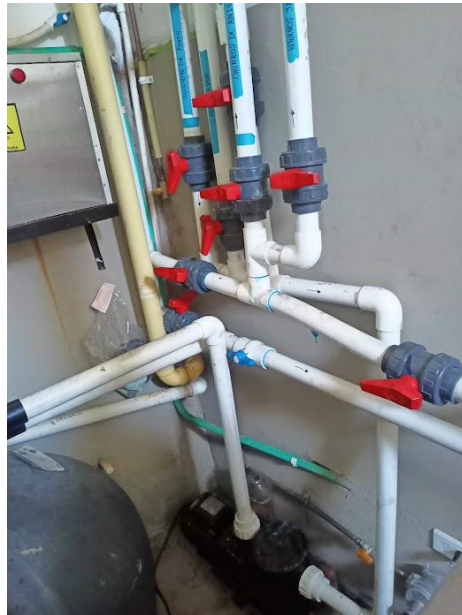
Fuente: Autor

Figura 4. Sistema de tuberías



Fuente: Autor

Figura 5. Sistema de tuberías y bomba principal



Fuente: Autor

## 2.5. DESCRIPCIÓN DE LA BOMBA

La piscina y el jacuzzi del club campestre Monte Verde se encuentran alimentados por una bomba centrífuga SUPB150 del fabricante LX (figura 6 y 7), la cual se encuentra en el cuarto de máquinas ubicado en el primer piso del hotel conectada entre a la tubería de retornos y el filtro volumétrico, con lo que se muestran las especificaciones (Anexo A) de dicha maquina en la siguiente tabla:

Tabla III. Datos técnicos de la bomba LX SUPB 150

Bomba Principal			
Marca	LX	Hmax	17m
Modelo	2019	Qmax	420 L/min
Referencia	SUPB	Voltaje	220-240V
Serie	150	Amperaje	5.2 A
Procedencia	China	RPM	3.450 rpm
Dimensiones (cm)	35 x 22 x 15	Potencia	1,5 Hp
Proveedor	BOMBEOex	EFF(%)	75
Temp. Max. del agua		50°C	

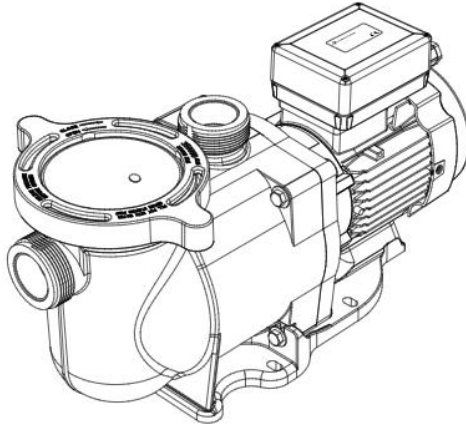
Fuente: (Gan, 2017)

Figura 6. Bomba LX SUPB 150



Fuente: Autor

Figura 7. Esquema bomba LX SUPB 150



Fuente: (Gan, 2017)

## **2.6. TOMA DE MUESTRAS DE CONSUMO DE GAS**

Para determinar el consumo de gas por parte del calefactor se realizó de forma experimental una toma de muestras al tanque principal de gas, el cual es de 250 galones y los datos se expresan en la tabla IV. Se debe tener en cuenta que el funcionamiento normal del calentador está enfocado en mantener el agua a sus correspondientes  $28,5^{\circ}\text{C}$  a  $30^{\circ}\text{C}$ , por lo tanto, la toma de muestras presentes en la tabla corresponde a esta circunstancia, donde el manómetro de la entrada al calentador se encuentra en 3,1 mbar y el barómetro del tanque principal en un instante inicial se encuentra a 12 psi. Se debe tener en cuenta que la medición del consumo se hace a través del medidor propio incorporado en el tanque, el cual mide el porcentaje ocupado a razón de la capacidad total, al realizar el llenado siempre se deja en 90% y se trabaja hasta no menos del 10%. Para el caso de la prueba experimental de consumo se inició con un total de 78% del total y se tomaron muestras cada 2 horas, con lo que se obtuvo lo siguiente:

Tabla IV. Tabla de toma de muestra de consumo de gas.

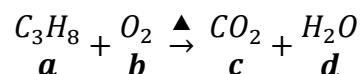
Tiempo (horas)	Capacidad (%)
0	78
2	77,3
4	76,6
6	75,9
8	75,2
10	74,5
12	73,8
14	73,1
16	72,4

Fuente: Autor

De esta forma y respectivamente el costo mensual por esta media de consumo de gas es de \$2'800.000 en promedio, el cual es un valor bastante elevando si consideramos que el servicio no genera las suficientes ganancias ni para su propio sustento en meses no críticos. Por tal razón el uso de un sistema alternativo que permita la disminución del consumo de gas es fundamental, ya que la reducción de consumo hasta en un mínimo porcentaje resulta trascendental al momento de referirnos a los costos.

Al hacer la revisión del sistema de gas también se pudo notar que el calentador genera altas cantidades de ceniza volátil, lo que causa que se realice un mantenimiento en ocasiones casi semanal de los filtros de escape, además se evidencia que el color de la llama generada tiene una pigmentación de color amarillenta, siendo estos síntomas de una mezcla pobre de oxígeno en la combustión, afectando directamente a la eficiencia del calentador (Sanitarios, 2015).

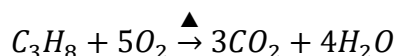
También se debe de tener en cuenta la cantidad de contaminación que se está produciendo por la quema constante de gas, por lo que se realiza el siguiente balanceo de la reacción del propano:



- Para el carbón  
 $3a = c$

- Para el hidrogeno  
 $8a = 2d \quad 4a = d$
- Para el oxígeno  
 $2b = 2c + d$   
 $2b = 2(3a) + 4a$   
 $b = 5a$

Por lo tanto:



Obtención del gasto diario de propano:

El tanque tiene una capacidad máxima de 250 galones (100%), la medida de consumo diario del tanque es del 6%, por lo tanto:

$$250 \text{ galones } C_3H_8 * 6\% = 15 \text{ galones } C_3H_8$$

$$15 \text{ galones } C_3H_8 = 56781.2 \text{ cm}^3 C_3H_8$$

La densidad reportada para el propano es de 0.00183 g/cm<sup>3</sup> (Power, 2018)

$$56781.2 \text{ cm}^3 C_3H_8 * \frac{0.00183 \text{ g}}{\text{cm}^3} = 103.91 \text{ g } C_3H_8$$

Los pesos molares de los reactivos y los productos son:

$$C_3H_8 = \frac{44g}{mol} \quad O_2 = \frac{32g}{mol} \quad CO_2 = 44 \frac{g}{mol} \quad H_2O = 18 \frac{g}{mol}$$

Procedemos a calcular la cantidad de CO<sub>2</sub> producido:

$$103.91 \text{ g } C_3H_8 * \frac{1 \text{ mol}}{44 \text{ g}} C_3H_8 * \frac{3 \text{ mol } CO_2}{1 \text{ mol } C_3H_8} * \frac{44 \text{ g}}{\text{mol } CO_2} = 311.73 \text{ g } CO_2$$

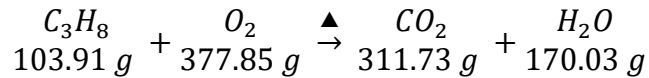
La cantidad de O<sub>2</sub> que se consume:

$$103.91 \text{ g } C_3H_8 * \frac{1 \text{ mol}}{44 \text{ g}} C_3H_8 * \frac{5 \text{ mol } O_2}{1 \text{ mol } C_3H_8} * \frac{32 \text{ g}}{\text{mol } O_2} = 377.85 \text{ g } O_2$$

Y finalmente la cantidad de H<sub>2</sub>O que se produce:

$$103.91 \text{ g } C_3H_8 * \frac{1 \text{ mol}}{44 \text{ g}} C_3H_8 * \frac{4 \text{ mol } H_2O}{1 \text{ mol } C_3H_8} * \frac{18 \text{ g}}{\text{mol } H_2O} = 170.03 \text{ g } H_2O$$

Tenemos entonces:



De acuerdo a (vicepresidencia tercera del gobierno de españa - ministerio para la transformación ecológica y el reto demográfico, s.f.) el poder calorífico inferior del propano es de 11.082 Kcal/Kg y el poder calorífico superior es de 12.052 Kcal/kg. De acuerdo a esto:

$$0.104 \text{ kg } C_3H_8 * 11.082 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}} = 1.153 \text{ Kcal}$$

$$0.104 \text{ kg } C_3H_8 * 12.052 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}} = 1.253 \text{ Kcal}$$

Por lo tanto, el poder calorífico proporcionado para un día de trabajo del calentador esta entre 1.153 – 1.253 Kcal. Adicionalmente vemos que produce 311.73 g de CO<sub>2</sub> por día.

## 2.7. CALCULO DE LA EFICIENCIA DEL SISTEMA ACTUAL

Como bien se mencionaba anteriormente, en el sistema actual la temperatura justo en la entrada del calentador se encuentra en el caso más crítico a 24°C, y su salida en una situación ideal sería de 30°C ahora bien, el caso del estudio es pretender que la temperatura se mantenga constante durante todo el ciclo de trabajo para satisfacer las necesidades de los usuarios en cualquier momento, con lo cual estipulando que las pérdidas del sistema no se tendrán en cuenta pues en su mayoría estas se encuentran en el vaso de la piscina, el análisis solo se centrara en el calentador de gas y solar. De esta forma para partir de datos reales se basa en la ficha técnica del calentador original (Anexo B), ya que a pesar de haber sido modificado el sistema electrónico y de control, todo el sistema de tuberías, presión de gas y agua, configuración de caldera y sistema de inyección de aire se mantiene igual que el original. Por lo tanto, para facilitar la interpretación del sistema en la figura 8 se plantea el grafico y los datos importantes medidos y suministrados por los fabricantes del calentador y bomba, donde:

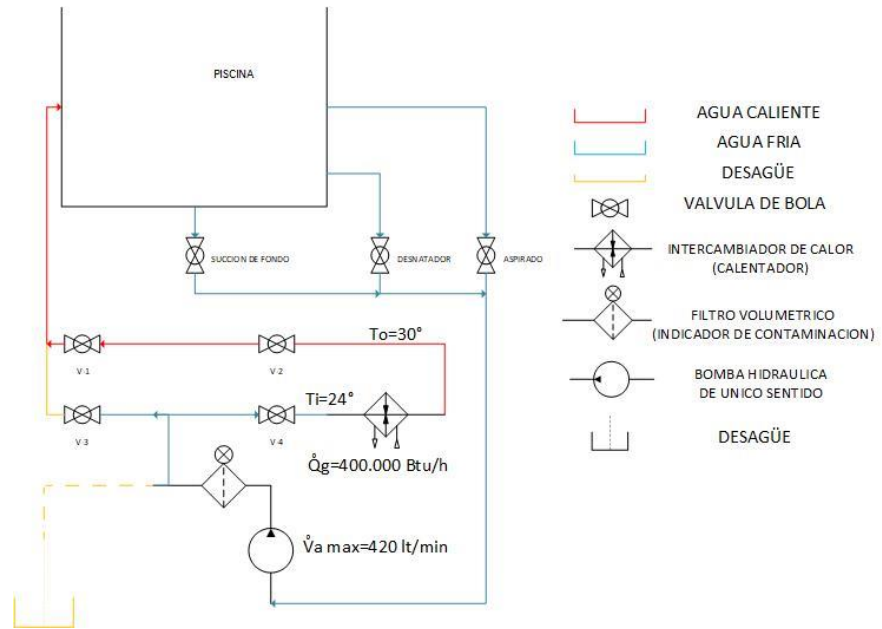
$T_i$ : Temperatura inicial

$T_o$ : Temperatura final

$\dot{V}_a \text{ max}$ : Flujo volumétrico del agua

$\dot{Q}_g$ : Calor suministrado por el calentador

Figura 8. Sistema actual.



Fuente: Autor

### 2.7.1. Calor generado por el calentador de gas

De la ficha técnica del calentador (Anexo B) se tiene que el calor suministrado ( $\dot{Q}_g$ ) es:

$$\dot{Q}_g = 400000 \frac{Btu}{h} = 100865.674 \frac{Kcal}{h}$$

Teniendo en cuenta que el combustible es gas propano con un poder calorífico  $c_g$  y densidad  $\rho_g$ , dados como:

$$c_g = 12052 \frac{Kcal}{Kg}$$

$$\rho_g = 1.83 \frac{Kg}{m^3}$$

Se determina el flujo masico ( $\dot{m}_g$ ):

$$\dot{m}_g = \frac{\dot{Q}_g}{c_g} = \frac{100865.679 \text{ Kcal/h}}{12052 \text{ Kcal/Kg}}$$

$$\dot{m}_g = 8.369 \frac{\text{Kg}}{\text{h}}$$

Para un flujo volumétrico  $\dot{V}_g$  dado por:

$$\dot{V}_g = \frac{\dot{m}_g}{\rho_g} = \frac{8.369 \text{ Kg/h}}{1.83 \text{ Kg/m}^3}$$

$$\dot{V}_g = 4.649 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} = 20.46 \frac{\text{gal}}{\text{min}}$$

### 2.7.2. Calor absorbido por el agua

El diámetro de la tubería de descargue es:

$$D_d = 48.6 \text{ mm} = 48.6 \times 10^{-3} \text{ m}$$

Para un área de descarga  $A_d$ :

$$A_d = \frac{\pi D_d^2}{4} = \frac{\pi (48.6 \times 10^{-3} \text{ m})^2}{4}$$

$$A_d = 1.85 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

El flujo volumétrico entregado por la bomba se calcula con la ecuación de Bresse, la cual es:

$$D_d = K_3 \left( \frac{\text{Hrs}}{24} \right)^{0.25} \sqrt{\dot{V}_a}$$

Siendo:

$K_3$ : Coeficiente de Bresse = 1.1

$\text{Hrs}$ : Horas de operación = 24h

$\dot{V}_a$ : Flujo volumétrico entregado por la bomba

Entonces:

$$\dot{V}_a = \left(\frac{D_d}{K_3}\right)^2 = \left(\frac{48.6 \times 10^{-3}}{1.1}\right)^2$$

$$\dot{V}_a = 0.001952 \frac{m^3}{s} = 7.027 \frac{m^3}{h}$$

Entonces el flujo masico  $\dot{m}_a$  con  $\rho_a = 1000 \frac{Kg}{m^3}$  será:

$$\dot{m}_a = \rho_a \dot{V}_a = \left(1000 \frac{Kg}{m^3}\right) \left(7.027 \frac{m^3}{h}\right)$$

$$\dot{m}_a = 7027 \frac{Kg}{h}$$

Teniendo en cuenta que el agua debe aumentar la temperatura desde  $T_i = 24^\circ C$  hasta  $T_o = 30^\circ C$

$$\Delta T = T_o - T_i = 6^\circ C$$

El calor consumido por el agua será:

$$\dot{Q}_a = \dot{m}_a c_{pa} \Delta T$$

$$c_{pa} = 4.186 \frac{KJ}{Kg^\circ C}$$

$$\dot{Q}_a = \left(7027 \frac{Kg}{h}\right) \left(4.186 \frac{KJ}{Kg^\circ C}\right) (6^\circ C)$$

$$\dot{Q}_a = 176490.1 \frac{KJ}{h} = 167280.3 \frac{Btu}{h}$$

### 2.7.3. Rendimiento del sistema

El rendimiento del sistema está dado por:

$$n = \frac{\text{Calor generado} - \text{Calor absorbido}}{\text{Calor generado}} \times 100$$

$$n = \frac{\dot{Q}_g - \dot{Q}_a}{\dot{Q}_g} \times 100 = \frac{400000 - 176490.1}{400000} \times 100$$

$$n = 58.17\%$$

## 2.8. CALCULO DE LA EFICIENCIA DEL SISTEMA PROPUESTO

Como el calentador no se pretende cambiar en la alternativa propuesta, entonces el calor generado es el mismo:

$$\dot{Q}_g = 400000 \frac{Btu}{h} = 100865.674 \frac{Kcal}{h}$$

Teniendo en cuenta que se pretende disminuir el  $\Delta T$  con la ayuda del calentador solar y que el sistema es de flujo estable, las variables para calcular el calor absorbido por el agua serán:

$$T_i = 27^\circ C$$

$$T_o = 30^\circ C$$

$$\Delta T = 3^\circ C$$

$$\dot{m}_a = 7027 \frac{Kg}{h}$$

Entonces:

$\dot{Q}_{an}$ : Nuevo calor absorbido por el agua

$$\dot{Q}_{an} = \dot{m}_a c_{pa} \Delta T$$

$$\dot{Q}_{an} = \left(7027 \frac{Kg}{h}\right) \left(4.186 \frac{KJ}{Kg \cdot ^\circ C}\right) (3^\circ C)$$

$$\dot{Q}_{an} = 88245.06 \frac{KJ}{h} = 83640.17 \frac{Btu}{h}$$

Dando como resultado que el rendimiento con la modificación propuesta será:

$$n = \frac{\dot{Q}_g - \dot{Q}_{an}}{\dot{Q}_g} \times 100 = \frac{400000 - 83640.17}{400000} \times 100$$

$$n = 79.08\%$$

De lo que se concluye que al aumentar el rendimiento del sistema se disminuye el consumo de gas, por ende, los costos de operación

## 2.9. CONSUMO DE COMBUSTIBLE Y AHORRO ENERGETICO

En la actualidad se están consumiendo 450 galones al mes, o lo que es lo mismo 0,625 galones por hora con un costo promedio de \$2'800.000 (COP), por tanto, teniendo en cuenta que es sistema de funcione efectivamente durante 8 horas al día, se tiene que:

$$\begin{aligned} \text{Nuevo Consumo} &= \text{Consumo Actual} \left( \frac{\dot{Q}_{an}}{\dot{Q}_a} \right) \\ \text{Nuevo Consumo} &= 0,625 \frac{\text{gal}}{\text{h}} \left( \frac{83640.17 \frac{\text{Btu}}{\text{h}}}{167280.3 \frac{\text{Btu}}{\text{h}}} \right) \\ \text{Nuevo Consumo} &= 0,312 \frac{\text{gal}}{\text{h}} \end{aligned}$$

Por tanto, en 10 horas se consumirían 3,12 galones durante únicamente el día, mientras que las otras 14 horas se consumirían 8,75 galones con el solo uso del calentador de gas, de tal forma se terminarían consumiendo 356.1 galones al mes, lo que reduciría el costo de operación en aproximadamente en un 20,86%

$$\text{Nuevo Costo de Operacion} \approx \$2'215.920$$

### 3. SELECCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA OPTIMO PARA CALENTAMIENTO SOLAR DEL AGUA

#### 3.1. DESCRIPCIÓN DE LA ALTERNATIVA

Después de analizar la situación actual del sistema de calentamiento del agua de la piscina del club campestre Monte Verde, es evidente que el uso de un segundo sistema que permita disminuir el consumo energético del calentador principal es pertinente, ya que como evidenciamos en la sección de frecuencia de prestación de servicio la piscina no está generando unas ganancias rentables, ya que el solo costo del combustible de la caldera para mantener el agua a la temperatura correspondiente genera un aproximado del 80% del valor total de mantenimiento de la misma, mientras que el otro 20% corresponde a la compra de las soluciones químicas para limpieza y cuidados básicos del agua, mano de obra del operario que realiza los mantenimientos y la energía eléctrica empleada para su funcionamiento, tal y como lo podemos evidenciar en la siguiente tabla comparativa de costos:

Tabla V. Comparativa de costos

Costos generales de la piscina mensual		
Aspecto	Valor (COP)	Porcentaje (%)
Mano de obra en mantenimiento	\$180.000,00	5,09
Cloro	\$150.000,00	4,24
Alguicida	\$32.000,00	0,91
Clarificador	\$90.000,00	2,55
Soda caustica	\$20.000,00	0,57
Kit analizador	\$2.700,00	0,08
Energía	\$200.000,00	5,66
Agua	\$60.000,00	1,70
Gas	\$2.800.000,00	79,21
Total	\$3.534.700,00	100,00

Fuente: Autor

De esta forma la alternativa de un sistema complementario para disminuir el consumo energético no solo debe satisfacer esta labor, sino que además debe ser un sistema que requiera un mínimo cuidado y conocimiento de operación, no requerir de la implementación de más sistemas complementarios que entorpezcan o dificulten el servicio general y que no requiera de ningún combustible para su funcionamiento. Con estas condiciones claras y sumando la importancia de la conservación del medio ambiente, un sistema que sin duda sale a resaltar por sobre los demás es el relacionado con las nuevas tecnologías de calentadores solares.

Para la ejecución del proyecto y basado en teorías y conocimientos básicos de sistemas térmicos, es evidente que la razón principal del alto consumo de combustible en el calentador se debe a la diferencia de temperaturas con las que este trabaja, de forma que sabiendo que el calentador debe entregar agua a un promedio de 28-30°C y con las lecturas tomadas del agua de retorno en el instante inmediato antes de la entrada a este es de 24-25°C, en el intervalo más amplio el calentador debe subir la temperatura hasta en 6°C para cumplir con su demanda. En este orden de ideas el sistema propuesto debe como principal objetivo reducir esta diferencia de temperaturas, y sabiendo que a temperatura de salida siempre debe ser la misma, únicamente podemos trabajar con la temperatura de entrada al calentador, con lo cual si esta lograra entrar a una temperatura mayor el gasto energético del calentador se podría reducir, lo que conlleva a una teórica reducción en consumo y por tanto costos del gas (Cengel, 2019).

### **3.2. LIMITACIONES DE LOS CALENTADORES SOLARES:**

La implementación de un sistema alternativo para la disminución del consumo de combustible del calentador se encuentra limitada por una variada cantidad de factores, desde lo correspondiente a estética, sencillez del diseño e instalación, factores técnicos y reglamentarios, hasta el limitado presupuesto general, con lo que se realiza una descripción más de tallada categorizando sus limitaciones, factor clave antes de continuar el proyecto:

- Limitaciones de disposición:
  - El calentador debe estar ubicado en una sección no muy alejada del sistema principal, con el objetivo de disminuir el costo de materiales y reducir pérdidas de temperatura en las tuberías
  - El calentador debe ubicarse en un lugar donde reciba la mayor cantidad de radiación durante el día

- El calentador debe quedar en un lugar donde los usuarios no tengan acceso cercano a este, por motivos de seguridad
  - En dado caso de quedar expuesto a la vista en general, debe ser estéticamente agradable y que no genere contraste con la fachada o decoraciones en general
  - No debe generar afectaciones a sistemas de entrada de luz natural o curso normal de control de aguas lluvia, esto en el caso de disponerlo en el tejado
- Limitaciones técnicas y reglamentarias:
    - Como lo indica la resolución 1618 de 2010 radicada por el ministerio de la protección social una piscina climatizada debe encontrarse a no más de 32°C, pues trabajar a mayor temperatura implica un mantenimiento diferente y el agua puede cambiar sus propiedades de cloro y PH
    - El uso de hierro y aluminio en contacto con el agua no está permitido, pues puede afectar al PH y el cloro de la piscina. (Manuj, 2023)
    - El uso del cobre en las tuberías solo es admisible si el PH del agua se encuentra entre 7,2 y 7,6
    - La instalación del calentador debe afectar en la menor medida de lo posible la infraestructura del hotel
    - La operación y disposición de válvulas de accionamiento deben ser accesibles para un constante uso de cualquier persona del equipo de trabajo de Monte Verde
    - Al trabajar con agua a menos de 32°C las pérdidas por reflexión y transmisión son irrelevantes
    - Los materiales implementados deben ser de calidad para no generar afectaciones directas o fallas inesperadas
    - El calentador solar al ser un intercambiador de calor puede generar el efecto de enfriar el agua si no se opera correctamente
    - El calentador debe contar con un sistema de tuberías adaptable al sistema actual
    - El calentador debe contar con un sistema de filtro para partículas grandes, ya que estas pueden generar obstrucción si existe un cambio de diámetros en tuberías.
    - El calentador debe ser seleccionado para presentar un rendimiento estable en las diferentes estaciones del año, aunque es evidente que su rendimiento va a tender a variar según los meses

### 3.3. CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA

Para la selección de las alternativas que se pueden emplear para el calentamiento de agua por energía solar, y teniendo en cuenta las limitaciones descritas en el título anterior se debe inicialmente realizar una caracterización del sistema particular que se requiere implementar previo a la selección del captador principal del calentador, donde se encuentran aspectos tales a conocer como el sistema de transferencia de calor, tipo de circulación, sistema de expansión y conexión de los paneles del captador.

Como bien se mencionó, los calentadores solares se pueden caracterizar según 4 criterios básicos, los cuales se describen de la siguiente forma:

- **Por el sistema de transferencia de calor:** en esta clasificación se encuentran tres tipos específicos, los cuales corresponden inicialmente al sistema directo independiente y el sistema indirecto independiente, los cuales son inicialmente contruidos en conjunto a la piscina, pues su disposición implica un control de caudal en la bomba a razón de sensores de temperatura integrados al calentador, además que el sistema de alimentación va directamente en la salida de la bomba, es decir que esta conduce el agua hacia el calentador y luego hacia la piscina. Por otro lado, el sistema correspondiente e ideal para la alternativa propuesta se clasifica como directo combinado, donde el sistema se encuentra de manera paralela al sistema principal de la piscina, ya sea antes o después de la bomba de agua, con lo que se puede suprimir el uso del calentador solar sin interferir con el flujo normal de la piscina (Guartatanga, 2015).
- **Por el sistema de circulación en el sistema primario:** para la circulación normal del sistema primario se encuentran dos clasificaciones generales, la primera de ellas es por termosifón que corresponde a un sistema donde el agua solo es transportada por la tubería cuando el fluido alcanza una temperatura específica, y por relación de densidades este asciende a través de la tubería ubicada aproximadamente a una altura de 30cm hacia un reservorio donde continuara su flujo, sin embargo debido a que el sistema directo combinado debe direccionar todo el flujo de forma constante a través del calentador es necesario un sistema de circulación de tipo forzado, el cual involucra el uso directo de una bomba para el flujo normal del agua (Alcalde, 2016).
- **Por el sistema de expansión:** debido a que el sistema de la piscina no emplea ningún tipo de reservorio de agua cerrado se considera un sistema de expansión abierto, ya que su único deposito corresponde al mismo vaso de la piscina, el

cual se encuentra abierto y expuesto a la presión normal de la atmosfera (Collado, 2017).

- **Por la conexión de los captadores:** según los captadores seleccionados y la cantidad estos se pueden conectar en serie, en paralelo o de forma mixta teniendo cada una características especial, ya que al ser conectados en serie la temperatura final del agua será mucho más alta, pues esta pasara en su totalidad por cada uno de los captadores, mientras que en paralelo se sacrifica el incremento elevado de la temperatura y se prioriza un mayor flujo por el calentador, así mismo podemos unir estos dos tipos según sea la necesidad y trabajarlo de forma mixta (Guartatanga, 2015).

### **3.4. ALTERNATIVAS DEL TIPO DE CAPTADOR**

Debido a que el sistema no requiere que el agua se encuentre a elevadas temperaturas el calentador solar no necesita de ni un sistema de posicionamiento variable ni concentradores de calor, sino que será un sistema sujeto y rígido al techo del edificio en una dirección optima. De esta forma en el mercado actual podemos encontrar una gran variedad de captadores solares con características especiales para cumplir y suplir dicha labor, brindando costos y alternativas adaptables a cada tipo de situación, por tal razón es importante conocer a más detalle cada tipo de captador junto a sus características técnicas y costos:

- 3.4.1. Captador de placa plana:** El primero de estos sistemas de captación es el de placa plana, el cual corresponde a unas secciones de tubería dentro de una carcasa aislada con la que gracias a un sistema de placas transparente en su superficie y a aislantes térmicos permite la menor de las pérdidas de temperatura, sin embargo su tubería son mayormente en aluminio o cobre y debido a su sistema aislante y sin control de sensores de temperatura durante los días de verano puede llegar el agua a temperaturas superiores a los 100°C, lo que corresponde un riesgo para el mantenimiento del agua normal (Claros, 1981). Este sistema presenta las siguientes características técnicas y costos promedio (Anexo C):

Tabla VI. Placa plana

<b>TIPO DE COLECTOR</b>	PLACA PLANA
EFICIENCIA (%)	79,8
MAXIMA PRESION DE TRABAJO	1Mpa
TEMPERATURA LIMITE TRABAJO (PROM)	-40 ~ 150
TEMPERATURA PROMEDIO DE TRABAJO	60°C
CAUDAL DE TRABAJO	30 L/m
PESO DE PLACA	36.5kg
DIMENSIONES PROMEDIO (mm)	1000 x 2000 x 300
PRECIO	\$ 1.800.000,00

Fuente: (Claros, 1981)

Figura 9. Placa plana



Fuente: (Solar, 2019)

**3.4.2. Captadores por tubos de vacío:** El siguiente sistema corresponde a los calentadores por tubos de vacío, los cuales corresponden a tuberías aisladas en un sistema al vacío, con lo cual reduce enormemente las pérdidas por radiación, convección y conducción, haciéndolos muy efectivos en temperaturas ambientes muy bajas o muy altas, sin embargo el costo de fabricación por sus recubrimientos especializados y superficies altamente selectivas los hace muy costoso de producir y requieren de un especialista para su construcción y montaje (Camino, 2010). Este sistema presenta las siguientes características técnicas y costos promedio (Anexo D):

Tabla VII. Tubos de vacío

<b>TIPO DE COLECTOR</b>	<b>TUBOS DE VACIO</b>
EFICIENCIA (%)	90
MAXIMA PRESION DE TRABAJO	1.001Mpa
TEMPERATURA LIMITE TRABAJO (PROM)	-140 ~ 400
TEMPERATURA PROMEDIO DE TRABAJO	120°C
CAUDAL DE TRABAJO	550 L/m
PESO DE PLACA	110kg
DIMENSIONES PROMEDIO (mm)	1757X1933X135
PRECIO	\$ 8.700.000,00

Fuente: (Sistemas, 2023)

Figura 10. Tubos de vacío



Fuente: (John Calle, 2010)

**3.4.3. Captadores de polímeros:** Finalmente, el sistema más empleado en la piscina corresponde a los calentadores de polímeros los cuales tienen la característica de ser sencillos en su diseño, pues constan de segmentos de tubería generalmente en polietileno de color negro y un monómero de propileno (EPDM), material esencial para proteger la tubería y que no afecte el agua con cloro, los alguicidas y otros elementos limpiadores (Alicia, 2011). Este sistema presenta las siguientes características técnicas y costos promedio (Anexo E):

Tabla VIII. Placa de polímero

<b>TIPO DE COLECTOR</b>	Polímero
EFICIENCIA (%)	60-80
MAXIMA PRESION DE TRABAJO	0.6 Mpa
TEMPERATURA LIMITE TRABAJO (PROM)	25 ~ 40
TEMPERATURA PROMEDIO DE TRABAJO	30°C
CAUDAL DE TRABAJO	100 L/m
PESO DE PLACA	6 kg-7kg
DIMENSIONES PROMEDIO (mm)	Variable
PRECIO	\$ 1.950.000,00

Fuente: (Saclima, 2023)  
Figura 11. Placa de polímero



Fuente: (Saclima, 2023)

### **3.5. MATRIZ DE SELECCIÓN**

Para poder seleccionar la mejor opción de colector para el calentador se someten las tres alternativas a una matriz de selección, con criterios establecidos según las limitaciones técnicas, de disposición, económicas y reglamentarias que la construcción y aplicación del mismo conlleva, con lo cual se evaluará cada aspecto con una jerarquía específica donde según la importancia y la relevancia tendrá un porcentaje estipulado. De esta forma cada ítem se evalúa de 0 a 10 según sea conveniente en el proyecto, siendo 0 la calificación más baja y 10 la más alta:

Tabla IX. Matriz de selección

%	Criterio	Colector		
		Placa Plana	Tubo de Vacío	Polímero
10	Eficiencia	8	9	7
5	Dimensiones compactas	5	4	8
8	Peso en seco	5	2	8
12	Materiales compatibles	6	6	8
8	Costo de adquisición	6	4	7
6	Complejidad del montaje	5	4	7
4	Estética no invasiva	2	2	5
13	Temperatura manejada optima	2	0	9
10	Caudal de trabajo optimo	8	3	6
6	Presión de trabajo optimo	7	9	6
10	Opciones en el mercado	8	8	6
8	Vida útil	9	9	6
100	Total	6,03	4,98	7,09

Fuente: Autor

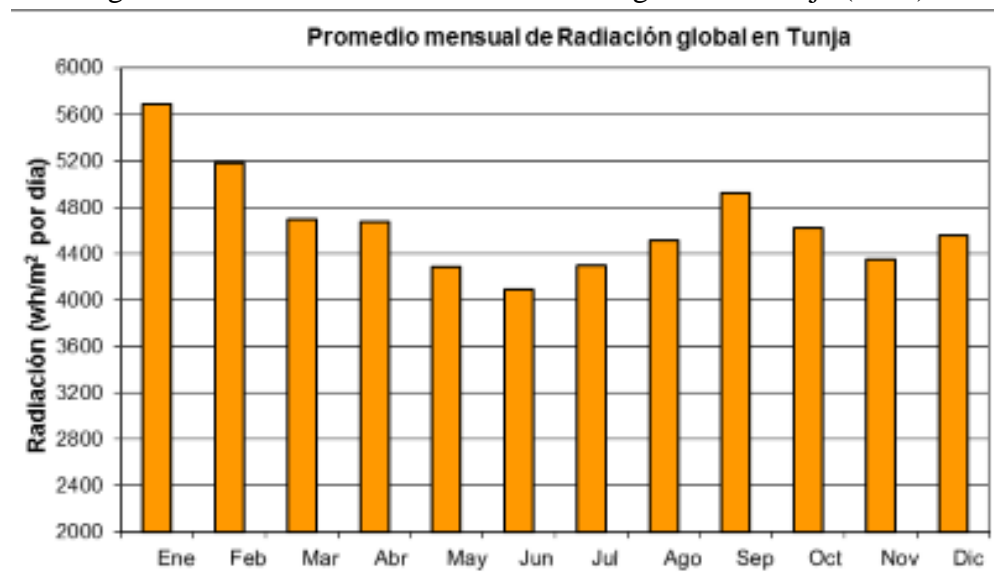
De esta forma se obtiene que, según los criterios establecidos y la relevancia de cada uno de ellos el colector de polímero resulta ser la mejor opción para la situación presentada en el Club Campestre Monte Verde, con lo cual se selecciona este tipo de calentador como el correspondiente a dimensionar y ajustar en los próximos capítulos del proyecto con el fin de cumplir con los objetivos planteados. De esta forma se puede definir que la alternativa correspondiente óptima para la piscina de Monte Verde se define como un sistema de transferencia directa combinado con circulación forzada abierto y con captadores de polipropileno dispuestos de forma mixta.

#### 4. DISEÑO Y DESARROLLO DEL PLAN DE EJECUCION DE LA PROPUESTA

##### 4.1. ANÁLISIS DEL CLIMA SEGÚN EL MODELO A IMPLEMENTAR PARA LA CIUDAD DE TUNJA

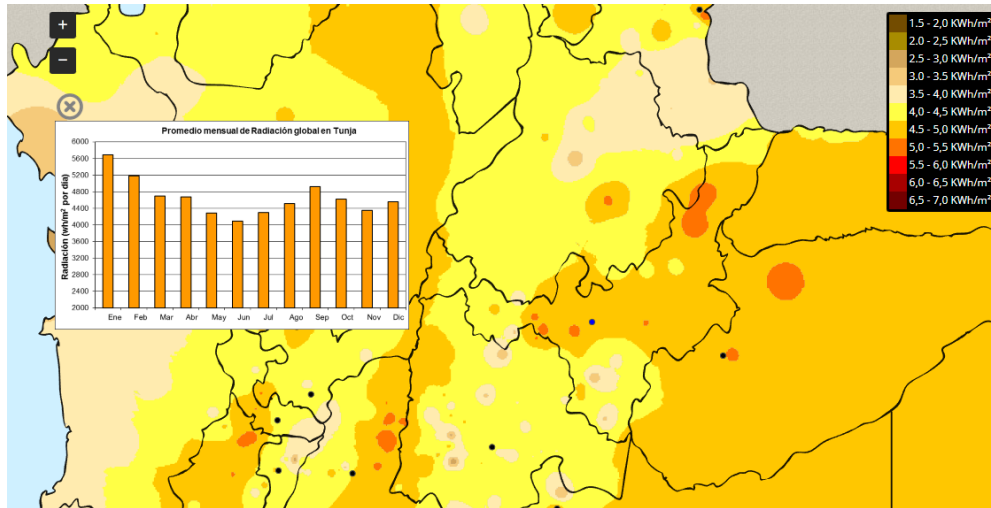
Para poder determinar las dimensiones y la posición óptima del calentador en la ciudad de Tunja, es necesario primero realizar unos estudios y análisis previos de la irradiación solar a lo largo de los meses en promedio, para lo cual nos basamos en los datos reales expuestos en la página oficial de Atlas IDEAM, con lo cual nos entrega valores promedio de irradiación solar dada en vatios hora sobre metro cuadrado ( $Wh/m^2$ ) mostrados en la figura 12, con ello en una serie de cálculos se obtendrán la cantidad de metros cuadrados que debe tener el calentador y algunos otros factores determinantes.

Figura 12. Promedio mensual de radiación global de Tunja (2022)



Fuente: (Ideam, 2023)

Figura 13. Mapa promedio mensual de radiación global de Tunja (2022)



Fuente: (Ideam, 2023)

En el análisis de la radiación en la ciudad de Tunja se puede notar que existe una alta incidencia de energía en los meses de enero, febrero y septiembre, por lo que se vuelven meses claves para el uso del calentador y de la piscina como tal, además un estudio más detallado de la radiación durante el día (tabla X) expone que las horas óptimas para el funcionamiento del colector están entre las 10 de la mañana y las 3 de la tarde siendo el momento más crítico (Tiempo, 2023).

Tabla X. Radiación promedio de un día de enero

Radiación promedio de un día de enero	
Hora	Radiación (W/m <sup>2</sup> )
7:00	111
8:00	280
9:00	471
10:00	648
11:00	701
12:00	701
13:00	651
14:00	534
15:00	400
16:00	253
17:00	105

Fuente: (Tiempo, 2023)

## 4.2. CÁLCULO DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL CALENTADOR SOLAR

Inicialmente debemos tener en cuenta que, por temas de disponibilidad, accesibilidad y confiabilidad, se tomaran como referencias los calentadores de polipropileno para piscinas de la marca Solapool, la cual brinda toda la información y sugerencias para la obtención y montaje de los paneles. Sin embargo, para mejorar al máximo la eficiencia del calentador se realizaran cálculos y análisis correspondientes a varios factores que afectan directamente el desempeño de los mismos, de esta forma para estimar la cantidad y disposición de paneles solares es necesario saber que los valores constantes en todo el desarrollo son: mantener una temperatura a la entrada del calentador de gas entre 26°C a 30°C, que la latitud de Tunja es de 5,327 hemisferio norte, y que, según las recomendaciones del fabricante, los paneles solares deben tener un caudal de como mínimo 150 a 300 L/h (Saclima, 2023).

Con la ayuda de una hoja de cálculo en Excel (Figura 14) facilitaremos las operaciones necesarias para encontrar las variables del calentador solar en factores como la inclinación y la posición con respecto al plano de incidencia, para lo cual sabemos que, el efecto coseno establece que la energía radiante del sol sobre una superficie horizontal cambia con la hora del día, en la puesta del sol la energía radiante se dispersa sobre un área más grande y es más débil por área superficial, por tanto, la inclinación de los colectores incrementa la irradiancia hasta un 35% (500 kWh/m<sup>2</sup>/año) para latitudes por debajo de 30° S y por arriba de 30° N, siendo la Inclinación el ángulo entre el plano de la superficie y la horizontal (Hernández, 2022).

Figura 14. Hoja de cálculo Solar

	A	B	C	D	E
1			<b>ÁNGULOS DE INCIDENCIA</b>		
2					
3		$\phi$	LATITUD -90 a 90	5,327	
4		$\delta$	Declinación -23,45 a23,45	-21,26947391	
5		$\beta$	Inclinación	5	
6		$\gamma$	Ángulo Azimutal de la superficie.	0	
7		$\omega$	Ángulo Horario	-90	
8		$\theta$	Ángulo de Incidencia	90,11862026	1,572866641
9		$\gamma_s$	Ángulo Azimutal del Sol	68,81328246	1,201018348
10		$\theta_z$	Ángulo Cenital	91,92997696	1,604480779
11		$\alpha_s$	Ángulo de altitud Solar	-1,929976959	
12		$n$	Día del año	15	
13			TIEMPO LOCAL	18:00:00	
14				18,00	

Fuente: (Hernández, 2022)

La inclinación óptima es usualmente la latitud del sitio, por lo cual en este caso se tomará dicha inclinación con respecto al plano terrestre como 5°, mientras que para determinar la posición óptima con respecto al sol y evitando las sombras nos basamos en el ángulo azimutal, que corresponde al ángulo comprendido entre el norte cuando la ubicación del panel se encuentra a el sur del hemisferio, o en su defecto sentido sur como es el caso de Tunja, que se encuentra en el hemisferio norte. Es importante resaltar que los cálculos se verán directamente afectados en la dirección del sol no solo por la hora del día, sino que también por día específico del año en el cual se realice el muestreo (Pons, 2014), de tal forma y con el objetivo de encontrar la mejor dirección de ubicación del calentador e identificar un rango donde no puede generarse sombra se analizaron y tabularon días promedio de los meses críticos teniendo en cuenta las horas desde las 10 de la mañana hasta las 3 de la tarde expuestas en la tabla X, sabiendo que la fórmula propuesta por Spenser (1971) para la obtención de dicho ángulo relaciona el ángulo cenital con la latitud y la declinación del panel, expresándose de la siguiente forma:

$$\cos \gamma_s = \cos \theta_z \sin \phi - \frac{\sin \delta}{\sin \theta_z * \cos \phi}$$

Donde:

$\gamma_s$ : es el ángulo Azimutal del sol

$\theta_z$ : es el ángulo cenital

$\phi$ : es la latitud, la cual es 5,327

$\delta$ : es la declinación

Por tanto, para determinar la declinación que corresponde a la posición angular del sol al mediodía solar con respecto al plano del ecuador, se debe tener en cuenta que en el hemisferio norte el termino dependiente es positivo y en el sur es negativo, se emplea la fórmula de Cooper (1969), la cual nos indica que:

$$\delta = 23.45 \sin \left( 360 \frac{284 + n}{365} \right)$$

Donde:

$n$ : es el día específico a emplear

Ahora para determinar el ángulo cenital que corresponde al ángulo comprendido entre la vertical y la dirección del sol, la cual genera una incidencia del haz de radiación sobre una superficie horizontal (Trippi, 2020), debe valerse de la siguiente formula:

$$\cos\theta_z = \text{sen}\delta\text{sen}\phi + \cos\delta\cos\phi\cos\omega$$

Donde:

$\omega$ : es el ángulo Horario

El ángulo horario es el desplazamiento angular de Este a Oeste del sol del meridiano local, debido a la rotación de la tierra a 15° por hora; positivo en la mañana, negativo en la tarde, de igual forma es la distancia expresada en ángulo a través del meridiano local a lo largo del celeste del Ecuador y es normalmente expresado en grados o unidades de arco y en unidades de tiempo (horas, minutos y segundos) (UPME, 205) expresado de la siguiente forma:

$$\omega = 15(12 - T_{loc})$$

Donde:

$T_{loc}$ : es la hora en la que se está realizando el análisis

Tabla XI. Análisis del ángulo Azimutal del sol

Análisis del ángulo Azimutal del sol			
Hora	Enero	Febrero	Septiembre
10:00	50,03	61,5	89,83
11:00	36,85	49	93,31
12:00	26,26	35,78	128,56
13:00	36,85	49	93,31
14:00	50,034	61,5	89,83
15:00	58,44	68,26	89,38

Fuente: (Hernández, 2022)

Para el aprovechamiento máximo de la energía térmica solar es recomendado el uso de estructuras móviles para los captadores del calentador, de tal forma que permitan la variación de la posición hacia el sol a lo largo de los días del año con el objetivo de encontrarse en todo momento coplanares a este (Autosolar, 2016). Sin embargo, implementar un sistema de seguimiento resulta ser igual o más costoso que el propio calentador, por lo cual se considera la mejor opción en dejar los captadores en dirección hacia el Este y el Oeste, así aprovechando la irradiación en su totalidad a lo largo del día de una forma más regular mañana y tarde.

Así gracias al ángulo azimutal del sol se determina el ángulo promedio en el cual se debe despejar la ubicación del calentador solar en el tejado para aprovechar al máximo la radiación en los meses más críticos, con lo que analizando la anterior tabla se debe tener en cuenta que, aunque los ángulos más grandes sean los de septiembre sobre el medio día ( $128^\circ$ ) se debe tener en cuenta que el sol se va a encontrar casi de forma perpendicular al plano de la tierra, por lo que ningún objeto alrededor de los captadores le generaran sombra, por otro lado entre las horas de las 10 de la mañana y las 3 de la tarde el sol ya se encuentra a una altura más baja con relación al horizonte, por lo cual son las horas a tener en cuenta si de generación de sombra se refiere. De igual forma a estas horas del mes de septiembre se presenta la mayor apertura del ángulo con  $89,83^\circ$ , lo cual indica que el calentador debe estar libre de objetos que le puedan producir sombra justo delante de los captadores, tanto en el sentido Este como en el Oeste.

#### **4.3. SUPERFICIE DE CAPTADORES REQUERIDA**

Para que la temperatura del agua a la entrada del calentador de gas se encuentre entre los  $27^\circ\text{C}$  a  $30^\circ\text{C}$ , se debe calcular la cantidad de metros cuadrados óptimos a tener en captadores solares, para lo cual se valdrá del estudio realizado por Cigudosa (2019) en el que determina a través del análisis de las pérdidas generales de evaporación, radiación, convección y renovación de agua en estos mismos tipos de captadores y, gracias a la información suministrada por el fabricante, que en conclusión, los metros cuadrado determinados en captadores de polímero deben consumir  $64.583,25\text{W}$  con un caudal de  $150\text{L/h}$  para generar temperaturas idóneas. Con lo cual, tomando septiembre como el mes crítico con la menor radiación durante el día, con tan solo  $4900\text{Wh/m}^2$  se plantea el análisis de cantidad de metros cuadrados de captadores. Sabiendo que las horas útiles del día en Tunja son de aproximadamente 10 (de 8 de la mañana a 6 de la tarde), en cada hora se están generando  $490\text{W/m}^2$ , por lo tanto, se requieren de aproximadamente  $132\text{m}^2$  de captadores (Antoñanzas, 2019).

#### **4.4. UBICACIÓN Y DISPOSICIÓN DEL CALENTADOR SOLAR**

En el análisis de los espacios disponibles del edificio de hotel y zonas húmedas se determina que el mejor lugar para la colocación del sistema de calentamiento se encuentra sobre el tejado del hotel (figura 15), pues esta al mismo nivel de la piscina y en la parte izquierda del edificio, además cuenta con un área total de  $242,29\text{ m}^2$  dividida en dos secciones de  $4,23\text{ m}$  de ancho por  $28,6\text{ m}$  de largo, cada sección tiene

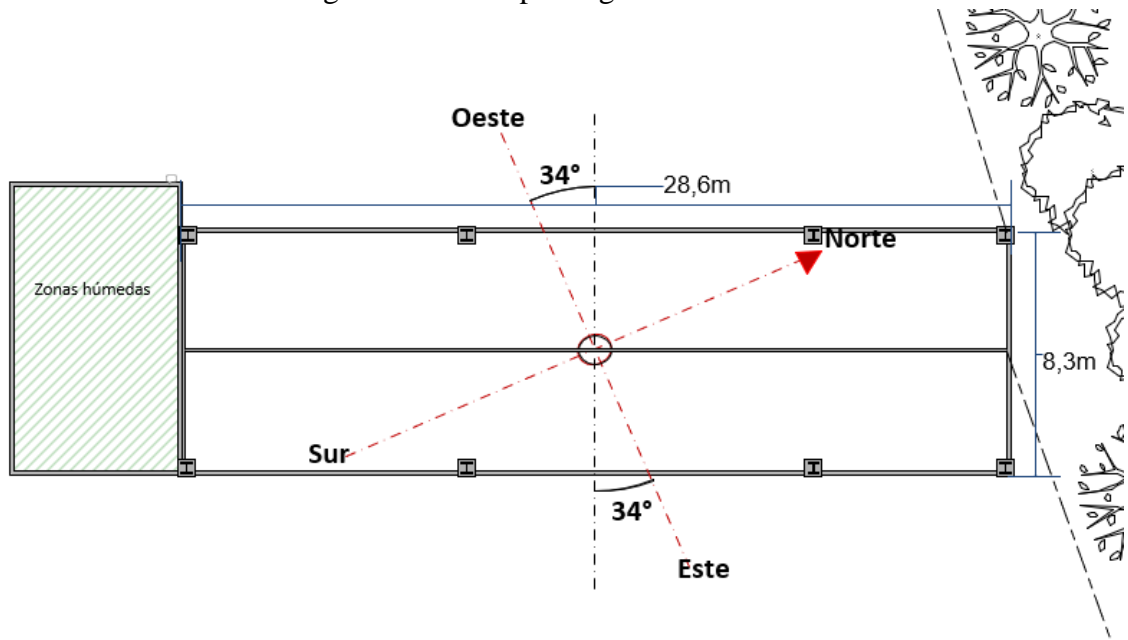
una inclinación de  $11,5^\circ$  y se encuentra en un ángulo de  $34^\circ$  dirección nororiente con respecto al eje oriente-occidente (figura 16)

Figura 15. Tejado occidental del hotel de Monte Verde



Fuente: Autor

Figura 16. Descripción grafica del techo



Fuente: Autor

Debido a que el área del tejado del hotel es bastante amplia se pueden emplear los captadores 2005, que son los más grandes ofrecidos por el fabricante (figura 17), los cuales se distribuirán de forma homogénea sobre el área para evitar sobre cargas que puedan generar averías o daños significativos en el tejado, pues se debe tener en cuenta que el peso en seco de los captadores es de 6kg a 8kg, llegando a los 28kg a 35kg en lleno, sin embargo los factores más importantes a tener en cuenta son la declinación recomendada de 5° y la corrección de orientación con respecto al eje Este-Oeste de 34°, para lo cual se recomienda una estructura prediseñada. El fabricante Solapool sugiere que sus calentadores solares sean puestos de forma paralela en baterías de no más de 7 paneles con el fin de mantener la máxima eficiencia posible, además de poder distribuir de manera idónea los captadores sobre la superficie, de esta forma cada juego de batería de 7 captadores se conectara en serie con las demás para los casos que sean necesarios. Ahora bien, en los análisis anteriores se determinó que se requieren de 132m<sup>2</sup> de captadores, y si se van a emplear la referencia 2005 de 7,2m<sup>2</sup> la cantidad de placas necesarias son 18, sin embargo, se implementaran 20 placas como un factor de incertidumbre.

Figura 17. Referencia y dimensiones de captadores

CONCEPTO:  
CAPTADOR SOLAR DE POLIPROPILENO SOLAPOOL



Ref.	Dimensiones (AxL)	área (m <sup>2</sup> )	P.V.P (Euros)
2000	1,20 X 2,00 m	2,40	180,00
2001	1,20 X 2,50 m	3,00	198,00
2002	1,20 X 3,00 m	3,60	227,00
2003	1,20 X 4,00 m	4,80	265,00
2004	1,20 X 5,00 m	6,00	310,00
2005	1,20 X 6,00 m	7,20	365,00

LARGO DEL CAPTADOR EN MEDIDA ESPECIAL CON APLICACION DE TARIFA EN RANGO SUPERIOR. EJEMPLO: CAPTADOR DE 1,20 x 4,35 m ----- PVP 288,00 €

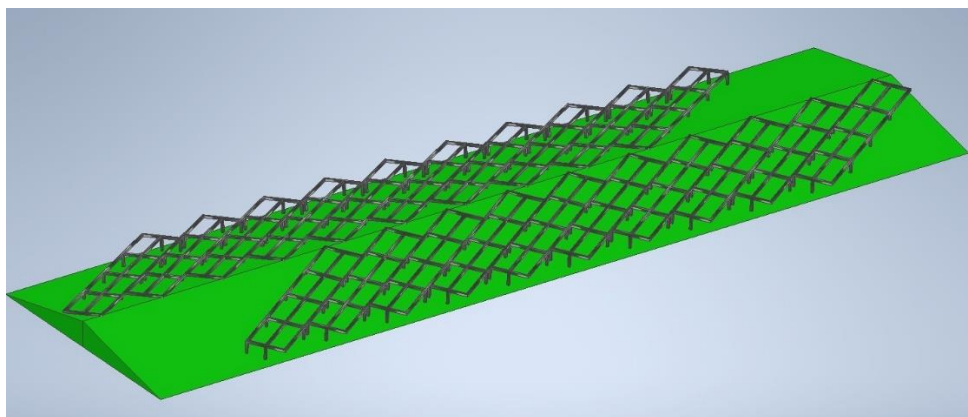
Fuente: (Saclima, 2023)

#### 4.5. PROPUESTA Y MÉTODO DE INSTALACIÓN

El fabricante SolaPool hace un acompañamiento completo en el momento de realizar la instalación y distribución de sus captadores, cuando se efectúa la compra del producto el paquete viene con todos los accesorios necesarios para su instalación y adaptación a tuberías, por lo cual traen vainas, sondas y hasta un especializado dispositivo Centralita

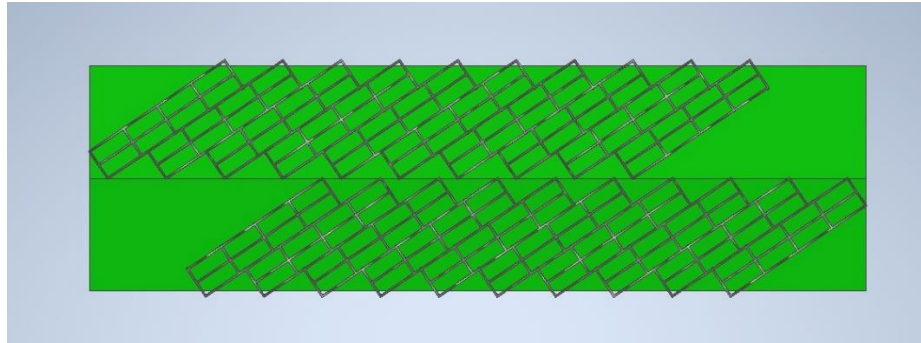
RESOL Delta Sol TT, el cual es un auxiliar de monitoreo electrónico de factores como el caudal y la temperatura de las baterías de captadores, que funciona gracias a sensores que se integran en segmentos específicos de la tubería, todas estas especificaciones y formas de montaje de entre los captadores y las baterías están especificadas en el manual de montaje distribuido por el fabricante (Anexo F). El fabricante también vende en su página una estructura en acero de geometría sencilla para la colocación del captador, sin embargo es un tipo de estructura destinada para solares o patios planos junto a la piscina y por lo tanto resulta insuficiente para las características descritas del proyecto, con lo cual se plantea un diseño sencillo en tubo cuadrado de 70mm de largo por 70mm de ancho y 0.8mm de espesor, basándose en que cada sección del tejado debe resistir 10 captadores dispuestos seguidos, por lo que deben soportar y distribuir esos 350kg de forma óptima (figura 18 y 19). La estructura diseñada compensa la declinación normal del tejado y ubicada los captadores a sus correspondientes 5° (figura 20), además que los orienta uniformemente hacia el Este y el Oeste correspondientemente (figura 21). Por otro lado, la estructura está diseñada para distribuir el peso en varios puntos de apoyos ya que el tejado no cuenta con ningún punto donde sobresalga una columna o viga de amarre para descargar el peso, sin embargo, el diseño inicial del edificio de hotel se planteó para aguantar el peso de personas para mantenimientos, por lo cual aplicar no más de 5kg por metro cuadrado no significara una mayor afectación.

Figura 18. Vista isométrica de la estructura sobre tejado



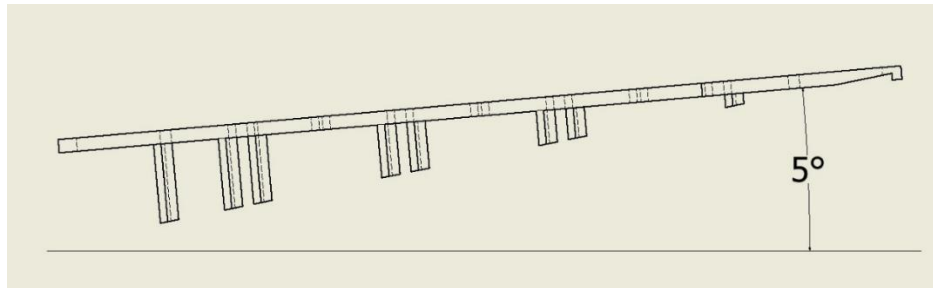
Fuente: Autor

Figura 19. Vista de planta de la estructura sobre tejado



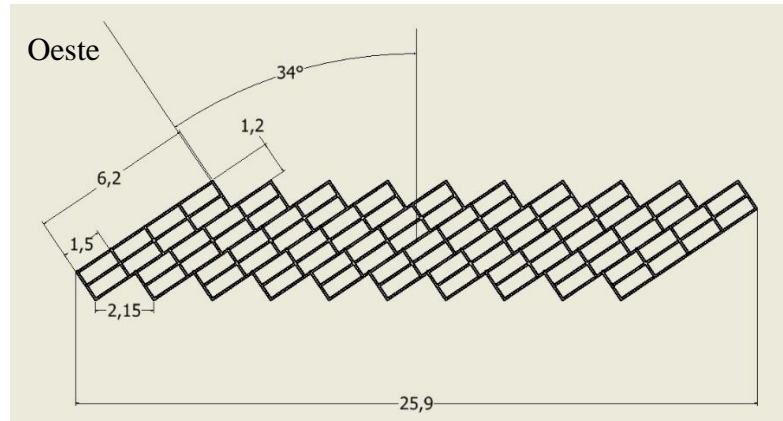
Fuente: Autor

Figura 20. Compensación de la declinación de captadores



Fuente: Autor

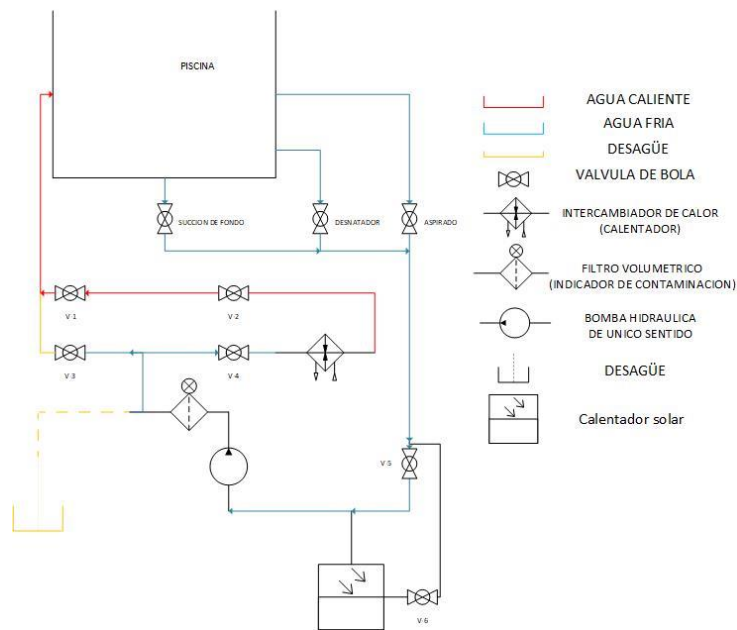
Figura 21. Corrección de la orientación de captadores



Fuente: Autor

El set de SolaPool incluye adaptadores para tuberías de varias medidas las cuales se pueden montar y acoplar a los sistemas actualmente usados, y es para dicho acople que se debe realizar una interrupción y desviación en los sistemas de retorno de la piscina justo antes de la entrada de la bomba, para lo cual una válvula (v-5) interrumpe el flujo normal del agua y la obliga a pasar por el calentador y retornar a la bomba, en caso de no usarse se abrirá la válvula para retomar el camino normal y se cerrara una válvula (v-6) ubicada antes del calentador solar en el nuevo sistema de tuberías. Para el nuevo sistema de tuberías se aproxima la implementación de 60 metros del mismo tipo tubo, que serán dispuestos desde la parte superior del cuarto de máquinas hasta el tejado del hotel, atravesando el cuarto de servicio por el techo de la primera planta y llegando a la parte superior trasera del edificio, con lo cual dispondrá la alimentación y retornos del calentador solar sobre la sección del tejado que da al Este, para no alterar la fachada principal y disminuir las intervenciones que se le deben realizar al edificio, pues para sacar la tubería a los captadores es necesario realizar agujeros en al menos una pared del hotel, la cual sería en la cocina de la primera planta. Por otro lado, las válvulas que se sugieren y la centralita deben encontrarse en un lugar de fácil acceso para el personal de Monte Verde, pues este sistema debe ser manipulado y controlado a diario. El sistema antes de ponerse en marcha debe ser purgado, ya que como se mencionaba anteriormente corresponde a un sistema forzado por la bomba y está en ningún momento puede quedarse sin agua pues podría estropearse.

Figura 22. Diagrama de tuberías con el sistema de calentador solar



Fuente: Autor

## 5. RESULTADOS

### 5.1. OPERACIÓN

Inicialmente se debe tener en cuenta que se necesita realizar una purga del nuevo sistema de tuberías para su correcto funcionamiento, esto se consigue abriendo gradualmente la válvula de calentador y cortando el paso del sistema principal, esto con el fin de no generar una sobre presión en las tuberías pues podrían estallar las uniones, o por otro lado hacer que la bomba se quede sin agua lo que podría hacer recalentarla y dañarla, cabe aclarar que el control de caudal optimo se debe mantener en lo indicado por el fabricante y esto se ha de lograr con el control proporcional de las válvulas y con las lecturas del RESOL Delta Sol TT. Para el correcto funcionamiento del sistema de calentamiento solar nos valdremos directamente del Termostato diferencial RESOL Delta Sol TT, con el cual debemos cuidar las elevaciones y caídas de temperatura del agua, así se debe tener en cuenta que el sistema ha de estar abierto desde las 10 de la mañana hasta las 3 de la tarde en especial los días que se tenga una alta radiación solar, pues aunque las estimaciones se realizaron en los meses críticos del año, si se presentan días óptimos el sistema puede mantener generando eficiencias medias y llegar a satisfacer la demanda propuesta, de la misma forma la apertura del sistema puede realizarse desde las 8 de la mañana si la radiación es alta, y retrasar el cierre hasta las 5 de la tarde. Se recomienda que el sistema no se utilice en la noche o en días de fuertes

vientos o lluvias, ya que puede llegar a generar el efecto contrario en el agua invirtiendo la adición de temperatura por la reducción, de la misma forma las tuberías del nuevo sistema se sugieren instalarse con un recubrimiento de aislante térmico o en su defecto, mayormente aisladas de corrientes de aire o del agua de lluvia. El manual general del calentador trae recomendaciones particulares para realizar un calentamiento rápido del agua, control de flujo optimo, y en caso de para el funcionamiento general de la piscina por más de dos meses la forma correcta de conservar el sistema

Este sistema de calentador solar requiere del mínimo de mantenimiento, pues solo necesita una limpieza en los captadores únicamente con agua cuando estos se encuentren con mucha suciedad, el cual se estima debe realizarse una vez cada tres meses, fuera de esto los captadores tienen una garantía de tres años dada por el fabricante y se estima que con un uso correcto y mantenimientos adecuados los captadores lleguen a tener una vida útil de hasta 25 años, por lo que no hará falta el preocuparse por ellos.

## 5.2. ANÁLISIS ECONÓMICO Y TÉCNICO DE LA PROPUESTA

Finalmente, con todos los factores correspondientes a la construcción, desarrollo, consumo y ahorro de combustible se puede estipular un análisis económico de la propuesta planteada, donde se establece un costo promedio de cada uno de los puntos actuales y de los presentados en la propuesta, con el fin de definir una inversión y tasa de retorno estimado, además de las ganancias a mediano plazo que se esperan. Cabe aclarar que los valores de los materiales y de los captadores en si pueden variar con el tiempo, por lo que se debe tener en cuenta que el análisis se hace para mes de mayo del año 2023, de esta forma en la siguiente tabla se realiza una comparación y análisis de la propuesta:

Tabla XII. Análisis económico

ANÁLISIS ECONÓMICO			
COSTOS DE DESARROLLO			
RUBRO	CANTIDAD	VALOR POR UNIDAD	VALOR TOTAL
EQUIPOS			
CAPTADOR	20	\$ 1.200.000	\$ 24.000.000
KIT DE UNIONES	3	\$ 60.000	\$ 180.000
KIT BATERIA	3	\$ 140.000	\$ 420.000
VAINAS Y SONDA	12	\$ 70.000	\$ 840.000
Centralita RESOL Delta Sol TT	1	\$ 330.000	\$ 330.000

Válvulas retención P.V.C. de capeta	3	\$ 60.000	\$ 180.000
<b>INSTALACION</b>			
TUBERIAS 2"	20	\$ 30.000	\$ 600.000
CODOS 2"	12	\$ 13.000	\$ 156.000
PEGAMENTO	2	\$ 5.000	\$ 10.000
MANO DE OBRA	32	\$ 6.000	\$ 192.000
SOPORTES	10	\$ 5.000	\$ 50.000
TRANSPORTE	1	\$ 30.000	\$ 30.000
<b>VALVULAS</b>			
DE BOLA 2"	2	\$ 130.000	\$ 260.000
<b>ESTRUCTURA</b>			
TUBO CUADRADO	74,2	\$ 17.400	\$ 1.291.080
<b>TOTAL</b>			<b>\$ 28.539.080</b>
<b>CONSUMO DE GAS MENUSAL</b>			
<b>ACTUAL</b>		<b>ALTERNATIVA</b>	
GALONES	COP	GALONES	COP
450	\$ 2.800.000	356,1	\$ 2.215.733,33
<b>AHORRO</b>			<b>\$ 584.267</b>
<b>TASA DE RETORNO EN AÑOS</b>			<b>4,1</b>

Fuente: Autor

## 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Cuando se realizó el análisis general del funcionamiento de la piscina se pudo observar que tras la conversión del calentador al sistema actual todos los enfoques para mejorar su rendimiento y disminuir el costo únicamente iban dirigidos a la cantidad de gas que se suministraba, por tanto dejaron de lado muchas otras opciones para conservar el calor del agua fuera de recalentarla, y es que si partimos de la zona como tal donde se encuentra la piscina se puede observar que aunque es cubierta y encerrada, la estructura presenta una gran cantidad de espacios y agujeros por donde las corrientes de aire frío entran y las calientes salen por temas de equilibrio térmico, con lo cual si se desea mantener temperaturas agradables en la zona en general se recomendaría aislarla aún más del ambiente exterior, pues como el edificio se encuentra en la parte superior de la ladera de la montaña las corrientes de aire en general son mayores.

Por otro lado para mantener la temperatura de la piscina por más tiempo es necesario pensar en el recubrimiento con aislantes térmicos en las tuberías, pues aunque las pérdidas por este medio no sean altas al ser tantos metros de tubería

llegan a sumar cantidades significativas, de la misma forma la superficie de la piscina como tal, también requiere de un aislante térmico que reduzca las pérdidas por evaporación o convección con el ambiente, esto se consigue con la implementación de una llamada “manta para piscinas”, la cual no es más que una tela impermeable de colores oscuros que cubren la totalidad de la superficie y tienen un mínimo de pérdidas por convección y conducción por el material.

- Observando la caldera se logra percatar que, como se mencionaba en el capítulo anterior, el color de la llama nos indicaba una mezcla demasiado rica en combustible y pobre en oxígeno, lo cual implicaba realizar un mantenimiento quincenal a los filtros de aire por exceso de ceniza volátil, un claro síntoma de esta característica, además del hecho de que la caldera se encuentra en una habitación encerrada y sin la presencia de flujos de aire ricos en oxígeno.

La recomendación realizada a la gerencia del club se trata de la implementación de un inyector de aire a la cámara de caldeo, aire el cual debe ser tomado del exterior del edificio para asegurar una mayor cantidad de oxígeno y de ser posible que entre lo más caliente posible para mejorar la eficiencia de la combustión, esto se podría plantear aprovechando los mismos gases calientes de escape de la caldera. Para que este sistema pueda ser más efectivo también se recomienda un aislante térmico y un sellado completo de la cámara de caldeo, con el fin de reducir pérdidas por convección o conducción.

- Las limitaciones a causa de la norma y por el control de PH y Cloro del agua hicieron una reducción amplia de los tipos de captadores solares a implementar, sin embargo, con una mayor disposición en una optimización al sistema completo de la piscina se podría trabajar con sistemas cerrados de calentamiento de agua por vapor, eliminando por completo el uso del gas y manteniendo la misma eficiencia, para esto se deberá aplicar conocimientos más concretos de plantas térmicas y energías renovables. Pues con el presente estudio se puede percatar que las nuevas tecnologías emergentes en el campo del aprovechamiento de la energía solar es muy amplia y aun en su mayoría inexplorada, pues patentes proponen el almacenamiento de agua por largos periodos de tiempo a temperaturas elevadas gracias a sistemas eficientes, con lo cual se podrían plantear infinidad de soluciones con sistemas más complejos para suplir tal necesidad, sin embargo los empresarios y gerentes con conocimiento ajeno a este campo de energías alternativas en su mayoría, no

arriesgan el cambio total de sus sistemas de calentamiento por estos nuevos sistemas, no obstante, este es un campo que cada vez se amplía y se aplica aún más en la industria, pues se debe tener en cuenta que los combustibles fósiles son una fuente finita de energía, y la cual es cada vez más escasa y por tanto costosa.

- La implementación de un sistema automatizado aunque pueda resultar costoso en una inversión inicial y mantenimientos previos, sin duda es una opción que puede generar un aumento a la eficiencia del sistema, pues en términos generales la eficiencia del sistema propuesto solo generaría el 50% del total si lo comparamos con un sistema automatizado, pues si se dirige a las especificaciones del RESOL Delta Sol TT nos podemos dar cuenta que es un dispositivo que podría regular la cantidad de caudal entrante al sistema gracias a una comparación de la temperatura en los sensores y medidas de tiempo y con esto reducir el caudal entrante a los captadores para aumentar la cantidad de calor transmitida al agua o reducirla en caso de ser necesario, con la simple utilización de servovalvulas y sensores Pt1000.

Por otro lado, un sistema automatizado de seguimiento de los paneles solares sería adecuado, sin embargo, tendría que plantearse alternativas para su desarrollo e instalación en el tejado del hotel. Con esta proyección, el personal de Monte Verde no tendría que ocupar su tiempo en la manutención de este sistema en particular, y así enfocarlo en los demás servicios ofrecidos por el club.

- El proveedor Solapool en sus manuales nos indica una forma de calcular la cantidad de área necesaria de captadores solares basado en datos generales de área de la piscina, latitud e información muy general de las condiciones, por lo cual el estudio realizado por Antoñanzas en su artículo “Diseño de sistema de climatización para piscina exterior mediante paneles solares térmicos” especifica y trabaja mejor algunas condiciones específicas del captador en condiciones generales del ambiente, sin embargo en su estudio no tiene en cuenta el ángulo óptimo de colocación del panel solar ni con respecto al ángulo azimutal del sol, ni con la orientación hacia el eje Este-Oeste, además que plantea este sistema como el único a trabajar en la piscina y no indica si la piscina ya contaba con algún otro sistema para trabajar paralelamente.

- Las energías alternativas son sistemas que llevan una amplia trayectoria y aún siguen solo raspando la superficie de sus posibilidades, por lo tanto el Club Campestre Monte Verde al tener una visión de un espacio ecológico y moderno debería plantear a futuro la implementación de estos sistemas para alimentar todo el complejo, pues su consumo en agua caliente y energía eléctrica es bastante elevado, pero así mismo tiene espacios y zonas tanto en las infraestructuras como en el mismo predio que se pueden prestar para un proyecto a macro escala para abastecerse al 100% con energía solar, y aunque los costos por estas nuevas adecuaciones puedan ser elevados, ya se demostró que la tasa de retorno puede ser muy corta y generar un ostensible ahorro económico.
- Tunja tiene un factor interesante en la radiación promedio para la implementación de los sistemas alternativos con el uso del sol, pues tiene picos elevados de radiación en determinados meses del año y de la misma forma picos muy bajos y de alta nubosidad, fuertes vientos y lluvias constantes, que hacen proyectar nuevas mejoras a sistemas que se puedan adaptar a estos cambios de radiación y se mantengan con una alta eficiencia durante todos los meses del año.
- En este tipo de sistemas los fabricantes al vender sus captadores generalizan las condiciones de todos los compradores, pues aunque propongan un sistema de cálculos para determinar la cantidad de paneles necesarios, están reduciendo en una medida considerable la completa eficiencia que puede generar el captador, al tener en cuenta factores más específicos en la disposición de radiación, orientación del captador y en los meses recomendados de uso, pues aunque es complicado poder instruir tan específicamente a cada uno de los compradores se podría optar por el uso de un Excel o software con interfaz sencilla con el cual poder hacer un análisis más profundo de las necesidades del usuario y asegurar el mayor rendimiento posible.
- En la industria existen muy pocos fabricantes que presten un servicio completo en la selección, cálculos de cantidad de captadores e instalación de los mismo, en el caso de Colombia solicitar este tipo de adaptaciones a un sistema de calentamiento ya existente es casi nula, y los fabricantes con plataformas y

disposición más profesional se encuentran en otros países como España, Ecuador y México, por lo que los pedidos son tardíos o muy impersonales.

- El caudal promedio de trabajo de la bomba resulta casi la mitad del caudal máximo descrito por la ficha técnica, ya que en los análisis térmicos se observó que emplear un caudal tan alto a través del calentador requería de una cantidad de calor mucho mayor a la suministrada por el mismo, además que el caudal indicado por la ecuación de Bresse en la bomba es perfecto para la cantidad que los captadores requieren.
- El ahorro analizado por el calentador solar es apenas una parte de todas las recomendaciones que nacen de esta investigación para la piscina del club Monte Verde, donde si se aplicaran de manera óptima y correcta la reducción en consumo económico sería verdaderamente significativo, sin embargo, demostrar la necesidad de manera formal de las otras recomendaciones propuestas requieren de un estudio adicional, pero se puede asegurar que si representarían una mejora significativa en el sistema.
- Al realizar un análisis superficial de las pérdidas en el sistema, se observó que las verdaderas y significativas pérdidas en forma de calor se encuentran en el vaso de la piscina como tal, tanto por convección, conducción, evaporación, etc. Por tal razón no se tuvieron en cuenta en el estudio del presente proyecto, pues al final del caso solo nos interesaba la temperatura puntual del agua en el instante antes y después del calentador.
- El análisis económico indica que el proyecto puede generar una tasa de retorno a un mediano plazo aceptable, además del cuidado ambiental tan significativo que ha de hacer, de igual forma se sigue reiterando sobre la consideración de las demás recomendaciones planteadas para seguir disminuyendo el consumo de gas y así minimizar aún más la tasa del retorno del proyecto.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- Alcalde, J. J. (2016). *Diseño de termosifones influencia de las propiedades termofísicas del fluido de trabajo*. País Vasco: UNIVERSIDAD DE LA RIOJA.
- Alicia. (25 de Abril de 2011). *Energías Renovables – La Energía Solar Fototérmica*. Obtenido de Energías Renovables – La Energía Solar Fototérmica: <https://ahorrodeenergiaeficaz.wordpress.com/2011/04/25/energias-renovables-la-energia-solar-fototermica/>
- Antoñanzas, J. C. (2019). *Diseño de sistema de climatización para piscina*. Zaragoza: Universidad Zaragoza.
- Arias, J. A. (2017). Análisis de la fitorremediación como estrategia biotecnológica de recuperación. En *Contaminación de suelos y aguas por hidrocarburos en Colombia* (Vol. 1, págs. 14-15). Yopal, Casanare, Colombia.: UNAD.
- Autosolar. (20 de Septiembre de 2016). *Qué orientación e inclinación han de tener los paneles solares en Colombia*. Obtenido de Qué orientación e inclinación han de tener los paneles solares en Colombia: <https://autosolar.co/paneles->

fotovoltaicos/que-orientacion-e-inclinacion-han-de-tener-los-paneles-solares-en-colombia

Caminos, J. A. (2010). *Estudio experimental de calentador solar de tubos de vacío con acumulador*. La Plata: Repositorio institucional de la UNLP.

Carbonell, M. (2022). *hogarsense*. Obtenido de hogarsense:  
<https://www.hogarsense.es/energia-solar/comparacion-tipos-captadores-solares#:~:text=%E2%9C%93%20Captador%20plano,la%20que%20pasa%20el%20glicol>.

Carvajal Paucar, A. P. (2021). Diseño y análisis de implementación de un sistema de calentamiento de agua por tubos de vacío con energía solar térmica para la piscina de 360 m<sup>3</sup> del Club Castillo de Amaguaña. *dspace*, 15-17.

Cengel, Y. A. (2019). *TERMODINAMICA*. Raleigh: Mcgraw-hill.

Claros, F. M. (1981). Colector Solar de Placa Plana . *DESARROLLO DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL*, 68.

Collado, C. Ñ. (2017). *Circuito abierto y cerrado sistema hidraulico*. Chile: CODELCO.

Constitucion Politica de Colombia. (14 de Julio de 2008). Ley 1209 de 2008 Nivel Nacional. Bogota, Cundinamarca, Colombia.

Cueto, A. (29 de Agosto de 2019). *Equipos para albercas: Lo que no puede faltar en tu piscina de ensueño*. Obtenido de superpools.mx:  
<https://www.superpools.mx/blogs/tips/equipos-para-albercas-lo-que-no-puede-faltar-en-tu-piscina#:~:text=Desnatador%3A%20Su%20funci%C3%B3n%20es%20absorber,por%20el%20sistema%20de%20filtrado>.

DARWIN SANTIAGO ALDÁS SALAZAR, A. D. (2009). *ESTUDIO TÉCNICO ECONÓMICO PARA LA*. riobamba: ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO .

Espitia, S. J. (2022). *Ley de enfriamiento de Newton* . Tunja: UPTC.

Gan, J. (2017). *SUPA (B) motor autocebante la monofásico de las bombas de circulación de la serie para la bomba de la piscina*. Obtenido de Automnsolar:  
<https://spanish.waterfountain-equipment.com/sale-10017393-self-priming-swimming-pool-pumps-corrosive-resistance-high-efficiency.html>

- Guartatanga, D. E. (2015). *DISEÑO, CONSTRUCCION, EMPLAZAMIENTO Y MONITOREO DE UN SISTEMA SOLAR PARA CALENTAMIENTO DE AGUA DE PISCINA*. CUENCA: UNIVERSIDAD POLITECNICA SALENCIANA.
- Hernández, A. (1 de Marzo de 2022). La energía solar y sus aplicaciones. Tunja, Boyaca, Colombia.
- Ideam. (2023). *Atlas de Radiación Solar, Ultravioleta y Ozono de Colombia*. Obtenido de Atlas: <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasRadiacion.html>
- John Calle, J. F. (10 de 2010). *Calentador solar de tubos de vacío*. Obtenido de ReserchGate: [https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-Calentador-solar-de-tubos-de-vacio\\_fig1\\_312144533](https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-Calentador-solar-de-tubos-de-vacio_fig1_312144533)
- Manuj, A. (ENERO de 2023). *Calentar agua de piscina con placas solares. Precios 2023*. Obtenido de Calentar agua de piscina con placas solares. Precios 2023: <https://reformacoruna.com/calentar-agua-piscina-con-placas-solares/#:~:text=Por%20ejemplo%3A,solares%20que%20vas%20a%20necesitar.>
- Martín, G. (3 de Noviembre de 2021). *Calor y Frio* . Obtenido de Calentadores de gas ¿Cómo funcionan y qué caudal necesitas?: <https://www.caloryfrio.com/calefaccion/agua-caliente/calentadores-de-gas-como-funcionan.html>
- pH, M. d. (19 de Noviembre de 2019). *Como afecta la temperatura en las mediciones de pH*. Obtenido de Como afecta la temperatura en las mediciones de pH: <https://medidordeph.com/blog/2019/11/como-afecta-la-temperatura-en-las-mediciones-de-ph/>
- Pons, R. (11 de Febrero de 2014). *Entendiendo el Azimut y la Elevación*. Obtenido de Entendiendo el Azimut y la Elevación: <https://www.photopills.com/es/articulos/entendiendo-el-azimut-la-elevacion>
- Power, N. (10 de Agosto de 2018). *Propano – Densidad – Capacidad calorífica – Conductividad térmica*. Obtenido de material-properties: <https://material-properties.org/es/propano-densidad-capacidad-calorifica-conductividad-termica/>
- Radiación solar: ¿cuál es su impacto sobre el planeta y el ser humano?* (2022). Obtenido de IBERDROLA: <https://www.iberdrola.com/compromiso-social/radiacion-solar>
- Rojas Escobar, G. (2022). *DISEÑO DE UN SISTEMA DE CALENTAMIENTO CON CALENTADORES SOLARES PARA LA PISCINA DEL CENTRO DE NEURO REHABILITACIÓN LUZ Y ESPERANZA*. *DDigital - UMSS*, 15-16.

- Rubio, L. Q. (18 de NOVIEMBRE de 2022). *EL TIEMPO*. Recuperado el 4 de DICIEMBRE de 2023, de <https://www.eltiempo.com/economia/empresas/ecopetrol-tiene-suficiente-gas-para-duplicar-las-reservas-de-colombia-718787>
- Saclima. (27 de Marzo de 2023). *Saclima Renovable*. Obtenido de Saclima Renovable: <https://www.saclima.com/>
- Sanitarios, D. S. (5 de Agosto de 2015). *Del Sur Sanitarios*. Obtenido de La importancia del color de la llama de Gas: <https://delsursanitarios.com.ar/cuidados-con-el-gas-y-el-color-de-la-llama/#:~:text=AMARILLO%3A%20indica%20una%20combusti%C3%B3n%20común,tambi%C3%A9n%20combusti%C3%B3n%20pobre%20en%20ox%C3%ADgeno.>
- Sistemas, L. (2023). *Tubo de vacío de flujo directo SP400/500*. Obtenido de Soluciones térmicas para el ahorro de energía: <https://www.lknsistemas.com/es/tubo-de-vacio-de-flujo-directo-sp400-500-kingspan-thermomax>
- Solar, O. (2019). *Colector solar de placa plana*. Obtenido de ONOSI SOLAR: [https://es.onosisolar.com/flat-plate-collector\\_46.html](https://es.onosisolar.com/flat-plate-collector_46.html)
- Spark, W. (8 de Marzo de 2023). *El clima y el tiempo promedio en todo el año en Tunja*. Obtenido de El clima y el tiempo promedio en todo el año en Tunja: <https://es.weatherspark.com/y/24312/Clima-promedio-en-Tunja-Colombia-durante-todo-el-a%C3%B1o>
- Tiempo, E. (27 de Marzo de 2023). *Radiacion solar en Tunja* . Obtenido de Radiacion solar en Tunja : <https://www.tutiempo.net/radiacion-solar/tunja.html>
- Trippi, R. D. (16 de Abril de 2020). *Aulafacil*. Obtenido de Angulo cenital y la elevación solar: <https://www.aulafacil.com/cursos/medio-ambiente/energia-solar-termica-1/angulo-cenital-y-la-elevacion-solar-l37810>
- UPME, I. (205). RELACIONES ASTRONÓMICAS SOL-TIERRA. En IDEAM, *Atlas de radiacion solar de Colombia* (págs. 120-125). Bogota: UPME.
- vicepresidencia tercera del gobierno de españa - ministerio para la transformación ecológica y el reto demográfico. (s.f.). *Energía*. Obtenido de Gases Licuados del Petróleo (GLP): <https://energia.gob.es/glp/Paginas/Index.aspx#:~:text=Poder%20calor%C3%ADfico,-Butano%20comercial%20el&text=es%3A%2011.867Kcal%20FKg.,es%3A%2012.052%20Kcal%20FKg.>

## **8. ANEXOS**

**A.1:** <https://spanish.waterfountain-equipment.com/sale-10017393-self-priming-swimming-pool-pumps-corrosive-resistance-high-efficiency.html>

**A.2:** [https://www.gpa.com.mx/informacion\\_tecnica/01\\_folletos/hayward/04\\_calentamiento\\_para\\_piscina/HAYWARD%20MANUAL%20DE%20INSTALACION%20Y%20SERVICIO%20CALENTADORES%20DE%20PISCINA%20Y%20SPA%20-%20SERIE%20UNIVERSAL.pdf](https://www.gpa.com.mx/informacion_tecnica/01_folletos/hayward/04_calentamiento_para_piscina/HAYWARD%20MANUAL%20DE%20INSTALACION%20Y%20SERVICIO%20CALENTADORES%20DE%20PISCINA%20Y%20SPA%20-%20SERIE%20UNIVERSAL.pdf)

**A.3:** <https://repositorio.sena.edu.co/handle/11404/4596>

**A.4:** [https://www.interempresas.net/FeriaVirtual/Catalogos\\_y\\_documentos/230051/manual\\_solar\\_junio\\_2009.pdf](https://www.interempresas.net/FeriaVirtual/Catalogos_y_documentos/230051/manual_solar_junio_2009.pdf)

**A.5:** <https://manualzz.com/doc/5508850/manual-t%C3%A9cnico-solapool>

