



Universidad
Nacional
de Loja

Universidad Nacional de Loja

**Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales No
Renovables**

Carrera de Ingeniería Electromecánica

**Diseño de un sistema híbrido de calentamiento de agua para la
piscina terapéutica del MIES – LOJA.**

Trabajo de Titulación previo a la
obtención del título de Ingeniero
Electromecánico.

AUTOR:

Christian Fernando Puma Pilamunga.

DIRECTOR:

Ing. Cristian Vinicio Ortega Reyes, Mg.Sc.

Loja – Ecuador

2022

Certificación

Loja, 09 de septiembre de 2022

Ing. Cristian Vinicio Ortega Reyes Mg. Sc.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

CERTIFICO:

Que he revisado y orientado todo el proceso de elaboración del Trabajo de Titulación denominado: **Diseño de un sistema híbrido de calentamiento de agua para la piscina terapéutica del MIES – LOJA**, previo a la obtención del título de **Ingeniero Electromecánico**, de la autoría del estudiante **Christian Fernando Puma Pilamunga**, con **cédula de identidad Nro. 1900764141**, una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos exigidos por la Universidad Nacional de Loja, para el efecto, autorizo la presentación del mismo para su respectiva sustentación y defensa.



Verificado digitalmente por:
**CRISTIAN
VINICIO ORTEGA
REYES**

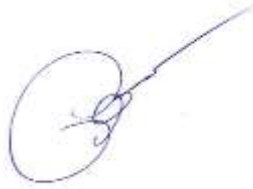
Ing. Cristian Vinicio Ortega Reyes Mg. Sc.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Autoría

Yo, **Christian Fernando Puma Pilamunga**, declaro ser autor del Trabajo de Titulación y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos de posibles reclamos y acciones legales, por el contenido del mismo. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja la publicación de mi Trabajo de Titulación, en el Repositorio Digital Institucional – Biblioteca Virtual.

Firma:



Cédula de identidad: 1900764141

Fecha: 28/11/2022

Correo electrónico: cfpumap@unl.edu.ec

Teléfono: 072-318338

Celular: 0996312388

Carta de autorización por parte del autor, para consulta, reproducción parcial o total y/o publicación electrónica de texto completo, del Trabajo de Titulación.

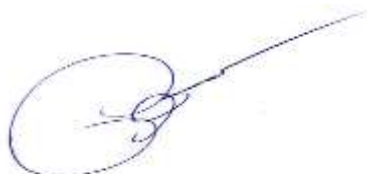
Yo, **Christian Fernando Puma Pilamunga**, declaro ser autor del Trabajo de Titulación denominado: **Diseño de un sistema híbrido de calentamiento de agua para la piscina terapéutica del MIES – LOJA**, como requisito para optar por el título de **Ingeniero Electromecánico**, autorizo al Sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que, con fines académicos, muestre la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido en el Repositorio Institucional.

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el Repositorio Institucional, en las redes de información del país y del exterior con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia del Trabajo de Titulación que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los veintiocho días del mes de noviembre del dos mil veintidós.

Firma:



Autor: Christian Fernando Puma Pilamunga.

Cédula de identidad: 1900764141

Dirección: Av. Del Ejército y Pasaje Miguel Cabrera (Zamora).

Teléfono: 072- 318338

Correo electrónico: cfpumap@unl.edu.ec

DATOS COMPLEMENTARIOS.

Director del Trabajo de titulación: Ing. Cristian Vinicio Ortega Reyes, Mg. Sc.

Dedicatoria

Dedico el presente trabajo al extraordinario esfuerzo de mis padres Manu y Martín, por haber dedicado gran parte de su vida para guiarme con el buen ejemplo, por su comprensión y apoyo en todo lo que me he propuesto.

A mis hermanos, Ana Lucía, Jimmy Francisco, Segundo Samuel y a mis amadas sobrinas Dayanna y Érika; por siempre brindarme su cariño, darme mucha confianza y nunca dejar de creer en mí.

A mis amigos, profesores, pues no me queda más que darles un sincero agradecimiento por las buenas formas que siempre han mostrado en cualquier situación y dudas que se han presentado en el lapso de la elaboración de la tesis; y a todos aquellos que contribuyeron con un grano de arena durante todas las etapas de mi formación académica.

Christian Fernando Puma Pilamunga.

Agradecimientos

Agradezco a la Universidad Nacional de Loja por todo el conocimiento impartido por parte de sus docentes. Por todas las experiencias y emociones que quedarán arraigadas en mí y por haberme permitido una formación profesional de calidad.

Al Ministerio de Inclusión Económica y Social-MIES, por haberme dado paso con una gran calidez hacia sus instalaciones y poder realizar las investigaciones correspondientes para la elaboración del Trabajo de Titulación.

Al Ing. Marco Rojas, quien fue pieza fundamental para el desarrollo y conclusión de mi proyecto de tesis.

Finalmente, agradezco infinitamente a mi director de tesis, Ing. Cristian Ortega, quien con paciencia y experiencia ha sabido enfocarme y darme las pautas necesarias para todas las incógnitas que se presentaron en algunos temas dentro de la formulación del Trabajo de Titulación.

Christian Fernando Puma Pilamunga

Índice de contenidos

Portada	i
Certificación	ii
Autoría	iii
Carta de autorización	iv
Dedicatoria	v
Agradecimiento	vi
Índice de contenidos	vii
Índice de Tablas.....	xiv
Índice de Figuras.....	xvi
Índice de Anexos.....	xviii
1 Título _____	1
2 Resumen _____	2
2.1 Abstract _____	4
3 Introducción _____	5
4 Marco teórico _____	8
4.1 Energía solar _____	8
4.1.1 Tipos de radiación solar _____	8
4.1.2 Dispositivos de medición _____	8
4.2 Transferencia de calor _____	9
4.2.1 Primera ley de la termodinámica _____	9
4.2.2 Mecanismos de transferencia del calor _____	9
4.2.3 Tipos de transferencia de calor _____	9
4.2.3.1 Conducción. _____	9
4.2.3.2 Radiación. _____	9
4.2.3.3 Convección. _____	10

4.3	Aprovechamiento de la energía solar captada	11
4.3.1	Transformación de la radiación solar en calor	11
4.4	Incidencia solar en el Ecuador	12
4.4.1	Atlas solar del Ecuador	12
4.4.2	Radiación solar sobre la ciudad de Loja	13
4.4.3	Unidades utilizadas en energía solar fotovoltaica	14
4.5	Sistemas de calentamiento solar de agua	14
4.5.1	Sistemas en función de la necesidad de temperatura	15
4.5.2	Partes de un sistema de calentamiento solar de agua	15
4.5.3	Sistemas para calentar el agua de una piscina	17
4.5.3.1	Calefacción de gas para piscinas	17
4.5.3.2	Calefacción con bomba de calor.	18
4.5.3.3	Calentador solar para piscinas.	18
4.5.4	Mantas térmicas	19
4.6	Colectores solares	19
4.6.1	Tipos de colectores solares	20
4.6.1.1	Colectores de placa plana con cubierta.	20
4.6.1.2	Colectores CPC estacionarios.	20
4.6.1.3	Colectores de placa plana sin cubierta.	20
4.6.1.4	Colectores de flujo de tubo de vacío.	21
4.6.2	Montaje de colectores solares	22
4.6.3	Termo - tanques eléctricos	23
4.6.4	Resistencias eléctricas comerciales para piscinas	24
4.7	Hidráulica	24
4.7.1	Bombas de circulación	24
4.7.2	Tuberías	25
4.7.3	Aislamiento en tuberías	26
4.7.4	Accesorios	26
4.8	Control y automatización	27
4.8.1	Sistemas de control centralizado	28
4.8.1.1	Sensores.	28
4.8.1.2	Electroválvulas.	28

4.9	Indicadores económicos de rentabilidad _____	29
4.9.1	VAN - El valor actual neto _____	29
4.9.2	TIR - La tasa interna de retorno _____	29
4.9.3	Relación B/C – Beneficio/Costo _____	30
5	Metodología _____	31
5.1	Área de estudio _____	31
5.2	Procedimiento _____	32
5.2.1	Objetivo específico 1 _____	32
5.2.2	Objetivo específico 2 _____	33
5.2.3	Objetivo específico 3 _____	34
5.3	Procesamiento y análisis de datos _____	35
5.3.1	Consumo energético real necesario para calentar la piscina terapéutica mediante calefones a gas _____	35
5.3.2	Parámetros de cálculo para la cinemática solar _____	36
5.3.2.1	Cálculo de la irradiancia solar sobre una superficie _____	36
5.3.2.2	Determinación de la declinación solar (δ) y energía incidente. _____	37
5.3.2.3	Ángulo horario de la salida del sol (W_s). _____	37
5.3.2.4	Determinación de la radiación solar extraterrestre sobre una superficie normal al sol (H_o). _____	37
5.3.2.5	Cálculo de la radiación diaria por unidad de área de una superficie horizontal (H'). _____	38
5.3.2.6	Cálculo de la radiación difusa diaria que cae sobre una superficie horizontal (H_d'). _____	38
5.3.2.7	Determinación de la radiación solar horaria por unidad de área que cae sobre una superficie horizontal (H). _____	38
5.3.2.8	Determinación de la radiación difusa horaria por unidad de área que cae sobre una superficie horizontal (H_d). _____	39
5.3.2.9	Determinación del valor del ángulo de incidencia horario de la radiación solar directa sobre el calentador solar (θ_t). _____	39
5.3.2.10	Determinación del ángulo cenital (θ_z). _____	39
5.3.2.11	Cálculo de la relación de la radiación solar directa sobre una superficie inclinada y la radiación solar directa sobre una superficie horizontal (R_b). _____	40
5.3.2.12	Determinación de los valores de la radiación solar horaria que cae sobre la superficie del equipo solar (H_t). _____	40
5.3.3	Pérdidas de calor en el vaso de la piscina _____	40

5.3.3.1 Pérdidas por conducción. _____	41
5.3.3.2 Pérdidas por radiación. _____	42
5.3.3.3 Pérdidas por evaporación. _____	42
5.3.3.4 Pérdidas por convección natural. _____	45
5.3.3.5 Pérdidas por renovación del agua de la piscina. _____	46
5.3.4 Pérdidas en el termo – tanque y eficiencia del sistema de colección _____	46
5.3.4.1 Cálculo del diámetro externo del tanque interno. _____	46
5.3.4.2 Altura o largo del tanque interno. _____	46
5.3.4.3 Cálculo del diámetro interno del tanque interno. _____	47
5.3.4.4 Pérdidas por conducción en el tanque colector. _____	47
5.3.4.5 Pérdidas por radiación en el tanque colector. _____	47
5.3.4.6 Eficiencia del colector solar de tubos de vacío. _____	48
5.3.5 Demandas energéticas _____	48
5.3.5.1 Número de colectores solares. _____	49
5.3.5.2 Energía necesaria en cada termo - tanque. _____	50
5.3.6 Arranque del sistema _____	50
5.3.6.1 Energía diaria solar captada en cada colector. _____	50
5.3.6.2 Caída de temperatura en la piscina. _____	51
5.3.6.3 Reposición por pérdidas de calor. _____	51
5.3.7 Demanda energética total _____	52
5.3.7.1 Pérdidas de calor mensuales. _____	52
5.3.7.2 Energía diaria para el arranque del sistema. _____	52
5.3.7.3 Porcentaje de aporte de energía solar. _____	53
5.3.8 Dimensionamiento hidráulico _____	53
5.3.8.1 Diámetro del sistema de tuberías. _____	54
5.3.8.2 Dimensionamiento de la bomba. _____	54
5.3.9 Monitoreo del sistema _____	56
5.3.10 Análisis económico del sistema _____	56
5.3.10.1 Costos por accesorios. _____	56
5.3.10.2 Costos por el sistema de calentamiento de agua. _____	56
5.3.10.3 Costos por mano de obra _____	56
5.3.10.4 Costos totales del proyecto. _____	56
5.3.10.5 Costos por consumo eléctrico. _____	57
5.3.10.6 Costos por consumo de energía de la bomba. _____	57

5.3.10.7 Costos por mantenimiento.	57
5.3.10.8 Costos por tratamiento químico con manta térmica.	57
5.3.10.9 Ahorro por aporte solar al sistema.	57
5.3.10.10 Rentabilidad del proyecto.	57
6 Resultados	59
6.1 Características principales del sistema de calentamiento actual de la piscina terapéutica del MIES-LOJA.	59
6.1.1 Características hidráulicas de la piscina	59
6.1.1.1 Piscina terapéutica.	59
6.1.1.2 Cuarto de máquinas.	60
6.1.1.3 Climatizado de la piscina terapéutica.	61
6.1.1.4 Características del sistema de calentamiento actual de la piscina terapéutica.	61
6.1.1.5 Sistema de recirculación	62
6.1.1.6 Tablero de control.	63
6.1.2 Consumo y costos por calentamiento de la piscina usando calefones a GLP	64
6.2 Cálculo de la cinemática solar	66
6.2.1 Declinación solar (δ)	66
6.2.2 Ángulo horario de la salida del sol (W_s)	66
6.2.3 Determinación de la radiación solar extraterrestre sobre una superficie normal al sol (H_o)	66
6.2.4 Cálculo de la radiación diaria por unidad de área de una superficie horizontal (H')	66
6.2.5 Cálculo de la radiación difusa diaria que cae sobre una superficie horizontal (H_d')	67
6.2.6 Determinación de la radiación solar horaria por unidad de área que cae sobre una superficie horizontal (H)	67
6.2.7 Determinación de la radiación difusa horaria por unidad de área que cae sobre una superficie horizontal (H_d)	68
6.2.8 Determinación del valor del ángulo de incidencia horaria de la radiación solar directa sobre el calentador solar (θ_t)	69
6.2.9 Determinación del ángulo cenital θ_z	69
6.2.10 Cálculo de la relación de la radiación solar directa sobre una superficie inclinada y la radiación solar directa sobre una superficie horizontal (R_b)	70
6.2.11 Determinación de los valores de la radiación solar horaria que cae sobre la superficie del equipo solar (H_t)	70
6.3 Cálculo de pérdidas de calor en la piscina	71

6.3.1	Cálculo de pérdidas por conducción _____	71
6.3.2	Cálculo de pérdidas por radiación _____	72
6.3.3	Cálculo de pérdidas por evaporación _____	73
6.3.4	Cálculo de pérdidas por renovación de agua _____	77
6.3.5	Calculo de pérdidas por convección natural sobre la superficie de la piscina _____	77
6.4	Cálculo de pérdidas en el tanque de almacenamiento y eficiencia del sistema colector solar __	79
6.4.1	Cálculo de dimensiones del tanque interno _____	80
6.4.2	Cálculo de pérdidas de calor en el termo – tanque _____	80
6.4.3	Cálculo de eficiencia en el sistema de captación solar _____	82
6.4.4	Sistema Auxiliar _____	82
6.5	Cálculo de demandas energéticas para el climatizado del agua de la piscina _____	83
6.5.1	Número de colectores solares _____	83
6.5.2	Cálculo de energía necesaria en cada termo-tanque _____	84
6.5.3	Arranque del sistema _____	84
6.5.3.1	Cálculo de la energía captada al final del día por cada colector. _____	84
6.5.3.2	Primera inyección de agua caliente hacia la piscina terapéutica. _____	85
6.5.4	Cálculo de la caída de temperatura en la piscina terapéutica _____	86
6.5.5	Reposición por pérdidas de calor en la piscina _____	86
6.5.6	Cálculo de necesidades energéticas totales _____	88
6.5.6.1	Pérdidas de calor mensuales del sistema. _____	89
6.5.6.2	Aporte solar al sistema. _____	91
6.6	Dimensionamiento hidráulico _____	93
6.6.1	Sistema de conducción _____	95
6.6.2	Cálculo del diámetro del sistema de tuberías _____	95
6.6.3	Dimensionamiento de la bomba _____	99
6.6.3.1	Cálculo de pérdidas primarias. _____	101
6.6.3.2	Curva característica de la instalación entre los puntos 1 y 2. _____	105
6.6.3.3	Curva de la bomba _____	108
6.6.3.4	Punto de funcionamiento. _____	109
6.7	Monitoreo del sistema _____	113
6.7.1	Datos técnicos del sistema de control _____	113
6.7.2	Esquemas de conexión de control. _____	113
6.7.2.1	Conexión entre la controladora y el termo – tanque. _____	113

6.7.2.2	Control de temperatura en la piscina. _____	114
6.7.2.3	Diagrama de fuerza de la bomba _____	116
6.7.2.4	Diagrama de control de la bomba. _____	118
6.8	Análisis de inversión del proyecto _____	119
6.8.1	Costos directos _____	119
6.8.1.1	Costos por el sistema de calentamiento de agua. _____	120
6.8.1.2	Costo de mano de obra. _____	120
6.8.2	Costos indirectos _____	120
6.8.3	Costos totales del proyecto _____	121
6.8.4	Costos de operación y mantenimiento del sistema _____	121
6.8.4.1	Costos por mantenimiento. _____	121
6.8.4.2	Costos por consumo de energía eléctrica (resistencias). _____	121
6.8.4.3	Costos por consumo de energía de la bomba. _____	122
6.8.4.4	Costos por tratamiento químico con manta térmica. _____	122
6.8.5	Evaluación del ahorro que representa la fracción solar. _____	123
6.8.6	Análisis financiero _____	124
7	Discusión _____	126
8	Conclusiones _____	129
9	Recomendaciones _____	130
10	Bibliografía _____	131
11	Anexos _____	136

Índice de Tablas:

Tabla 1. Resumen de emisividad de algunos materiales	10
Tabla 2. Valores del coeficiente de transferencia de calor por convección	11
Tabla 3. Zonas de irradiación solar del Ecuador	13
Tabla 4. Energía de irradiación media mensual	14
Tabla 5. Unidades usadas en energía solar.....	14
Tabla 6. Energía necesaria para calentar agua de acuerdo al volumen en kW / h.....	24
Tabla 7. Diámetros estándares de las tuberías	26
Tabla 8. Ecuaciones para convertir el día del mes en el número del día del año	37
Tabla 9. Resumen de las dimensiones del sector de estudio	60
Tabla 10. Valores de “K” y radiación solar horaria sobre una superficie horizontal.....	68
Tabla 11. Radiación difusa horaria por unidad de área.....	69
Tabla 12. Ángulo de incidencia horaria	69
Tabla 13. Ángulo cenital.....	70
Tabla 14. Valores de “Rb” para cada hora del día	70
Tabla 15. Radiación horaria que cae sobre la superficie del colector	71
Tabla 16. Resumen de pérdidas de calor totales en la piscina	79
Tabla 17. Condiciones generales de cálculo para las necesidades energéticas	88
Tabla 18. Pérdidas de calor en la piscina	89
Tabla 19. Valores de pérdidas de calor mensuales	90
Tabla 20. Demandas para el calentamiento de la piscina.....	90
Tabla 21. Irradiación global promedio mensual en Loja	91
Tabla 22. Irradiación diaria promedio por mes en Loja.....	92
Tabla 23. Aportes de energía solar - eléctrica.....	93
Tabla 24. Velocidades recomendadas para fluidos en tuberías.....	98
Tabla 25. Valores de los diámetros en cada tramo y determinación del diámetro comercial	99
Tabla 26. Valores recalculados de velocidades con el diámetro comercial	99
Tabla 27. Valores del número de reynolds en cada tramo	103
Tabla 28. Valores del coeficiente de pérdidas primarias en cada tramo	103
Tabla 29. Valores calculados de pérdidas primarias por tramo	104
Tabla 30. Valores de “K” y cantidad de accesorios en las tuberías	105
Tabla 31. Valores de la curva de instalación.....	107

Tabla 32. Valores para la ecuación de la curva de la bomba	109
Tabla 33. Valores para el punto de funcionamiento.....	110
Tabla 34. Costos de los accesorios en la parte hidráulica	119
Tabla 35. Costos por accesorios del sistema de colección solar	120
Tabla 36. Costos por construcción e implementación.....	120
Tabla 37. Resumen de costos directos	120
Tabla 38. Resumen de costos indirectos	121
Tabla 39. Costos anuales por tratamiento químico	123
Tabla 40. Resumen de costos por operatividad.....	123
Tabla 41. Determinación de rentabilidad del proyecto	125

Índice de Figuras:

Figura 1. Trayectoria de la tierra alrededor del sol.....	8
Figura 2. Instalación de energía solar térmica.....	12
Figura 3. Radiación global anual en el Ecuador.....	13
Figura 4. Funcionamiento de un sistema de circulación forzada.....	15
Figura 5. Efecto termosifón en captadores solares.....	16
Figura 6. Sistema auxiliar de calentamiento de agua.....	17
Figura 7. Calentador de agua sanitaria mediante gas.....	18
Figura 8. Bomba de calor.....	18
Figura 9. Calentador de piscina con tubos de polipropileno.....	19
Figura 10. Colector de placa plana con cubierta.....	20
Figura 11. Colector solar tipo CPC estacionario.....	20
Figura 12. Colector de placa plana sin cubierta.....	21
Figura 13. Colector solar de tubos de vacío de flujo directo.....	22
Figura 14. Colector solar de tubos de vacío sistema heat – pipe.....	22
Figura 15. Ajuste mínimo en instalaciones de colectores.....	23
Figura 16. Componentes de un termo - tanque eléctrico.....	23
Figura 17. Modelo de una bomba centrífuga.....	25
Figura 18. Esquema de funcionamiento de un controlador inteligente de procesos.....	28
Figura 19. Sensores de humedad, temperatura y barométrico.....	28
Figura 20. Modelo de electroválvula.....	29
Figura 21. Instalaciones del MIES - Loja.....	31
Figura 22. Ángulos formados por el sol con la horizontal.....	36
Figura 23. Radiación directa en superficies horizontal e inclinada.....	40
Figura 24. Representación de pérdidas de calor en una piscina.....	41
Figura 25. Promedio de temperatura mensual en la ciudad de Loja.....	52
Figura 26. Edificio del MIES en el que se encuentra la piscina terapéutica.....	59
Figura 27. Dimensiones de la piscina terapéutica del MIES- Loja.....	60
Figura 28. Cuarto de máquinas.....	61
Figura 29. Diagrama de componentes del sistema de calentamiento de agua actual de la piscina terapéutica.....	61
Figura 30. Calefones del sistema actual para el calentamiento del agua de la piscina terapéutica.....	62

Figura 31. Bomba de circulación EMAUX modelo SB30.....	62
Figura 32. Circulación del agua fría y agua caliente.....	63
Figura 33. Tablero de control del cuarto de máquinas.....	63
Figura 34. Datos técnicos del sistema de captación solar y reserva de agua	79
Figura 35. Representación de pérdidas de calor en la piscina en porcentajes.....	89
Figura 36. Representación del aporte mensual energético del sistema solar y eléctrico.. ..	93
Figura 37. Esquema de tuberías y accesorios del sistema de recirculación entre la piscina y termo - tanques.. ..	94
Figura 38. Sistema de distribución de tuberías de impulsión y retorno.. ..	95
Figura 39. Caudales aproximados de distribución en cada tramo.....	97
Figura 40. Representación entre puntos para la aplicación de Bernoulli.....	100
Figura 41. Representación de las longitudes de tuberías en cada tramo.....	102
Figura 42. Curva de instalación del sistema.. ..	108
Figura 43. Relación entre el caudal y la altura dinámica total para la selección de la bomba.....	108
Figura 44. Ecuación de la curva de la bomba representada en Excel.. ..	109
Figura 45. Punto de funcionamiento de la bomba.	111
Figura 46. Rendimiento de la bomba.....	111
Figura 47. Potencia de la bomba y NPSHr.. ..	112
Figura 48. Controladora TK-8a de nivel y temperatura de agua del termo - tanque.	113
Figura 49. Esquema de conexión entre la controladora, el sistema de colección solar y la bomba.....	113
Figura 50. Esquema de conexión entre la controladora TK-8a y el termo - tanque.....	114
Figura 51. Esquema del tablero general de control.....	114
Figura 52. Conexión para el control de temperatura en la piscina terapéutica.. ..	115
Figura 53. Diagrama de conexión de fuerza de la bomba.....	117
Figura 54. Diagrama de conexión de control de la bomba.. ..	118

Índice de Anexos:

Anexo 1. Oficio de aprobación del proyecto de tesis y designación del tutor de tesis.	136
Anexo 2. Encuesta realizada al personal encargado del mantenimiento de las instalaciones del MIES - Loja.....	137
Anexo 3. Determinación promedio de temperatura de ambiente y agua de red.	138
Anexo 4. Factores de conversión de unidades de volumen.	145
Anexo 5. Equivalencia en BEP de algunas unidades utilizadas en OLADE.	145
Anexo 6. Densidades de referencia.....	146
Anexo 7. Áreas en contacto con el agua representado en el software AutoCAD.....	146
Anexo 8. Propiedades de la presión del aire a 1 atm.	150
Anexo 9. Propiedades del agua saturada.	151
Anexo 10. Características de la bomba seleccionada.	152
Anexo 11. Proforma de la bomba seleccionada.....	153
Anexo 12. Proforma de costos del sistema de tubos de vacío y termo - tanques.	154
Anexo 13. Proforma por instalación del sistema hidráulico.	155
Anexo 14. Proforma por instalación eléctrica y mantenimiento general del sistema.	156
Anexo 15. Guía de configuración de la controladora TK -8A.....	157
Anexo 16. Selección de elementos de protección del motor.	160
Anexo 17. Características de resistencia eléctrica.	163
Anexo 18. Certificado de traducción del resumen.....	164
Anexo 19. Archivos Excel.....	165

1 Título

**Diseño de un sistema híbrido de calentamiento de agua para la piscina
terapéutica del MIES - LOJA.**

2 Resumen

El presente proyecto plantea un mejoramiento en el diseño de los sistemas de calentamiento del agua de la piscina terapéutica del Ministerio de Inclusión Económica y Social- (MIES), de la ciudad de Loja; considerando que el uso de la piscina es imprescindible para pacientes que tienen problemas de motricidad. Se plantea como objetivo general elaborar una propuesta alternativa para el calentamiento de la piscina terapéutica del MIES, mediante calentadores híbridos solar – electricidad. Para el cumplimiento del primer objetivo, se identificó en primera instancia los componentes y sistemas electromecánicos para el climatizado de la piscina, se analizó el sistema de calentamiento por calefones a gas, además; se realizó una encuesta al personal encargado del mantenimiento de las instalaciones. En lo que respecta al cumplimiento del segundo objetivo, se revisó los temas y conceptos referentes al proyecto de estudio, de esta manera se obtuvo información relevante para la aplicación de conceptos dentro del diseño de los diferentes sistemas. En el diseño, se determinó la potencia solar en el sector mediante la metodología de cálculo de Duffie y Beckman; para el dimensionamiento hidráulico se acoplaron los parámetros de diseño propuestos por el autor, se determinó las pérdidas hidráulicas, tiempo y caudal requerido y sistema de distribución del fluido. Para el monitoreo del sistema de acumulación – captación solar y la piscina terapéutica se propuso el uso de controladoras digitales para el control de temperatura y nivel de agua. El tercer objetivo hace referencia al análisis de beneficios en comparativa con los costos que se tendrían que considerar para la implementación de este proyecto, se analizó el consumo energético, costes por adquisición de componentes y materiales, y; costos por mantenimiento; a partir de estos valores se determinó la rentabilidad que genera la nueva propuesta de diseño. Como se evidencia en los resultados, las condiciones de radiación solar en la ciudad de Loja, son favorables para suplir en gran parte la energía requerida para el calentamiento de agua de la piscina mediante energía solar, cabe recalcar que los sistemas de colección solar cuentan con un acumulador (termo – tanque) de agua y con una resistencia eléctrica que servirá como sistema de apoyo energético, de tal manera que, los calentadores híbridos demuestran ser una vía alterna para proyectos de esta índole, debido a su alta eficiencia y su amigable relación con el medio ambiente. Por otra parte, este tipo de proyectos forman parte del cambio de matriz energética que va al alza en toda la industria mundial.

Palabras claves: Energía renovable, Colectores de tubos de vacío, Sistema híbrido, Calentamiento de agua, Piscina terapéutica.

2.1 Abstract

This project proposes an improvement in the design of the water heating systems of the therapeutic pool of the Ministry of Economic and Social Inclusion- (MIES), in the city of Loja, considering that the use of the pool is essential for patients with motor problems. The general objective is to elaborate an alternative proposal for the heating of the therapeutic pool of the MIES, employing hybrid solar-electric heaters. In order to fulfill the first objective, the electromechanical components and systems for the heating of the pool were first identified, the gas heater heating system was analyzed, and a survey was made to the personnel in charge of the maintenance of the facilities. Regarding the fulfillment of the second objective, the topics and concepts related to the study project were reviewed, thus obtaining relevant information for the application of concepts within the design of the different systems. In the design, the solar power in the sector was determined using the Duffie and Beckman calculation methodology; for the hydraulic sizing, the design parameters proposed by the author were coupled, the hydraulic losses, time, and required flow were determined; and the fluid distribution system. For the monitoring of the accumulation system - solar collection and the therapeutic pool, was proposed the use of digital controllers for temperature and water level control. The third objective refers to the analysis of benefits in comparison with the costs that would have to be considered for the implementation of this project, the energy consumption, costs for the acquisition of components and materials, and maintenance costs were analyzed; from these values, the profitability generated by the new design proposal was determined. As evidenced in the results, the solar radiation conditions in the city of Loja are favorable to supply most of the energy required to heat the pool water through solar energy. It should be noted that the solar collection systems have a water accumulator (thermo-tank) and an electrical resistance that will serve as an energy support system, so the hybrid heaters prove to be an alternative way for projects of this nature, due to their high efficiency and its friendly relationship with the environment. Moreover, this type of project is part of the energy matrix change that is on the rise throughout the global industry.

Keywords: *Renewable energy, Evacuated tube collectors, Hybrid system, Water heating, Therapeutic pool.*

3 Introducción

El creciente interés que existe a nivel mundial por el uso de las energías renovables ha llegado a tener una amplia motivación para su estudio e investigación, tratando así de obtener nuevas formas para aprovechar este tipo de recursos inagotables.

En la provincia de Loja, cantón Loja, sector “La Tebaida”, Latitud $4^{\circ} 01' 07.6''$ S, Longitud $79^{\circ} 12' 13.4''$ O, se encuentra ubicado el Ministerio de Inclusión Económica y Social – MIES. Este último, cuenta con una piscina de uso terapéutico en interiores, puesto a que está construida dentro del edificio de rehabilitación cuyo material de sus paredes y techo es de concreto. La piscina terapéutica cuenta con una capacidad efectiva de 30.5 m^3 de agua, la cual está destinada para realizar en ella actividades de rehabilitación y recreación, su estado actual es obsoleto. Anteriormente la piscina era calentada por calefones a Gas Licuado de Petróleo – GLP y se usaba dos días por semana, la temperatura óptima recomendada para realizar actividades de rehabilitación es 28°C . El gran impacto ambiental que genera el usar hidrocarburos en todos los sectores industriales para la obtención de energía nos lleva al estudio y la implementación de sistemas alternos que suplan a estas fuentes de energía no amigables con el medio ambiente.

El idear un proyecto en el cual se pueda impulsar un servicio aprovechando fuentes de energía verde genera beneficios directos a la institución la cual mediante sus objetivos plantea la eficiencia institucional y mejorar la calidad de los servicios de inclusión social para los grupos de personas con mayor vulnerabilidad, además, reducir la emisión de CO_2 y el gasto por consumo de combustibles fósiles mediante la sustitución del sistema de calentamiento actual por un sistema híbrido solar – eléctrico.

El presente trabajo presenta en primera instancia la revisión de la literatura con enfoque en eficiencia energética, aprovechamiento de la energía solar, radiación solar en el Ecuador, tipos de colectores solares, sistema hidráulico, control automático e indicadores económicos.

Seguidamente, se presenta la metodología realizada para el desarrollo y cumplimiento de cada objetivo, tanto el general como los específicos. Aquí, se observan las ecuaciones utilizadas para el cálculo de la potencia solar, hidráulica, balance energético y rentabilidad del proyecto.

Posteriormente, este apartado presenta el diseño de la propuesta del sistema híbrido para el calentamiento del agua de la piscina terapéutica, considerando variables como aporte solar, condiciones de confort, análisis energético, eficiencia del sistema híbrido, diseño hidráulico y control automático del sistema.

Finalmente, se presenta a detalle los datos por costos de adquisición, instalación y mantenimiento que plantea el sistema alternativo híbrido, a su vez, mediante indicadores económicos permite conocer la rentabilidad financiera de la nueva propuesta de proyecto.

El trabajo de investigación guarda cierta relación con artículos y tesis que han estudiado algunos puntos referenciados en el mismo, entre ellos tenemos el trabajo de tesis titulado “Cálculo y diseño de un sistema solar de calentamiento de agua para piscinas de quintas vacacionales de la zona sur oriental de la ciudad de Loja” en dicha investigación describe el diseño de un sistema solar de calentamiento de agua para piscinas que tiene como finalidad reemplazar la energía convencional por energía alternativa (Vega, 2010). Según (Jumbo, 2014), en su proyecto de investigación titulado “Diseño de un sistema híbrido de calentamiento de agua por energía solar y vapor para el hospital Isidro Ayora de la ciudad de Loja” plantea el uso de la energía solar para la producción de agua caliente con la ayuda de vapor producido mediante calderas para obtención de aporte energético al consumo diario del hospital regional Isidro Ayora.

La investigación y estructuración del problema parte de la necesidad de una propuesta alternativa para el calentamiento del agua de la piscina terapéutica del MIES mediante calentadores híbridos solar – eléctrico. Normalmente el calentamiento de la mayoría de las piscinas es gracias al consumo de GLP.

Por otra parte, en lo que refiere a la Ley Orgánica de Eficiencia Energética del Ecuador resalta que el artículo 14 y 15 respectivamente de la Constitución de la República del Ecuador reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano, además, corresponde al estado promover en el sector público y privado el uso de tecnologías ambientalmente limpias y de energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto (del Pozo Barrezueta, 2019). En el año 2020, Ecuador redujo sus emisiones de CO₂ un 16.82% respecto a 2019, en el año 2020 las emisiones fueron de 33.27 Mt ubicándolo en el puesto número 116 en el ranking de países por emisiones de CO₂ considerando que esta lista la forman 184 países ordenándolos de menores a mayores contaminantes (Expansión, 2020). El enfoque de este trabajo es considerar la energía

solar como fuente principal de recurso tomando en cuenta los beneficios a obtener, de la misma forma cabe recalcar que la importancia de la activación de estos espacios es indispensable para el desarrollo de las actividades de hidroterapia debido a que sirve para los tratamientos de varias enfermedades, lesiones y problemas de motricidad (Cúidate Plus, 2017).

Objetivo General:

- Elaborar una propuesta alternativa para el calentamiento de la piscina terapéutica del MIES, mediante calentadores híbridos solar – electricidad.

Objetivos Específicos:

- Realizar un levantamiento de las instalaciones electromecánicas de la piscina terapéutica del MIES.
- Diseñar el sistema de calentamiento de la piscina terapéutica del MIES con base a energía solar – electricidad.
- Realizar un análisis de inversión del proyecto.

4 Marco teórico

4.1 Energía solar

El sol, de forma directa o indirecta, es el origen de todas las energías renovables, exceptuando la energía mareomotriz y la geotérmica. La energía del sol se desplaza a través del espacio en forma de radiación electromagnética, llegando una parte de esta energía a la atmósfera. De esta energía que llega a la atmósfera, una parte es absorbida por la atmósfera y por el suelo, y otra parte es reflejada directamente al espacio desde el suelo. Es por esto por lo que menos de la mitad de la radiación solar llega efectivamente a la superficie terrestre, siendo esta parte la que podemos utilizar con fines energéticos en nuestro planeta (Schallenberg et al., 2008).

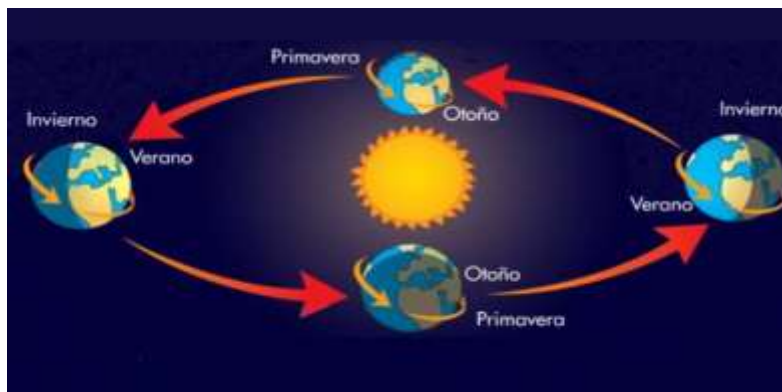


Figura 1. Trayectoria de la tierra alrededor del sol (El Universal UNO TV, 2020).

4.1.1 Tipos de radiación solar

- **Radiación directa:** es la radiación que nos llega directamente del sol, sin haber incidido con nada por el camino y, por tanto, sin haberse desviado ni cambiado de dirección.
- **Radiación difusa:** es la radiación que nos llega después de haber incidido con cualquier elemento de la atmósfera, por lo que ha cambiado de dirección.
- **Radiación reflejada:** es la radiación reflejada por la superficie terrestre, cobra importancia en las zonas con nieve, con agua o cualquier otra zona donde la reflexión sea importante.
- **Radiación global:** es la suma de la radiación directa y la radiación difusa.

4.1.2 Dispositivos de medición

Para medir la radiación solar que llega a la superficie terrestre se utilizan los siguientes instrumentos:

- **Piranómetro:** que mide la radiación global o la difusa, según se le ponga un anillo de sombra.
- **Pirheliómetro:** que mide la radiación directa.
- **Pirgeómetro:** que mide la radiación reflejada (Schallenberg et al., 2008).

4.2 Transferencia de calor

4.2.1 Primera ley de la termodinámica

La primera ley de la termodinámica, también conocida como principio de conservación de la energía, expresa que, en el curso de un proceso, la energía no se puede crear ni destruir, solo puede cambiar de las formas. Por lo tanto, toda pequeña cantidad de energía debe tomarse en cuenta en el curso de un proceso. El principio de conservación de la energía para cualquier sistema que pasa por cualquier proceso se puede expresar como sigue: *El cambio neto en la energía total de un sistema en el curso de un proceso es igual a la diferencia entre la energía total que entra y la energía total que sale en el desarrollo de este proceso* (Cengel & Ghajar, 2011).

$$\left(\begin{array}{c} \text{Energía total que entra} \\ \text{en el sistema} \end{array} \right) - \left(\begin{array}{c} \text{Energía total que} \\ \text{sale del sistema} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{c} \text{Cambio en la energía} \\ \text{total del sistema} \end{array} \right)$$

4.2.2 Mecanismos de transferencia del calor

El calor es una forma de energía que se puede transferir de un sistema a otro, como resultado de la diferencia de temperatura. Un análisis termodinámico se interesa en la cantidad de transferencia de calor conforme un sistema pasa por un proceso, de un estado de equilibrio a otro.

4.2.3 Tipos de transferencia de calor

Todos los modos de transferencia de calor requieren la existencia de una diferencia de temperatura y todos ellos ocurren del medio que posee la temperatura más elevada hacia uno de temperatura más baja.

4.2.3.1 Conducción. La conducción es la transferencia de energía de las partículas más energéticas de una sustancia hacia las adyacentes menos energéticas, como resultado de interacciones entre esas partículas. La conducción puede tener lugar en los sólidos, líquidos o gases.

$$\dot{Q}_{\text{cond}} = -kA \frac{dT}{dx} \quad [W]$$

4.2.3.2 Radiación. La radiación es la energía emitida por la materia en forma de ondas electromagnéticas como resultado de los cambios en las configuraciones electrónicas de los

átomos o moléculas. A diferencia de la conducción y la convección, la transferencia de calor por radiación no requiere la presencia de un medio interventor. De hecho, la transferencia de calor por radiación es la más rápida y no sufre atenuación en un vacío. Ésta es la manera en que energía del sol llega a la tierra. En los estudios de transferencia de calor es de interés la radiación térmica, que es la forma de radiación emitida por los cuerpos debido a su temperatura.

$$Q_{\text{rad}} = \varepsilon\sigma A_s(T_s^4 - T_{\text{alred.}}^4) \quad [\text{W}]$$

En la **Tabla 1**, se puede observar algunos rangos de emisividad en algunos materiales, sin embargo, la radiación suele considerarse como un fenómeno superficial para los sólidos que son opacos a la radiación térmica, como los metales, la madera y las rocas, ya que las radiaciones emitidas por las regiones interiores de un material de ese tipo nunca pueden llegar a la superficie, y la radiación incidente sobre esos cuerpos suele absorberse en unas cuantas micras hacia adentro de dichos sólidos (Cengel & Ghajar, 2011).

Tabla 1
Resumen de emisividad de algunos materiales

Material	Emisividad
Hoja de aluminio	0.07
Aluminio anodizado	0.82
Cobre pulido	0.03
Oro pulido	0.03
Plata pulida	0.02
Acero inoxidable pulido	0.17
Pintura negra	0.98
Pintura blanca	0.90
Papel blanco	0.92-0.97
Pavimento de asfalto	0.85-0.93
Ladrillo rojo	0.93-0.96
Piel humana	0.95
Madera	0.82-0.92
Suelo	0.93-0.96
Agua	0.96
Vegetación	0.92-0.96

Fuente: (Cengel & Ghajar, 2011).

4.2.3.3 Convección. La convección es el modo de transferencia de energía entre una superficie sólida y el líquido o gas adyacente que está en movimiento y comprende los efectos combinados de la conducción y el movimiento de fluidos. Entre más rápido es el movimiento de un fluido, mayor es la transferencia de calor por convección. En ausencia de cualquier movimiento masivo de fluido, la transferencia de calor entre una superficie sólida y el fluido adyacente es por

conducción pura. Las presencias de movimiento masivo del fluido acrecientan la transferencia de calor entre la superficie sólida y el fluido, pero también complica la determinación de las razones de esta transferencia.

$$\dot{Q}_{\text{conv}} = h A_s (T_s - T_\infty) \quad [\text{W}]$$

Como contraste, se dice que es convección natural si el movimiento del fluido es causado por las fuerzas de empuje que son inducidas por las diferencias de densidad debidas a la variación de la temperatura en ese fluido. A continuación, en la **Tabla 2** se presentan valores de transferencia de calor (Cengel & Ghajar, 2011).

Tabla 2

Valores del coeficiente de transferencia de calor por convección.

Tipo de convección	h, W/m².°C
Convección libre de gases.	2-5
Convección libre de líquidos.	10-1000
Convección forzada de gases.	25-250
Convección forzada de líquidos.	50-20000
Ebullición y condensación.	2500-100000

Fuente: (Cengel & Ghajar, 2011).

4.3 Aprovechamiento de la energía solar captada

La energía solar es la energía obtenida directamente del sol, aparte de usarla como fuente de iluminación, la radiación solar que incide en la tierra y puede aprovecharse en forma de calor.

4.3.1 Transformación de la radiación solar en calor

Consiste en transformar la radiación solar en calor, que puede aprovecharse para producir agua caliente destinada al consumo doméstico. El calor también puede utilizarse para producir energía mecánica mediante un ciclo termodinámico y a través de un alternador, generar energía eléctrica: es la denominada energía solar termoeléctrica, tal como se muestra en la **Figura 2** (Martínez, 2010).



Figura 2. Instalación de energía solar térmica (Martínez, 2010).

4.4 Incidencia solar en el Ecuador

El Ecuador se encuentra en el noroeste de América del sur, delimitado por Colombia al norte y por el Perú al sur y al este. Al estar ubicado en la línea Equinoccial, la posición del sol varía muy poco y el día con luz solar empieza a las 06H00 finalizando a las 18H00, esto durante todo el año. Las estaciones climáticas son dos periodos caracterizados por su pluviosidad, siendo diferentes para las cuatro regiones: Litoral, Andina, Amazónica e Insular (MIDUVI, 2020).

4.4.1 Atlas solar del Ecuador

La información base que se utilizó para el desarrollo del Atlas Solar del Ecuador con fines de generación eléctrica, fue generada por el Nacional Renewable Energy Laboratory - (NREL) de los Estados Unidos, cuyas acciones están orientadas a la investigación y desarrollo de energías renovables y eficiencia energética. El NREL publica en forma periódica, los valores de insolación promedio, para una locación dada usando colectores fijos con cinco ángulos de inclinación: horizontal: (0°), latitud del lugar menos 15°, latitud, latitud más 15°, y vertical (90°). Estos datos son complementados con mediciones tomadas usando superficies colectoras móviles, las que son montadas en aparatos que, automáticamente, siguen la trayectoria del sol. La información disponible corresponde al periodo entre el 1 de enero de 1985 y el 31 de diciembre de 1991, y fue publicado en julio del 2006. Los datos representan la energía solar promedio mensual y anual de los valores diarios de la insolación total e insolación global sobre una superficie horizontal y contiene los promedios mensuales de cada una de ellas, expresados en Wh/m²/día (véase **Figura 3**) (CONELEC, 2008).

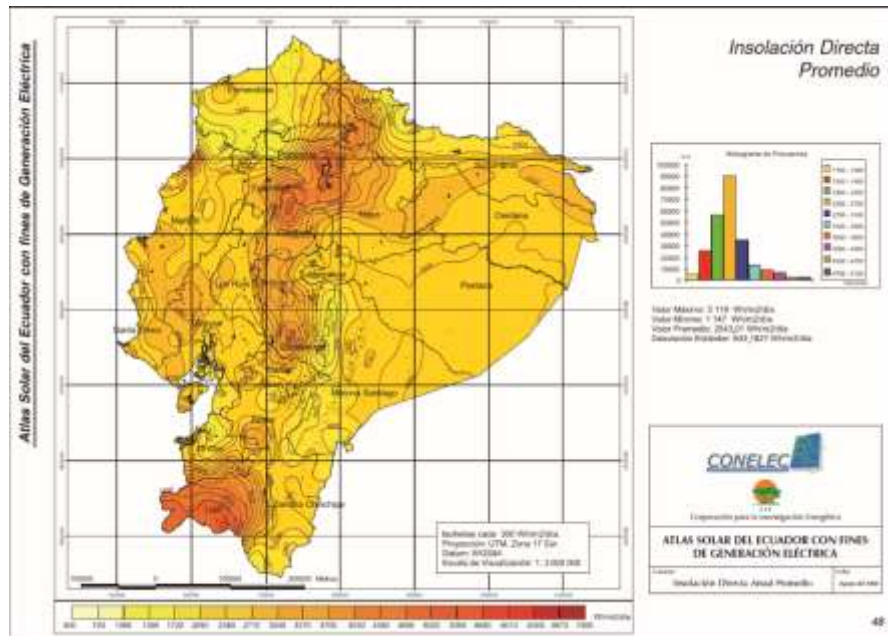


Figura 3. Radiación global anual en el Ecuador (CONELEC, 2008).

Gracias a este mapa solar se ha establecido un resumen anual en la **Tabla 3** con la insolación global promedio anual agrupada en 5 zonas de I a V en Wh/m² al día.

Tabla 3

Zonas de irradiación solar del Ecuador.

Zonas	Wh/m ² día al día
Zona I	3500 a 4050
Zona II	4050 a 4350
Zona III	4350 a 4800
Zona IV	4800 a 5250
Zona V	5250 a 5700

Fuente: (Jumbo, 2014).

4.4.2 Radiación solar sobre la ciudad de Loja

La ciudad de Loja cuenta con una buena radiación ya que está ubicada dentro de la zona III. A continuación, se presentan los valores en la **Tabla 4**.

Tabla 4*Energía de irradiación media mensual.*

Mes	MJ/m ²
Enero	14.6
Febrero	15.2
Marzo	15
Abril	14.6
Mayo	15.4
Junio	13.9
Julio	15.3
Agosto	15.6
Septiembre	15.7
Octubre	16.9
Noviembre	17.6
Diciembre	16.6
Promedio	15.15

Fuente: (Jumbo, 2014).

4.4.3 Unidades utilizadas en energía solar fotovoltaica

La insolación, la potencia solar, así como muchas otras variables pueden medirse en diversos tipos de unidades. En la **Tabla 5** se da una visión general de las diferentes unidades comúnmente utilizadas y se dan sus factores de conversión (CONELEC, 2008).

Tabla 5*Unidades usadas en energía solar.*

Unidad	Explicación	Conversión
Potencia Solar		
Wp	Vatio pico	-
W	Vatio	-
kW	Kilovatio (1000W)	-
W/m ²	Vatio por metro cuadrado	
Energía solar		A kWh/m ²
kWh/m ²	kWh por metro cuadrado	1
kJ/cm ²	kJ por centímetro cuadrado	2.778
MJ/m ²	MJ por metro cuadrado	0.2778
kcal/cm ²	1000 calorías por centímetro cuadrado	11.67
BTU/pie ²	Unidades térmicas británicas por pie cuadrado	0.0428
Langley	Caloría por centímetro cuadrado	0.0116

Fuente: (CONELEC, 2008).

4.5 Sistemas de calentamiento solar de agua

Un sistema de calentamiento solar de agua, utiliza la energía solar captada para transferirla a un fluido de trabajo con el objetivo de transmitirla al agua de utilización. Se caracterizan por la forma de consumo de agua siendo:

- **Sistema puntual:** es cuando el consumo de agua caliente es en determinadas horas, bien podría ser en la mañana o tarde.
- **Sistema continuo:** se refiere a consumos incesantes a cualquier hora del día, estos casos se dan más en edificios de uso público. Tiene una mayor eficiencia y un costo menor por su baja acumulación y la temperatura del agua almacenada es menor, por lo que las pérdidas de calor se reducen notablemente (Jumbo, 2014).

4.5.1 *Sistemas en función de la necesidad de temperatura*

La energía solar térmica se utiliza principalmente para calentar fluidos, normalmente agua. Dependiendo de la temperatura final alcanzada por el fluido a la salida, las instalaciones se dividen en:

- **Baja temperatura:** son las más extendidas y se destinan a aquellas aplicaciones que no exigen temperaturas del agua superiores a los 90°C, como, por ejemplo, calefacción de viviendas, calentamiento de agua para piscinas, etc. (Schallenberg et al., 2008).
- **Media temperatura:** destinada a aquellas aplicaciones que exigen temperaturas del agua comprendidas entre 90°C y 250°C, como, por ejemplo, el calentamiento de fluidos para procesos industriales (Schallenberg et al., 2008).
- **Alta temperatura:** destinada a aquellas aplicaciones que requieran temperaturas del agua superiores a los 250°C, como es el caso de la generación de vapor para para la producción de electricidad (Schallenberg et al., 2008).

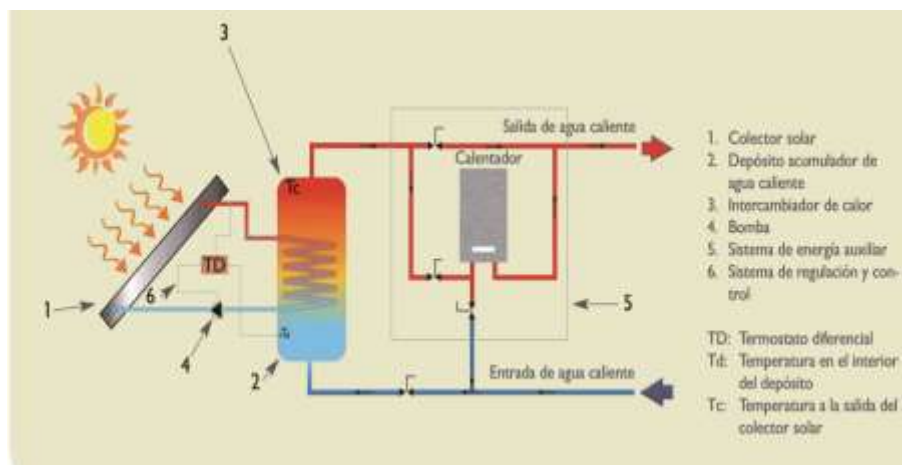


Figura 4. Funcionamiento de un sistema de circulación forzada (Schallenberg et al., 2008).

4.5.2 *Partes de un sistema de calentamiento solar de agua*

Un sistema de calentamiento de agua por energía solar está formado por:

➤ **Sistema de captación**

Está formado por captadores solares conectados entre sí, cuya función es exponerse a la radiación solar, captarla y mediante un proceso transformar esa energía en calor, aumentando la temperatura del fluido que circula por la instalación (**Figura 5**). Para las aplicaciones de calentamiento de agua de piscinas se pueden emplear los captadores no vidriados. Estos están formados por una gran cantidad de pequeños tubos de metal o de plástico dispuestos en serpentín por los que circula el agua. No necesitan caja, ni cubierta de cristal, por esta razón el aumento de temperatura es bajo, alrededor de 30 °C (Criollo & Pogo, 2011).

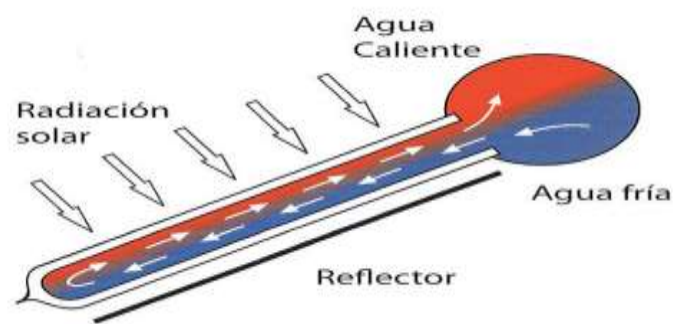


Figura 5. Efecto termosifón en captadores solares (Efiteks, 2013).

➤ **Sistema de acumulación**

Consiste en almacenar la energía térmica en un depósito de acumulación para su posterior utilización. En aplicaciones de ACS o calefacción la demanda no siempre coincide con el momento en el que hay suficiente radiación, por tanto, si se quiere aprovechar al máximo las horas del Sol por lo que será necesario acumular la energía para luego utilizarla cuando se produzca la demanda. El sistema de acumulación está formado por uno o más depósitos de agua caliente.

➤ **Sistema de distribución**

En este sistema se engloban todos los elementos destinados a la distribución y acondicionamiento para el consumo como: control, tuberías, juntas de expansión, bombas, purgadores, válvulas, etc. También forma parte de este la distribución de un sistema auxiliar basado en energías convencionales.

➤ **Sistemas auxiliares**

Las instalaciones de energía solar térmica necesitan sistemas de apoyo convencional, **Figura 6**, (gasóleo, gas o electricidad) en previsión a la falta de radiación o a un consumo pico. En la mayoría de los casos tanto en instalaciones en viviendas unifamiliares, como en edificios,

las instalaciones solares se diseñan para proporcionar a las viviendas entre el 60-80% del agua caliente demandada, aunque en zonas con gran insolación a lo largo del año, el porcentaje de aporte puede ser superior. Para la climatización de piscinas y para grandes aplicaciones comerciales, se emplea calentadores solares de grandes dimensiones, que cuentan con un área típica del colector de 30 a 200 m², el cual es construido en el mismo lugar de aplicación y algunas veces integrado al techo o alineados en el suelo (Criollo & Pogo, 2011).

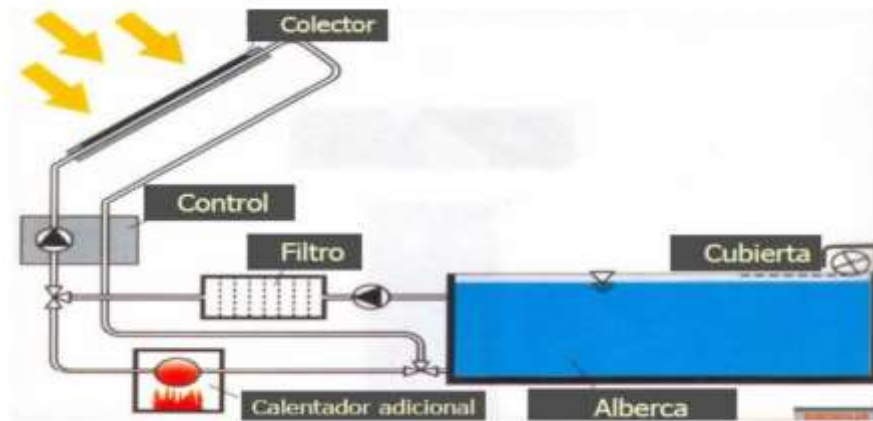


Figura 6. Sistema auxiliar de calentamiento de agua (Criollo & Pogo, 2011).

4.5.3 *Sistemas para calentar el agua de una piscina*

4.5.3.1 Calefacción de gas para piscinas. El equipo de calefacción de gas debe trabajar en conjunto con el filtro y la bomba y su instalación debe realizarse fuera de la sala de máquinas. Funciona de la siguiente manera: El equipo dispone de un quemador alimentado con gas, el agua circula a través de los tubos del intercambiador de calor que pasan sobre las llamas, por lo que se calienta y pasa de nuevo a la piscina para este tipo de calentador es necesario la instalación de una central de gas y mantenerlo siempre (**Figura 7**), como ducha de gas o una estufa, por ejemplo. El uso de combustibles fósiles para calentar agua de piscinas es lógicamente con un costo más alto (Gorfri, 2016).



Figura 7. Calentador de agua sanitaria mediante gas (Kitton, 2021).

4.5.3.2 Calefacción con bomba de calor. La instalación de la bomba de calor es la más simple en comparación con otras formas de calefacción, es la mejor opción para la calefacción de piscinas o gimnasios, escuelas, clínicas u hoteles. Las desventajas son que las bombas de calor necesitan un mantenimiento más adelante, lo que genera un alto costo, además que el precio pagado por la electricidad es alto debido a que la electricidad es cincuenta veces más cara que la energía solar (Gefri, 2016).



Figura 8. Bomba de calor (Argos, 2020).

4.5.3.3 Calentador solar para piscinas. Por lo general, una bomba de filtración se utiliza para forzar el agua de las placas, el tamaño de la bomba varía en función de la ubicación de los colectores, cuanto más lejos, mayor debe ser la bomba. Actúan como si fueran una manguera, que se calienta cuando está expuesta al sol y calienta el agua a su paso, en la **Figura 9** tenemos un ejemplo de tubos de polipropileno (Gefri, 2016).



Figura 9. Calentador de piscina con tubos de polipropileno (Highpool, 2021).

4.5.4 Mantas térmicas

Es un cobertor que se usa sobre la piscina, ayuda a optimizar los recursos de mantenimiento en la zona de baño. De esta manera se aprovecha y se conserva la ganancia de temperatura que provocan los rayos del sol. Existe una gran variedad de mantas térmicas en el mercado, se recomienda por su durabilidad y muy pocos puntos débiles la manta Geobubble Sol + Guard 500 micras ya que están diseñadas con una burbuja cuya estructura es en forma de cacahuete. Ofrece un rendimiento superior al de los cobertores de burbuja redonda estándar, los materiales para manta térmica (500 micras), por su capacidad para inhibir el crecimiento de algas y aumentar la temperatura del agua respectivamente, ahora han sido reforzados para aumentar su grosor y durabilidad. Los cobertores de burbuja simple (redonda) tienen una vida útil estimada de 2 años, mientras que las mantas térmicas Geobubble duran hasta 6 temporadas de baño ofreciendo el máximo rendimiento.

4.6 Colectores solares

Los colectores solares son dispositivos utilizados para coleccionar, absorber y transferir energía solar a un fluido, que puede ser agua o aire. La energía solar, puede ser utilizada para calentar agua, para sistemas de calefacción o para climatización de piscinas. Un colector necesita ser seleccionado cuidadosamente de acuerdo a la temperatura del fluido que debe proporcionar, para la aplicación prevista y de acuerdo al clima del lugar en el cuál va a estar emplazado (Placco et al., 2020).

4.6.1 Tipos de colectores solares

4.6.1.1 Colectores de placa plana con cubierta. En los colectores planos, el captador se ubica en una caja rectangular (carcasa), son fáciles de fabricar, por ello tienen un bajo costo. Su capacidad calorífica es relativamente alta y su principal ventaja es que requieren poco mantenimiento. Por otra parte, durante el invierno, si el agua se congela puede dañar al sistema de tuberías, de esta manera se generan bolsas de aire obstaculizando el flujo de agua (Energía, n.d.).



Figura 10. Colector de placa plana con cubierta (Reformaster, 2021).

4.6.1.2 Colectores CPC estacionarios. Estos colectores poseen un sistema de concentración de radiación solar tipo Concentradores Parabólicos Compuestos, para obtener temperaturas más elevadas y con un rendimiento de hasta el 50% (Placco et al., 2020).



Figura 11. Colector solar tipo CPC estacionario (Placco et al., 2020).

4.6.1.3 Colectores de placa plana sin cubierta. Este tipo de colectores, consisten en un absorbedor, pero carecen de la cubierta transparente. Son utilizados para la calefacción de piscinas

cubiertas, calefacción de agua para lavar coches y calefacción del agua utilizada en piscicultura, su principal desventaja es que la energía absorbida se pierde por convección (Placco et al., 2020).



Figura 12. Colector de placa plana sin cubierta (Placco et al., 2020).

4.6.1.4 Colectores de flujo de tubo de vacío. Estos colectores se componen de un conjunto de tubos de vacío, cada uno de los cuales contienen un absorbedor el cual recoge la energía solar y la transfiere a un fluido portador (calo-portador). Gracias a las propiedades aislantes del vacío, las pérdidas de calor son reducidas y pueden alcanzarse temperaturas en el rango de 77 °C a 177 °C. De esta manera, este tipo de colectores resultan particularmente apropiados para aplicaciones de alta temperatura, por su forma cilíndrica, aprovechan la radiación de manera más efectiva que los colectores planos, al permitir que los rayos de sol incidan de forma perpendicular sobre los tubos durante la mayor parte del día. Estos colectores son hasta unos 30% más eficientes que los colectores planos, pero son bastante caros, por unidad de superficie suelen costar aproximadamente el doble que un colector de placa plana. Existen dos tipos:

➤ **Flujo directo**

Estos consisten en un grupo de tubos de vidrio dentro de cada uno de los cuales hay una aleta de aluminio absorbedor, conectada a un tubo de metal (normalmente cobre) o tubo de vidrio. La aleta posee un recubrimiento selectivo que absorbe la radiación solar, e inhibe la pérdida de calor radiativo (Placco y Cadena, 2020). Su sencillez en el montaje, permite reducir gastos de mano de obra ya que es posible montar el colector sobre el tejado sin la necesidad de grúas, además de ofrecer un mayor alcance de temperaturas y mejor captación solar en días nublados (Amordad, 2014).



Figura 13. Colector solar de tubos de vacío de flujo directo (Amordad, 2014).

➤ **Sistema heat- pipe**

En este sistema los tubos de vacío llevan un fluido vaporizante que no puede salir del interior del tubo y que funciona como calo-portador. Este fluido se evapora por efecto de la radiación solar, asciende hasta el extremo superior del tubo que se encuentra a temperatura inferior, esto hace que el vapor se condense, ceda su energía y retorne a su estado líquido cayendo por acción de la gravedad a la parte inferior del tubo, donde al recibir más radiación, vuelve a evaporarse y comienza un nuevo ciclo (Placco, Saravia, and Cadena n.d.).

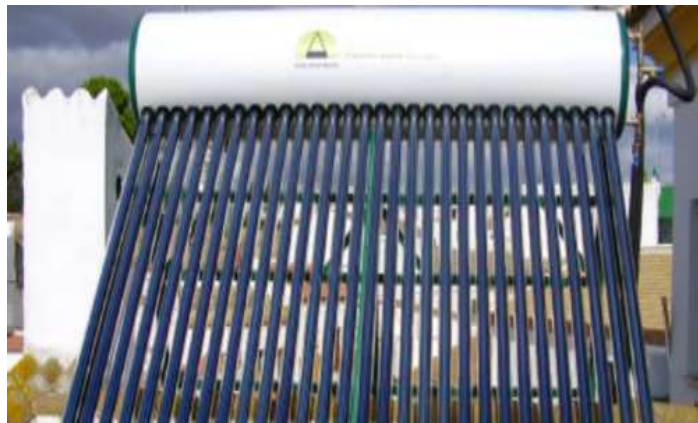


Figura 14. Colector solar de tubos de vacío sistema heat – pipe (Amordad, 2014).

4.6.2 Montaje de colectores solares

Existen muchas formas de montaje de los colectores sobre techo plano, techo inclinado, balcón, terraza, etc. Pero se debe tener en cuenta el incremento de carga originado por el emplazamiento de los paneles y el acumulador (teniendo en cuenta el agua en su interior), deben

ubicarse en ángulos tales que no puedan retener aguas lluvias. La separación entre colectores debe ser como mínimo se indica en la **Figura 15** (Jumbo, 2014).

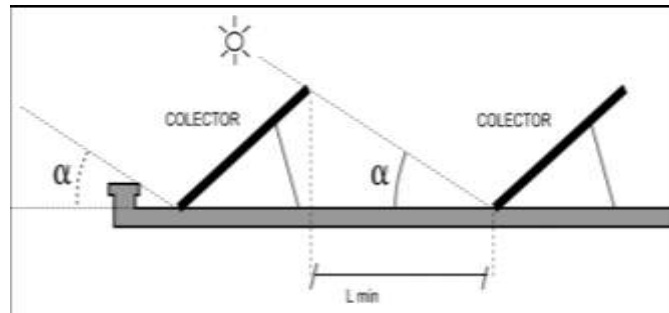


Figura 15. Ajuste mínimo en instalaciones de colectores (Jumbo, 2014).

La orientación en el hemisferio sur debe ser siempre hacia el Norte sin desviarse más de 20° . Las inclinaciones varían según la latitud del lugar y la época del año, por ello los valores de irradiación sobre un plano son recogidos con un factor k en función de:

- La latitud del lugar.
- El ángulo de inclinación β de la superficie en estudio.
- El mes del año (Jumbo, 2014).

4.6.3 Termo - tanques eléctricos

El termo eléctrico es una gran alternativa para disponer de agua caliente a la temperatura idónea y de manera instantánea en el hogar siempre que se necesite. Un termo eléctrico es un aparato que calienta cierta cantidad de agua y la almacena en un contenedor. De acuerdo con su capacidad, un termo eléctrico puede suministrar servicio a uno o más usuarios a la vez, si el depósito se vacía por completo, será necesario esperar unos minutos para permitir que el termo caliente de nuevo el agua (Hogarsense, 2020).

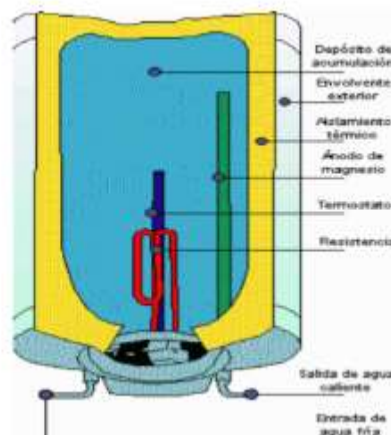


Figura 16. Componentes de un termo - tanque eléctrico (Javier & Reguera, 2007).

4.6.4 Resistencias eléctricas comerciales para piscinas

Un calentador eléctrico se puede conectar a la red eléctrica y calentar todo el volumen del agua durante todo el día o solo en horario nocturno aprovechando tarifas de electricidad más económicas. Las resistencias eléctricas y materiales utilizados tienen que ser necesariamente resistentes a la corrosión provocada por los productos químicos utilizados para el tratamiento de piscinas: sustancias ácidas y básicas como el cloro, bromo, oxígeno activo, anti algas, floculante, anti cal, etc. La mayor corrosión la sufre la resistencia eléctrica por ser un elemento caliente.

En la **Tabla 6** aparecen los kilovatios/hora necesarios para incrementar la temperatura de una piscina según su volumen en 24 horas (no se han considerado pérdidas energéticas) (Naya, 2013).

Tabla 6

Energía necesaria para calentar agua de acuerdo al volumen en kW/h.

Volumen	Temperatura				
	1°C	2°C	3°C	4°C	5°C
5 m ³	0.24	0.48	0.72	0.96	1.20
25 m ³	1.20	2.40	3.60	4.80	6.00
50 m ³	2.40	4.80	7.20	9.60	12.00
100 m ³	4.80	9.60	14.40	19.20	24.00
150 m ³	7.20	14.40	21.60	28.80	36.00
200 m ³	9.70	19.40	29.10	38.80	48.50
250 m ³	12	24	36	48.00	60.00
300 m ³	14.50	29	46.50	58.00	72.50
400 m ³	19.30	38.60	57.90	77.20	96.50
500 m ³	24	48	72.00	96.00	120.00

Fuente: (Naya, 2013).

4.7 Hidráulica

4.7.1 Bombas de circulación

Cuando en las instalaciones solares la circulación es forzada, se requiere de bombas electro- circuladoras. Cumplen la tarea de trasladar el fluido desde el acumulador hasta los paneles o colectores, tiene que vencer la resistencia que opone el fluido a su paso por el circuito y mantener la presión deseada. Las más empleados en el tipo de instalación de energía solar son las centrífugas, tal como se muestra en la **Figura 17** (Jumbo, 2014).



Figura 17. Modelo de una bomba centrífuga (HYUNDAI, 2020).

4.7.2 Tuberías

Generalmente, las tuberías son definidas como conductos que cumplen la función de transportar agua u otros fluidos. Cuando el líquido transportado es petróleo, se utiliza el término oleoducto, cuando el fluido transportado es gas, se utiliza el término gasoducto. También es posible transportar mediante tuberías materiales que, si bien no son un fluido, se adecuan a este sistema: hormigón, cemento, cereales, documentos encapsulados, entre otros (Zabala, 2015). Aun teniendo las medidas de seguridad y control para evitar posibles riesgos en el proceso, para el buen diseño de las tuberías hay distintos parámetros que se tienen que tener en cuenta, las más representativas son: diámetro nominal, caudal, tipo de fluido que circulará por la tubería, presiones y temperaturas de diseño y operación, material de construcción y por último el aislamiento, espesor; siempre y cuando sea necesario (VAM INDUSTRY, 2016). A continuación, presentamos en la **Tabla 7**, algunos diámetros estándares que se pueden encontrar para tuberías:

Tabla 7*Diámetros estándares de las tuberías.*

Nominal Pipe Size NPS (pulgadas)	Diámetro nominal DN (mm)	Nominal Pipe Size NPS (pulgadas)	Diámetro nominal DN (mm)	Nominal Pipe Size NPS (pulgadas)	Diámetro nominal DN (mm)
1/8	6	6	150	48	1200
1/4	8	8	200	52	1300
3/8	10	10	250	56	1400
1/2	15	12	300	60	1500
3/4	20	14	350	64	1600
1	25	16	400	68	1700
1' ¼	32	18	450	72	1800
1' ½	40	20	500	76	1900
2	50	24	600	80	2000
2' ½	65	28	700	88	2200
3	80	32	800	96	2400
3' ½	90	36	900	104	2600
4	100	40	1000	112	2800
4' ½	115	42	1050	120	3000
5	125	44	1100	128	3200

Fuente: (VAM INDUSTRY, 2016).

4.7.3 Aislamiento en tuberías

El aislamiento es un factor que se debe tener en cuenta a la hora de diseñar las tuberías ya que permite evitar las pérdidas de energía y mantener la temperatura del fluido a la temperatura de operación. El aislamiento térmico es un material no muy económico, pero a la vez sale a cuenta ya que si no se dispone de un buen aislamiento el fluido llegará a su destino con una temperatura no deseada. Todas las tuberías que se encuentren por encima de 50 °C y debajo de los 5 °C deberán tener aislamiento térmico (VAM INDUSTRY, 2016).

Aislamientos comunes:

- Lana de Roca.
- Armaflex.

4.7.4 Accesorios

Los accesorios son un conjunto de piezas moldeadas o mecanizadas que se unen a las tuberías o equipos del proceso para asegurar la correcta unión y distribución (VAM INDUSTRY, 2016). Los accesorios más utilizados en las plantas industriales son:

<p>Te (T): accesorio en forma de “T” que permite realizar una conexión a tres bandas. También llamada racor en T. Los diámetros de las distintas salidas pueden ser del mismo tamaño o distinto (VAM INDUSTRY, 2016).</p>	
<p>Cruz (x): accesorio en forma de cruz, para unir cuatro pasos; también llamado racor en cruz, T con salida lateral, T de cuatro pasos (VAM INDUSTRY, 2016).</p>	
<p>Codo (C): accesorio de tubería que tiene una curva a X grados, empleada para desviar la dirección recta de la misma (VAM INDUSTRY, 2016).</p>	
<p>Expansiones / Reducciones: accesorios de forma cónica que permiten aumentar o disminuir el diámetro de las tuberías según las necesidades de cada tramo. (VAM INDUSTRY, 2016).</p>	

4.8 Control y automatización

Automatización consiste en controlar un proceso mediante el uso de sistemas o elementos computarizados o electromecánicos, y así disminuir la intervención humana en dicho proceso; gracias a esto podemos reemplazar operadores humanos en tareas repetitivas o de alto riesgo, además reducir costos, puesto que se racionaliza el trabajo, se reduce el tiempo y dinero dedicado al mantenimiento (Escudero, 2012).

4.8.1 Sistemas de control centralizado

El sistema de control centralizado es el elemento encargado de recoger toda la información proporcionada por los sensores distribuidos en los distintos puntos de control del recinto, procesarla y generar las órdenes que ejecutarán los actuadores e interruptores. (Pérez Nuevo & Sanz González, 2012).

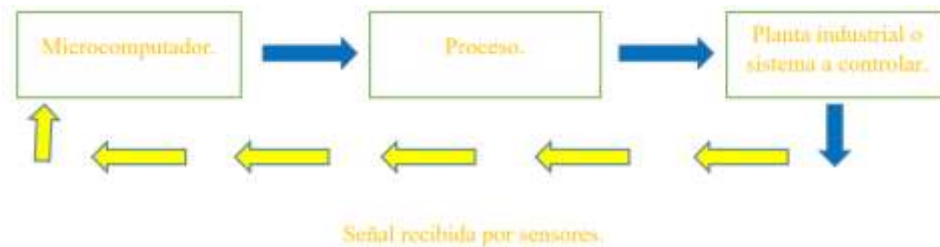


Figura 18. Esquema de funcionamiento de un controlador inteligente de procesos (El autor).

4.8.1.1 Sensores. Son dispositivos que están capacitados para detectar acciones o estímulos externos y responder en consecuencia. Es decir, nos permiten captar la información del medio físico que nos rodea. Con los sensores podemos medir la temperatura, la presión atmosférica, el ritmo cardíaco o la geolocalización (PrototipadoLAB, 2018).



Figura 19. Sensores de humedad, temperatura y barométrico (PrototipadoLAB, 2018).

4.8.1.2 Electroválvulas. Son dispositivos que responden a pulsos eléctricos. Gracias a la corriente que circula a través del selenoide es posible abrir o cerrar la válvula controlando de esta forma el flujo de fluidos (Distritec, 2020).



Figura 20. Modelo de electroválvula (Keenso, 2021).

4.9 Indicadores económicos de rentabilidad

Los indicadores de rentabilidad permiten realizar un adecuado seguimiento a la situación financiera de la empresa, en especial para determinar la manera en que las ventas se convierten en utilidades. Existen diversos indicadores (VAN, TIR, B/C, PR, CAE) que permiten medir la rentabilidad de un proyecto a partir del flujo de caja proyectado (Esan Business, 2017) (Siigo, 2019).

4.9.1 VAN - El valor actual neto

Es el valor presente de los beneficios netos que genera un proyecto a lo largo de su vida útil, descontados a la tasa de interés que refleja el costo de oportunidad que para el inversionista tiene el capital que piensa invertir e el proyecto, es decir la rentabilidad de la mejor alternativa especulativa de igual riesgo (Luján, 2017):

$$VAN = -I_o + \sum_{t=0}^n \frac{FNE}{(1+i)^t}$$

Si el $VAN < 0$ el proyecto no es rentable, si el $VAN = 0$ el proyecto resulta neutro, es decir no hay ganancia ni pérdidas y si el $VAN > 0$ el proyecto es rentable .

4.9.2 TIR - La tasa interna de retorno

La tasa interna de retorno de un proyecto mide la rentabilidad promedio anual que genera el capital que permanece invertido en él. Se define como la tasa de interés que hace cero el VAN de un proyecto, es decir:

$$VAN = -I_o + \sum_{t=0}^n \frac{FN_t}{(1 + TIR)^t} = 0$$

La aparente contradicción entre la TIR y el VAN se debe a que éste último indicador si considera la rentabilidad del capital que sale del proyecto cada periodo por concepto de utilidades, mientras que la TIR no lo hace. Si la TIR es < que el interés compuesto anual el proyecto debe ser descartado, si es > que el interés compuesto anual el proyecto es rentable.

4.9.3 Relación B/C – Beneficio/Costo

es un indicador que relaciona el valor actual de los beneficios (VAB) del proyecto con el de los costos del mismo (VAC), más la inversión inicial (Inv) (Luján, 2017):

$$B/C = \frac{VAB}{VAC + Inv}$$

5 Metodología

5.1 Área de estudio

La hidroterapia es fundamental dentro de las actividades que se desarrollan en el Ministerio de Inclusión Económica y Social- (MIES). La piscina de rehabilitación es una herramienta primordial dentro de esta institución, puesto que, la terapia acuática ayuda a prevenir lesiones y enfermedades. Enfermedades como el reumatismo y traumatismo pueden ser tratadas con este tipo de terapia, la cual utiliza el agua como elemento terapéutico, aprovechando los beneficios físicos que brinda la temperatura y presión. Como se menciona en el apartado anterior, la temperatura de la piscina es el principal factor para llevar a cabo ciertas actividades, un rango recomendable de temperatura está entre los 28 °C a 30 °C (**Anexo 2**), esto depende de las condiciones que se requieran.

El MIES, se encuentra ubicado en el sector denominado “La Tebaida” en la provincia de Loja, cantón Loja, al sur de la ciudad. Las coordenadas exactas del sector son: Latitud 4° 01'07.6'' S, Longitud 79° 12'13.4''O. La ciudad de Loja se encuentra a una altura de 2060 m.s.n.m. En la **Figura 21** se muestran las instalaciones del MIES, entre las áreas que conforman este centro se puede destacar: parqueadero (1), cancha de uso múltiple (2), edificios para actividades de aprendizaje (3), áreas verdes (4) y piscina terapéutica (5).



Figura 21. Instalaciones del MIES - Loja (Google Maps, 2021).

5.2 Procedimiento

5.2.1 *Objetivo específico 1*

➤ *Realizar un levantamiento de las instalaciones electromecánicas de la piscina terapéutica del MIES.*

Para el cumplimiento del primer objetivo de investigación, se identificó en primera instancia los componentes y sistemas para el climatizado de la piscina, además de realizarse una evaluación del consumo energético real necesario que requiere la piscina para calentar dicha cantidad de volumen de agua (30.5 m³). La piscina se encuentra ubicada dentro de una estructura y no al aire libre. El sistema de calentamiento actual del agua de la piscina está conformado por 2 calefones a gas; además, para el accionamiento de la bomba de impulsión -recirculación se dispone de un tablero general de control. El sistema general de recirculación está diseñado de tal manera que se bombea el agua de la piscina hacia los calefones los cuales calientan el agua de la piscina, dichos calefones de la marca Instamatic están conectados en paralelo y entregan un caudal de agua caliente de 16 l/min. (c/u). Para el proceso de impulsión – recirculación del fluido, se utiliza una bomba de la marca EMAUX con una potencia de 2.8 kW. Existen inconvenientes con la funcionalidad de los calefones debido a que según la encuesta realizada al personal encargado no logra calentar el agua de la piscina y es un coste adicional considerable.

Para la obtención de los datos cualitativos del lugar como: tipo de conexión de sistema de recirculación del fluido, materiales de accesorios, material de construcción y funcionamiento en general del sistema se realizó una encuesta al personal encargado del mantenimiento de la piscina (**Anexo 2**), esto ayudó a comprender la funcionalidad de los sistemas actuales para el calentamiento del agua de la piscina y determinar los posibles factores que limitan el obtener la temperatura adecuada para llevar a cabo las actividades de hidroterapia y recreación. En lo que respecta a los datos cuantitativos, se realizaron mediciones de la temperatura promedio ambiente del recinto donde se encuentra ubicada la piscina terapéutica (21°C) (**Anexo 3**) y la temperatura promedio del agua de red (20.5° C) (**Anexo 3**) usando un multímetro digital, además de corroborar los datos obtenidos comparándolos en artículos ya antes realizados en la ciudad de Loja. Las dimensiones de la piscina y redes de distribución de tuberías se receptaron de manera manual, usando un instrumento común como el flexómetro, aquí determinamos las distancias de cada tramo de la conexión hidráulica, así como las áreas, volúmenes de la piscina y alrededores,

posteriormente estas mediciones y estructuras se proyectaron en planos mediante el software de diseño AutoCAD.

5.2.2 Objetivo específico 2

➤ *Diseñar el sistema de calentamiento de la piscina terapéutica del MIES con base a energía solar – electricidad*

La principal actividad para el cumplimiento del segundo objetivo fue la revisión literaria de temas puntuales que se abordaron dentro de la investigación, aplicación de metodologías y conceptos adquiridos durante la etapa de aprendizaje. El diseño de un sistema híbrido (solar – eléctrico) para el calentamiento del agua de la piscina consta del mismo principio de funcionamiento en la recirculación del agua como se había analizado en el sistema actual, es decir, se propone usar colectores solares de tubos al vacío con un acumulador de agua individual para cada sistema de colección solar en lugar del sistema de calentamiento por GLP - industrial. Ya dicho, el sistema es híbrido, por lo cual el sistema secundario o sistema de apoyo será por medio de resistencias eléctricas las cuales se disponen en el acumulador de agua (termo – tanque).

Mediante el método de Duffie, se evaluó la radiación solar en la ciudad de Loja, sector “La Tebaida”. Para este análisis, seleccionamos un mes en el cual según datos anteriores de ensayos realizados en Loja la radiación solar no es la más alta (Julio), esto, ayudó a comprender el alcance que tendría la eficiencia de los colectores solares con respecto a la cantidad de energía que se podría obtener durante un día de Julio y de esa forma concluir en lo factible que resultaría usar este sistema para calentar el agua en la piscina. Dentro de los parámetros a considerar en el cálculo están: la latitud geográfica del sector, la declinación solar y cantidad de energía útil.

Una vez determinada la energía que se puede obtener en el sector por metro cuadrado, se procedió a realizar un balance de pérdidas de calor en la piscina y las pérdidas en los termo – tanques. Las pérdidas de calor consideradas para el balance son: pérdidas por conducción directa, pérdidas por convección, pérdidas por radiación, pérdidas por renovación de agua y pérdidas por evaporación. La determinación de la cantidad de energía perdida en un lapso de tiempo es esencial para el balance energético final, mediante este último determinamos la temperatura del agua de los termo tanques (contenedores) para la reposición de pérdidas de calor luego del uso de la piscina en un determinado tiempo y la cantidad de energía que se requiere para elevar la temperatura del agua en cada termo – tanque. En el apartado final de este ítem se encuentran las tablas de

necesidades energéticas debido a las fluctuaciones mensuales durante un año, aquí podemos observar el porcentaje de consumo de energía solar y eléctrica.

Lo que corresponde al dimensionamiento hidráulico, la metodología de cálculo fue tomada de la bi Claudio Mataix, aquí se presenta el nuevo esquema en el que se calculó diámetros de tuberías respecto a cada tramo de la instalación y de la misma manera las pérdidas en cada tramo de tubería. Así mismo, se plantea un tiempo promedio en el cual se tendría que realizar la recirculación del agua en cada ciclo, de esta manera determinamos los caudales necesarios en cada punto para finalmente realizar el cálculo y selección de la bomba.

Para el control de los niveles de temperatura y agua de los sistemas de acumulación se propone el uso de un “Kit de control”. La controladora TK – 8A es un autómata programable que se adapta fácilmente a este tipo de sistemas, cada sistema solar – captación cuenta con un “kit de control” independiente que nos permite observar los datos de las variables en tiempo real.

Inicialmente, hemos definido como constantes los valores que van a regir durante todo el proceso de ciclos o períodos de calentamiento del agua de la piscina: temperatura de agua caliente en la piscina (28 °C), temperatura de agua de red (20.5 °C), temperatura máxima de agua en los termo – tanques (80 °C), volumen de agua en la piscina (30.5 m³) y volumen en termo – tanques c/u (0.4 m³). Se realizó en el Software Auto - CAD el diagrama de conexión de todo el sistema general de control, además, se presenta la configuración de las controladoras antes de ponerlas a punto de funcionamiento.

5.2.3 Objetivo específico 3

➤ Realizar un análisis de inversión del proyecto

En este apartado, se analizó los diferentes indicadores económicos que se pueden aplicar para la evaluación de rentabilidad previo a la ejecución de proyectos. Los indicadores que están presentes con frecuencia son: TIR, VAN y la relación costo/beneficio.

En lo que enfoca al cálculo y evaluación de los costos para la nueva propuesta, se reunió información y datos de los valores de cada accesorio que vendrían a conformar los sistemas de calentamiento: sistema hidráulico, sistema de captación solar, sistema automatizado, costo energético, costo por mano de obra, costo por mantenimiento y tratamiento químico de la piscina. Considerando que es un proyecto que se enfoca en disminuir gastos por uso de energía proveniente de combustibles fósiles los cuales tienen un gasto constante y se ven comprometidos directamente con el daño al medio ambiente, se realizó una comparativa entre los precios que se ahorrarían por

el aporte solar para el calentamiento del agua y el precio que se tendría que pagar por el uso de GLP - industrial, además, realizar la evaluación de rentabilidad del proyecto.

5.3 Procesamiento y análisis de datos

5.3.1 Consumo energético real necesario para calentar la piscina terapéutica mediante calefones a gas

En este apartado se definen los costes por consumo de GLP para lograr elevar la temperatura de la piscina terapéutica mediante el sistema de calentamiento por calefones:

Inicialmente obtenemos la cantidad de masa de agua a calentar:

$$\rho = \frac{m}{V_{\text{piscina}}} \quad \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] \quad \text{Ec. (1)}$$

Donde:

ρ = Densidad del agua = 997 kg/m³

V_{piscina} = 30.5 m³ (Dato calculado por el autor mediante mediciones) **Tabla 9**.

Determinamos la potencia requerida para calentar cierta cantidad de masa de agua:

$$Q = m * C_p * (T_f - T_i) \quad [\text{KJ}] \quad \text{Ec. (2)}$$

Donde:

Q = Energía necesaria para elevar la temperatura de cierto volumen de agua [kJ].

m = Cantidad de masa de agua a calentar [kg].

C_p = Calor específico = 4.19 kJ/kg °C

T_f = Temperatura final del agua = 28 °C (**Anexo 2**).

T_i = Temperatura inicial del agua = 20.5 °C (**Anexo 3**).

$$P = Q/t \quad [\text{kW}] \quad \text{Ec. (3)}$$

Donde:

P = Potencia requerida en el calefón [kW].

Q = Energía necesaria para calentar el agua [kJ].

t = Tiempo estimado de calentamiento de agua [h].

La Ley de Hidrocarburos dispone que no se permite el uso de tanques de GLP - doméstico cuando se destinan al calentamiento de agua para piscinas por lo que legalmente significará el uso de GLP industrial a un costo de \$1.047 por cada kilogramo (Ruiz y Villacís, 2015) (Petroecuador, 2017). Por otra parte, el precio del GLP – doméstico tiene un precio estimado en USD 0.1066 por cada kilogramo. Debido a lo que se estipula en la Ley de Hidrocarburos, el valor a tomar para el cálculo energético será el de GLP – industrial (Petroecuador, 2017).

$$\text{Coste}_{\text{diario}} = \text{Consumo}_{\text{GLP}} * \text{Costo}_{\text{GLP}} \quad [\text{USD}] \quad \text{Ec. (4)}$$

Donde:

Consumo_{GLP} = Representa el consumo de GLP en un día [kg].

Costo_{GLP} = Costo por cada kilogramo de GLP = 1.047 USD/kg

De esta manera determinamos el coste mensual y anual por consumo de gas que representarían para que la piscina esté a la temperatura adecuada.

Los días de uso de la piscina son de 2 días por semana → **(Anexo 2)**.

$$\text{Coste}_{\text{mensual}} = \text{Coste}_{\text{diario}} * \text{días} - \text{mes} \quad [\text{USD}] \quad \text{Ec. (5)}$$

$$\text{Coste}_{\text{anual}} = \text{Coste}_{\text{mensual}} * \text{meses} \quad [\text{USD}] \quad \text{Ec. (6)}$$

5.3.2 Parámetros de cálculo para la cinemática solar

5.3.2.1 Cálculo de la irradiancia solar sobre una superficie. Para el estudio de equipos que hacen uso de la potencialidad solar es necesario encontrar los valores de la radiación por hora para ello se utiliza el método de Duffie – Beckman (Padilla, 2014).

La ciudad de Loja tiene una latitud Sur de 4.01° por lo que el valor será:

$\phi = -4.01$ (Dato obtenido en Google Maps).

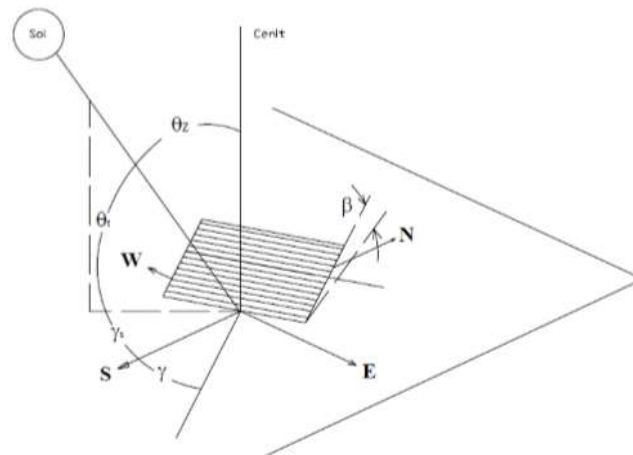


Figura 22. Ángulos formados por el sol con la horizontal. (Padilla, 2014).

En la **Tabla 8** se proporciona la conversión de día del mes “i” al número de día “n” en el año.

Tabla 8

Ecuaciones para convertir el día del mes en el número de día del año.

Mes	“n” para el i-esimo día del mes.
Enero	i
Febrero	31+i
Marzo	59+i
Abril	90+i
Mayo	120+i
Junio	151+i
Julio	181+i
Agosto	212+i
Septiembre	243+i
Octubre	273+i
Noviembre	304+i
Diciembre	334+i

Fuente: (Padilla, 2014).

En caso de año bisiesto se añadirá uno más a partir del mes de marzo. Por ejemplo, en la casilla Marzo se pondría d+60, en la casilla Abril d+91, etc.

5.3.2.2 Determinación de la declinación solar (δ) y energía incidente. El valor de la declinación solar varía a lo largo del año, de 23,45° (21 de junio), a - 23,45° (21 de diciembre). La declinación solar puede calcularse aproximadamente mediante la ecuación (Padilla, 2014).

$$\delta = 23.45 * \text{sen} \left(360 \left(\frac{284+n}{365} \right) \right) \quad \text{Ec. (7)}$$

Donde “n” es el número de día del año.

Según (MIDUVI, 2020) se debe mantener el ángulo de inclinación de los colectores en un rango de 10° a 25° entre la superficie del colector y el nivel de edificación, esto adaptada en la NEC código NTE INEN 2507.

5.3.2.3 Ángulo horario de la salida del sol (W_s). Para calcular el ángulo de salida y puesta solar basta con aplicar la condición de altura solar y obtenemos su valor con la siguiente ecuación:

$$W_s = \cos^{-1}(-\tan\phi * \tan\delta) \quad \text{Ec. (8)}$$

Se debe tener en cuenta que, para el sur en nuestro caso, Ecuador, se debe considerar la latitud con el signo negativo.

5.3.2.4 Determinación de la radiación solar extraterrestre sobre una superficie normal al sol (H_o). El valor de la radiación solar extraterrestre se determina para cada día del año, la constante solar GSC tiene un valor de 1367 W/m², con la utilización de la siguiente ecuación:

$$H_o = \frac{24 * 3600 * G_{sc}}{\pi} \left(1 + 0.033 * \cos\left(\frac{360 * n}{365}\right) \right) \left[\cos\phi * \cos\delta * \sin W_s + \left(\frac{\pi * W_s}{180}\right) * \sin\phi * \sin\delta \right] \left[\frac{kJ}{m^2 * h} \right] \quad \text{Ec. (9)}$$

5.3.2.5 Cálculo de la radiación diaria por unidad de área de una superficie horizontal (H').

$$H' = K_T * H_o \quad \text{Ec. (10)}$$

Donde:

K_T = índice de nubosidad o factor de turbiedad de la atmósfera y tiene en cuenta la transparencia de la atmósfera por efectos de nubes, polvos, aerosoles, ozono, etc.

$$K_t = \frac{12204}{H_o} \quad \text{Ec. (11)}$$

5.3.2.6 Cálculo de la radiación difusa diaria que cae sobre una superficie horizontal (H_d).

$$H_d' = f(K_t) * H \quad \text{Ec. (12)}$$

Donde, f(K_t) viene dada por la siguiente expresión:

$$f(K_t) = 1.3903 - 4.0273 * K_t + 5.5315 * K_t^2 - 3.1080 * K_t^3 \quad \text{Ec. (13)}$$

5.3.2.7 Determinación de la radiación solar horaria por unidad de área que cae sobre una superficie horizontal (H).

$$H = K * H' \quad \left[\frac{kJ}{m^2 * h} \right] \quad \text{Ec. (14)}$$

Siendo “K” la relación entre la radiación solar horaria y la radiación solar diaria y se calcula por la siguiente expresión:

$$K = \left(\frac{\pi}{24}\right) (a + b * \cos W) \left[\frac{\cos W - \cos W_s}{\sin W_s - \left[\left(\frac{\pi * W_s}{180}\right) \cos W_s\right]} \right] \quad \text{Ec. (15)}$$

Donde:

$$a = 0.409 + 0.5016 \sin (W_s - 60) \quad (15.1)$$

$$b = 0.6609 - 0.4767 \sin (W_s - 60) \quad (15.2)$$

W = ángulo horario que toma valor 0 para el mediodía solar y varía 15° cada hora.

W = 75°, W = 60°, W = 45°, W = 30°, W = 15°, W = 0° (Padilla, 2014).

5.3.2.8 Determinación de la radiación difusa horaria por unidad de área que cae sobre una superficie horizontal (H_d). La relación entre la radiación difusa horaria y la radiación difusa diaria sobre una superficie horizontal como función de la longitud del día está dada por la siguiente ecuación:

$$H_d = K_d * H_d' \quad \left[\frac{\text{kJ}}{\text{m}^2 * \text{h}} \right] \quad \text{Ec. (16)}$$

Los valores de K_d se los encuentra por la siguiente fórmula:

$$K_d = \left(\frac{\pi}{24} \right) \left[\frac{\cos W - \cos W_s}{\sin W_s - \left[\left(\frac{\pi * W_s}{180} \right) \cos W_s \right]} \right] \quad \text{Ec. (17)}$$

5.3.2.9 Determinación del valor del ángulo de incidencia horario de la radiación solar directa sobre el calentador solar (θ_t). Estos valores se pueden calcular teniendo en cuenta los términos ($\phi=4.01^\circ$, $\delta=20.63^\circ$, $\beta=10^\circ$). El ángulo de incidencia de la radiación solar sobre el calentador solar, viene dado por:

$$\begin{aligned} \cos \theta_t = & (\sin \delta * \sin \phi * \cos \beta - \sin \delta * \cos \delta * \sin \beta * \cos \gamma + \cos \delta * \cos \phi \\ & * \cos W) (\cos \delta * \sin \phi * \sin \beta * \sin \gamma * \cos W + \cos \delta * \sin \delta \\ & * \sin \gamma * \sin W) \end{aligned} \quad \text{Ec. (18)}$$

En la mayoría de las aplicaciones de esta ecuación, la única variable a lo largo del día es el ángulo horario W . Todo lo demás suele ser constante en una fecha y lugar determinados. Debido a esto, la ecuación tiene un gran número de constantes que, al aplicarla simplifican mucho la expresión (Padilla, 2014).

$$\cos \theta_t = \cos(\phi + \beta) * \cos \delta * \cos W + \sin(\phi + \beta) * \sin \delta \quad \text{Ec. (19)}$$

Según (Vega, 2010), para el caso del valor del ángulo de inclinación para la superficie captadora $\beta = \phi + 10$, se trabaja con 14 grados, por pruebas realizadas por parte del Ing. Milton León Tapia.

Donde:

β = Ángulo de inclinación de la superficie captadora.

ϕ = Latitud de Loja.

δ = Declinación solar para el día medio del mes de julio.

W = Ángulo horario que toma valor 0 para el medio día y varía cada hora 15° .

5.3.2.10 Determinación del ángulo cenital (θ_z). Los valores del ángulo cenital se calculan a partir de la ecuación (20) donde se lo calculan sobre una superficie horizontal con lo que $\beta = 0$ entonces $\sin \beta = 0$ y $\cos \beta = 1$ con lo que desaparecen algunos términos de la expresión.

$$\cos\theta_z = \sin\delta * \sin\phi + \cos\delta * \cos\phi * \cos W \quad \text{Ec. (20)}$$

5.3.2.11 Cálculo de la relación de la radiación solar directa sobre una superficie inclinada y la radiación solar directa sobre una superficie horizontal (R_b). Este coeficiente nos da la relación entre la radiación que incide sobre una superficie inclinada y la que incide sobre una superficie horizontal como se observa en la **Figura 23**.

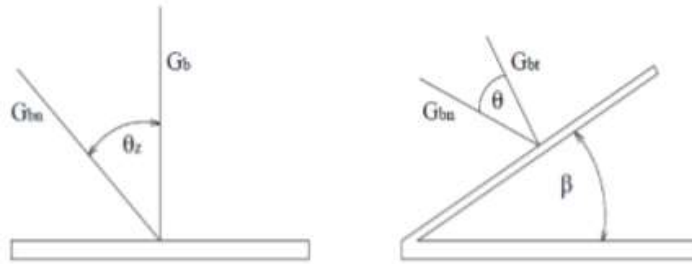


Figura 23. Radiación directa en superficies horizontal e inclinada. (Padilla, 2014).

Y viene dada por la siguiente expresión:

$$R_b = \frac{H_t}{H} = \frac{H_n \cos\theta_t}{H_n \cos\theta_z} \quad \text{Ec. (21)}$$

Eliminando términos semejantes tenemos:

$$R_b = \frac{\cos\theta_t}{\cos\theta_z} \quad \text{Ec. (22)}$$

5.3.2.12 Determinación de los valores de la radiación solar horaria que cae sobre la superficie del equipo solar (H_t). La radiación solar horaria se calcula por la siguiente ecuación:

$$H_t = (H - H_d) * R_b + \left[H_d \left(\frac{1 + \cos\beta}{2} \right) \right] + \left[H \frac{(1 - \cos\beta) * \rho_t}{2} \right] \quad \left[\frac{\text{kJ}}{\text{m}^2 * \text{h}} \right] \quad \text{Ec. (23)}$$

Donde:

H= Radiación horaria que incide sobre una superficie horizontal.

H_d= Radiación difusa horaria que cae sobre un plano horizontal.

R_b= Relación entre la radiación directa sobre una superficie inclinada y la radiación sobre una superficie horizontal.

S= Ángulo de inclinación del colector.

ρ_t= Reflexividad de la tierra equivalente a 0.2. (valor usual) (Padilla, 2014).

5.3.3 Pérdidas de calor en el vaso de la piscina

La diferencia de temperatura que hay entre varios puntos con respecto a la temperatura que tendrá la piscina generan pérdidas de calor hacia puntos con temperatura inferior o a su vez por la naturaleza del fenómeno que lo provoca, (véase **Figura 24**).

- Pérdidas por conducción o transmisión.
- Pérdidas por radiación.
- Pérdidas por evaporación.
- Pérdidas por renovación del agua de la piscina.
- Pérdidas por convección.

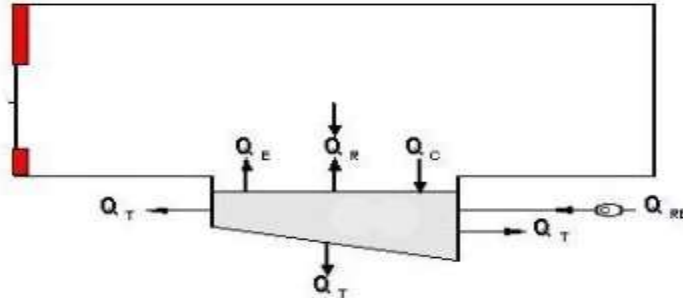


Figura 24. Representación de pérdidas de calor en una piscina (Goñi & Pascual, 2013).

5.3.3.1 Pérdidas por conducción. Dado un sistema bidimensional, el cual está determinado por dos límites de temperatura, se define un factor de forma conductivo “S” para los cálculos de pérdida mediante transmisión de calor (Vega, 2010).

$$Q_{\text{cond}} = k * S * (T_s - T_{\infty}) \quad [\text{W}] \quad \text{Ec. (24)}$$

Donde:

k= Coef. de conductividad térmica del material = 1.75 W/m K. Según anexo de la norma chilena oficial NCh. 853, de 93. (IDIEM, 2021).

T_s= Temperatura del agua de la piscina = 28 °C (**Anexo 2**).

T_∞= Temperatura alrededores = 21 °C (**Anexo 3**).

S= Factor de forma conductivo.

El factor de forma conductivo se determina a partir de las áreas de las paredes que se encuentran en contacto con el fluido. Se debe considerar las paredes de la piscina como placas planas. Esto es un ejemplo de una cita que citó Vega Juan, pág. 39 (Vega, 2010).

$$S_{\text{pared}} = \frac{A}{L} \quad [\text{m}] \quad \text{Ec. (25)}$$

Donde:

A= Área de la pared [m²].

L= Espesor de los muros y piso de la piscina.

Las normativas indican que los espesores serán de 0.20 m y 0.15 m para muros y soleras, respectivamente. Como se cita en Vega Juan, pág. 39 (Vega, 2010).

Según Frank P. Incropera y David P. DeWitt (1999), señalan que el factor de forma para las esquinas de la piscina está dado por:

$$S = 0.54 * D \quad \text{Ec. (26)}$$

Dónde:

D= Longitud del borde = 1.10 m

Para los vértices se utiliza la siguiente ecuación:

$$S=0.15 * L \quad \text{Ec. (27)}$$

5.3.3.2 Pérdidas por radiación. Según Cengel y Ghajar (2011), cuando una superficie de emisividad ϵ y área superficial “A” a una temperatura termodinámica T_s , se encuentra encerrada por una superficie de mayor dimensión a una temperatura termodinámica T_{alred} , y separada por aire (no interfiere con la radiación), la razón de transferencia de calor entre estas dos superficies está dado por:

$$Q_{rad} = \epsilon * \sigma * A_s * (T_s^4 - T_{alred}^4) \quad [W] \quad \text{Ec. (28)}$$

Donde

ϵ = Emisividad del agua = 0.96 (Cengel & Ghajar, 2011).

σ = Cte. de Stefan – Boltzmann = $5.67 * 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4$

T_s= Temperatura confort del fluido = 28 °C (**Anexo 2**).

T_{alred}= Temperatura de la superficie = 21 °C (**Anexo 3**).

A_s= Área de la piscina = 38.12 m² (Dato calculado por el autor mediante mediciones) **Tabla 9**.

5.3.3.3 Pérdidas por evaporación. Cuando se evapora el agua de la piscina, absorbe calor y esto conlleva a un enfriamiento del sobrante del agua que no se evapora, es decir, disminuye la temperatura del agua del vaso de la piscina, por ello, a mayor evaporación el enfriamiento del agua de la piscina también será superior. Como se cita en Vega Juan, pág. 30 (Vega, 2010).

$$Q_{evap} = m_v * h_{fg} \quad [W] \quad \text{Ec. (29)}$$

Donde:

m_v= Razón de evaporización.

h_{fg}= Calor latente de vaporización del agua a la temperatura de la superficie.

La razón de evaporización está dada por:

$$m_v = h_{masa} * A_s * (\rho_{v,s} - \rho_{v,\infty}) \quad \left[\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right] \quad \text{Ec. (30)}$$

Donde:

h_{masa}= Transferencia de masa [m/s].

A_s= Área de la superficie de la piscina [m²].

$\rho_{v,s}$ = Densidad de vapor saturado en la superficie [kg/m³].

$\rho_{v,\infty}$ = Densidad de vapor saturado lejos de la superficie [kg/m³].

La transferencia de masa, está dada por:

$$h_{\text{masa}} = \frac{Sh * D_{AB}}{L_c} \quad [\text{m/s}] \quad \text{Ec. (31)}$$

Donde:

Sh= Número de Sherwood.

D_{AB}= Difusividad de masa del vapor de agua en el aire a la temperatura promedio [m²/s].

L_c= Longitud característica [m].

El número de Sherwood está dado por:

$$Sh = 0.15 * (Gr * Sc)^{\frac{1}{3}} \quad \text{Ec. (32)}$$

Donde:

Gr= Número de Grashof.

Sc= Número de Schmidt.

El número de Grashof está dado por:

$$Gr = \frac{g * (\rho_{\infty} - \rho_s) * L_c^3}{\rho * \nu^2} \quad \text{Ec. (33)}$$

Donde:

g= Gravedad = 9.81 m/s²

ρ_{∞} = Sumatoria de densidades del vapor saturado y del agua saturada lejos de la superficie [kg/m³].

ρ_s = Sumatoria de densidades del vapor saturado y del agua saturada en la superficie [kg/m³].

L_c= Longitud característica [m].

ρ = Sumatoria de ρ_{∞} + ρ_s [kg/m³].

ν = Viscosidad cinemática [m²/s].

El número de Schmidt está dado por:

$$Sc = \frac{\nu}{D_{AB}} \quad \text{Ec. (34)}$$

Donde:

ν = Viscosidad cinemática [m²/s].

D_{AB}= Difusividad de masa del vapor de agua en el aire a la temperatura promedio [m²/s].

La difusividad de masa a temperatura promedio está dada por:

$$D_{AB} = 1.87 * 10^{-10} * \frac{T^{2.072}}{P} \quad [\text{m}^2/\text{s}] \quad \text{Ec. (35)}$$

Donde:

T= Temperatura de película o de la superficie [K].

P= Presión atmosférica Loja [atm].

La longitud característica está dada por:

$$L_c = \frac{V}{A} \quad [\text{m}] \quad \text{Ec. (36)}$$

Donde:

A= Área de la superficie de la piscina [m²].

V= Volumen total de la piscina [m³].

Densidad del vapor saturado en la superficie “ $\rho_{v,s}$ ” está dada por:

$$\rho_{v,s} = \frac{P_{v,s}}{R_v * T_s} \quad \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] \quad \text{Ec. (37)}$$

Donde:

P_{v,s}= Presión de saturación del agua a la temperatura de confort [kPa].

R_v= Cte. de los gases para el vapor = 0.4615 kPa*m³/kg*K. Tomado de Vega Juan, pág. 44 (Vega, 2010).

T_s= Temperatura confort del fluido = 28 °C (**Anexo 2**).

La densidad del agua saturada en la superficie está dada por:

$$\rho_{a,s} = \frac{P_{a,s}}{R_a * T_s} \quad \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] \quad \text{Ec. (38)}$$

Donde:

P_{a,s}= Presión atmosférica menos la presión de saturación [kPa].

R_a= Cte. de los gases para el aire seco = 0.287 kPa*m³/kg*K. Tomado de la cita de Vega Juan, pág. 34 (Vega, 2010).

T_s= Temperatura de confort del fluido = 28 °C → (**Anexo 2**).

La densidad de vapor saturado lejos de la superficie está dada por:

$$\rho_{v,\infty} = \frac{P_{v,\infty}}{R_v * T_\infty} \quad \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] \quad \text{Ec. (39)}$$

Donde:

P_{v,∞}= Presión de vapor del aire lejos de la superficie del agua [kPa].

R_v= Cte. de los gases para el vapor = 0.4615 kPa*m³/kg*K. Tomado de la cita de Vega Juan, pág. 35 (Vega, 2010).

T_∞= Temperatura de la superficie = 21 °C (valor promedio determinado por el autor) (**Anexo 3**).

La densidad del agua saturada lejos de la superficie está dada por:

$$\rho_{a,\infty} = \frac{P_{a,\infty}}{R_a * T_\infty} \quad \left[\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right] \quad \text{Ec. (40)}$$

Donde:

P_{a,∞}= Presión atmosférica menos la presión de vapor del aire lejos de la superficie del agua [kPa].

R_a= Cte. de los gases para el aire seco = 0.287 kPa *m³/kg*K. Tomado de la cita de Vega Juan. Pág. 35 (Vega, 2010).

T_∞= Temperatura de la superficie = 21 °C (**Anexo 3**).

La temperatura de película está dada por la siguiente ecuación:

$$T_f = \frac{T_s + T_\infty}{2} \quad \text{Ec. (41)}$$

Donde:

T_s = Temperatura de confort del fluido = 28 °C (**Anexo 2**).

T_∞ = Temperatura de la superficie = 21 °C (**Anexo 3**).

5.3.3.4 Pérdidas por convección natural. La velocidad de transferencia de calor por convección se determina por:

$$Q_{\text{conv}} = h_{\text{conv}} * A_s * (T_s - T_\infty) \quad [\text{W}] \quad \text{Ec. (42)}$$

Donde:

h_{conv} = Coef. de transferencia de calor por convección [$\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$].

A_s = Área de la piscina = 38.12 m^2 . (Dato calculado por el autor mediante mediciones) **Tabla 9**.

T_s = Temperatura de confort del fluido = 28 °C (**Anexo 2**).

T_∞ = Temperatura de la superficie = 21 °C (**Anexo 3**).

Para el cálculo del coeficiente de transferencia de calor en una placa plana horizontal se utiliza el número de Nusselt (Holman, 1999).

$$Nu_L = 0.13 * Gr_L * Pr^{\frac{1}{3}} \quad \text{para } Gr_L * Pr < 2 * 10^8 = \quad \text{Ec. (43)}$$

$$Nu_L = 0.16 * Pr^{\frac{1}{3}} \quad \text{para } 2 * 10^8 < Gr_L * Pr < 2 * 10^{11} \quad \text{Ec. (44)}$$

El número de Rayleigh es igual al producto del número de Grashof y Prandtl demostrado en la siguiente ecuación:

$$Ra_L = Gr * Pr \quad \text{Ec. (45)}$$

Por lo que el número de Grashof se lo determina con la ecuación:

$$Gr = \frac{g * \beta * (T_s - T_\infty) * L_c^3}{\nu^2} \quad \text{Ec. (46)}$$

Donde:

g = Gravedad.

β = Coeficiente de expansión volumétrica.

T_s = Temperatura de confort = 28 °C (**Anexo 2**).

T_∞ = Temperatura de la superficie = 21 °C (**Anexo 3**).

L_c = Longitud característica [m].

ν = Viscosidad cinemática del aire seco [m^2/s].

Para la determinación del número de Prandtl, usamos los valores de la temperatura de película y la presión atmosférica para ubicarlos en tablas (Vega, 2010).

Cálculo del coeficiente de transferencia de calor con la ecuación:

$$h_{\text{conv}} = \frac{Nu_L * k}{L_c} \quad \left[\frac{W}{m^2 K} \right] \quad \text{Ec. (47)}$$

Donde:

Nu_L= Número de Nusselt.

k= Conductividad térmica [W/m K].

L_c= Longitud característica [m].

5.3.3.5 Pérdidas por renovación del agua de la piscina. Purgas para limpieza de fondo y filtros entre otras provocan pérdidas de agua, las mismas que deberán compensarse diariamente provocando pérdidas de calor, las cuales estarán en función de la temperatura del agua de la red y de la temperatura del agua de la piscina, para calcular dichas pérdidas se utiliza la siguiente relación: (Criollo y Pogo, 2011).

$$Q_{RE} = V_{RE} * \delta * C_p * (T_{AP} - T_R) \quad [W] \quad \text{Ec. (48)}$$

Donde:

V_{RE}= Volumen de agua de renovación.

δ= Densidad del agua = 997 kg/m³

C_p= Calor específico del agua = 4.19 kJ/ kg* °C

T_{AP}= Temperatura de confort = 28 °C (**Anexo 2**)

T_R= Temperatura del agua de red = 20.5°C (dato determinado por el autor mediante mediciones). (**Anexo 3**).

Según Criollo y Pogo (2011), por normativa, debido a razones higiénicas sanitarias, se recomienda reponer un 5% del volumen total del agua de la piscina.

5.3.4 Pérdidas en el termo – tanque y eficiencia del sistema de colección

Se realiza el análisis para la determinación de las pérdidas por calor en el sistema de captación del fluido, en ello aborda las dimensiones generales del termo – tanque solar:

5.3.4.1 Cálculo del diámetro externo del tanque interno. Se utiliza la ecuación (49).

$$D = \phi - (2 * \epsilon) \quad [m] \quad \text{Ec. (49)}$$

Donde:

φ= Diámetro del tanque externo [m].

ε= Espesor del aislamiento [m].

5.3.4.2 Altura o largo del tanque interno.

$$v = \pi * r^2 * h \quad \text{Ec. (50)}$$

Donde:

v= Volumen total del termo-tanque [m].

r= Radio externo del tanque interno [m].
h= Largo o altura del tanque [m].

5.3.4.3 Cálculo del diámetro interno del tanque interno.

$$d = D - (2 * \sigma) \quad [m] \quad \text{Ec. (51)}$$

Donde:

δ= Diámetro externo del tanque interno [m].

σ= Espesor del tanque interno [m].

5.3.4.4 Pérdidas por conducción en el tanque colector.

$$Q_{\text{cond}} = \frac{T_{\text{tanque}} - T_{\text{amb}}}{R_{\text{total}}} \quad [W] \quad \text{Ec. (52)}$$

Donde:

T_{tanque}= Temperatura en el termo-tanque

T_{amb-ext}= Temperatura del ambiente exterior al recinto = 19 °C (Meteored, 2020).

R_{total}= Sumatoria de las resistencias térmicas por conducción en cada una de las capas en el tanque acumulador → ($R_{\text{total}} = R_{\text{cond1}} + R_{\text{cond2}} + R_{\text{cond3}} \dots$).

Según Calle-Siguencia & Tinoco-Gómez (2018), para el cálculo de las resistencias por conducción se aplica la ecuación:

$$R_{\text{cond}} = \frac{\ln \frac{D}{d}}{2 * \pi * L * K} \quad [^{\circ}C/W] \quad \text{Ec. (53)}$$

Donde:

D= Diámetro mayor de la capa que se está analizando [m].

d= Diámetro menor de la capa [m].

L= Longitud del cilindro [m].

K= Coeficiente de conductividad térmica de los materiales [W/mK].

$$R_{\text{total}} = R_{\text{acero}} + R_{\text{aislante}} + R_{\dots} \quad \text{Ec. (54)}$$

5.3.4.5 Pérdidas por radiación en el tanque colector. Para el cálculo de las pérdidas por radiación en el tanque colector se utiliza la ecuación (28):

$$Q_{\text{rad}} = \varepsilon * \sigma * A_t * (T_s^4 - T_{\text{alrred}}^4) \quad [W]$$

Donde:

ε= Emisividad de la superficie del tanque.

σ= Cte. De Stefan Boltzman [W/m² K⁴].

A_t= Área transversal del tanque de almacenamiento [m²].

Para el cálculo de las pérdidas por radiación en el termo – tanque, en lugar de encontrar el área superficial encontramos el área transversal del tanque interno, mediante la siguiente ecuación:

$$A_t = \pi * r^2 \quad \text{Ec. (55)}$$

5.3.4.6 Eficiencia del colector solar de tubos de vacío. Para el cálculo de la eficiencia del sistema de captación solar, nos basamos en el certificado de conformidad con los criterios establecidos en la norma técnica NTE INEN 2507 Rendimiento Térmico de colectores solares en sistemas de calentamiento de agua para uso sanitario (Cazco, 2020).

Ecuación de eficiencia térmica:

$$x = \frac{T_{in} - T_a}{G} \quad \text{Ec. (56)}$$

Dónde:

T_{in}= Temperatura de entrada al colector = 20.5 °C (**Anexo 3**)

T_a= Temperatura ambiente exterior =19 °C (Meteored, 2020).

G= Irradiancia solar promedio diaria [W/m²].

Para el cálculo final de la eficiencia, tomamos la siguiente ecuación:

$$\eta = 0.691 - 3.5x - 12.2x^2 \quad \text{Ec. (57)}$$

5.3.5 Demandas energéticas

Según MIDUVI (2020), la temperatura ideal para el baño en las piscinas se recomienda entre los 24 °C y 27 °C. Una temperatura mayor de 27 °C a los pocos minutos de permanecer en el agua, puede resultar molesta, sobre todo para aquellos bañistas más activos. Las piscinas para aplicaciones terapéuticas dispondrán de una temperatura acorde al tratamiento. En consideración a la sugerencia que se presenta en la Norma Ecuatoriana de la Construcción se ha dispuesto de los datos obtenidos en la encuesta, en la cual especifica que los rangos de temperatura para ciertas actividades terapéuticas estén entre (28 °C – 30 °C) (**Anexo 2**). Al ser una mezcla de un mismo líquido y sin cambio de estado, podemos determinar el calor que se intercambia desde “el foco caliente” hacia “el foco frío” partiendo de la ecuación (2) de la cantidad neta de transferencia de calor de un sistema.

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

Como el calor cedido es el que pierde el sistema de mayor temperatura, se lo pondrá con signo negativo.

$$-Q_{cedido} = Q_{ganado} \quad \text{Ec. (58)}$$

$$Q_{caliente} = m_c * C_p(H_2O) * (T_{equilibrio} - T_{caliente}) \quad \text{Ec. (59)}$$

$$Q_{frio} = m_f * C_p(H_2O) * (T_{equilibrio} - T_{frio}) \quad \text{Ec. (60)}$$

5.3.5.1 Número de colectores solares. Se considera bombear del volumen total de la piscina terapéutica (30.5 m³) un volumen de agua de (4 m³) hacia los termo – tanques y de esta manera calentar el agua ya sea mediante aporte solar o eléctrico. Para el cálculo de la temperatura del agua requerida en los termo – tanques definimos el valor de diseño a la que se debe encontrar el agua de la piscina en (28 °C), determinamos el valor de la cantidad de energía que se necesitaría aplicarle al agua contenida en cada depósito. Tomando en cuenta de que el sistema será por mezcla, usamos el volumen de los captadores y de esta forma podemos recalculer el volumen total de agua caliente que se requiere de acuerdo al volumen total de agua fría que hay en la piscina. La temperatura de diseño recomendada en los termo-tanques es de (80 °C) y la temperatura de ebullición en la ciudad de Loja (92.8 °C) por ello se tomará el dato de diseño de temperatura en los termo- tanques recomendado para evitar inconvenientes por el efecto de ebullición.

Datos:

Volumen por termo-tanque = 0.4 m³ (Anexo 12).

Volumen total piscina = 30.5 m³ → Tabla 9.

Volumen total termo-tanques (m_c) = 4 m³ → 3989600 gr.

Volumen de la piscina para mezcla (m_f) = 26.5 m³ → 26431100 gr.

Temperatura de confort = 28 °C (Anexo 2).

Temperatura inicial piscina (T_f) = 20.5 °C (Anexo 3).

Temperatura ideal en termo – tanques (T_c) = 80 °C (Temperatura definida para cálculos por el autor).

Haciendo un balance de energía entre las ecuaciones (54) y (55), obtenemos la ecuación (56) para el cálculo de la mezcla entre dos sustancias iguales:

$$\begin{aligned}
 -m_c * C_p(H_2O) * (T_{equilibrio} - T_{caliente}) &= m_f * C_p(H_2O) * (T_{equilibrio} - T_{frio}) \\
 -m_c * (T_{equilibrio} - T_{caliente}) &= m_f * (T_{equilibrio} - T_{frio}) \\
 -m_c * T_{equilibrio} + m_c * T_{caliente} &= m_f * T_{equilibrio} - m_f T_{frio}) \\
 T_{equilibrio} &= \frac{(m_c * T_{caliente}) + (m_f T_{frio})}{(m_f + m_c)} \quad \text{Ec. (61)}
 \end{aligned}$$

5.3.5.2 Energía necesaria en cada termo - tanque. Con la ecuación (2) calculamos la energía requerida en cada termo – tanque para elevar el agua contenida desde los 20.5 °C a 80° C.

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

$$E_{\text{tanque}} = m * C_p * (T_f - T_i)$$

El dimensionamiento se ha dividido en dos procesos: El primer proceso es para el “Arranque del sistema” y el segundo proceso es “Reposición por pérdidas de calor”.

5.3.6 Arranque del sistema

5.3.6.1 Energía diaria solar captada en cada colector. Normalmente se tiene 12 horas de radiación solar, pero se consideró el cálculo para 10 horas.

$$\text{Rad}_{\text{útil}} = \text{Rad}_{\text{prom.hora}} * h \quad \text{Ec. (62)}$$

Donde:

Rad_{prom.hora}= Radiación por hora promedio [kJ/m² h].

h= Horas útiles de radiación.

Radiación neta solar;

$$\text{Rad}_{\text{neta}} = \text{Rad}_{\text{prom.hora}} * \eta \quad \text{Ec. (63)}$$

Donde:

Rad_{útil} = Radiación en horas útiles [kJ/m²].

η= Eficiencia del colector.

A continuación, se calculó la energía total solar al final del día:

$$E_{\text{tot.}} = \text{Rad}_{\text{neta}} * A_{\text{col}} \quad \text{Ec. (64)}$$

Donde:

Rad_{neta}= Radiación neta solar [kJ/m²].

A_{col}= Área del colector [m²].

Una vez determinada la energía total captada por cada colector solar en el día, determinamos la temperatura que se tendrá en cada depósito con la ecuación (2).

La energía eléctrica que se requiera para elevar la temperatura del agua de los termo – tanques a la temperatura óptima (80 °C) se determinó mediante la ecuación (65):

$$E_{\text{resist.}} = E_{\text{tanque}} * E_{\text{tot.}} \quad \text{Ec. (65)}$$

Tiempo de funcionamiento de la resistencia eléctrica:

$$t = \frac{E_{\text{resist.}}}{P_{\text{resist.}}} \quad \text{Ec. (66)}$$

Donde:

$E_{\text{resist.}}$ = Energía aportada por resistencia [kJ].

$P_{\text{resist.}}$ = Potencia de la resistencia eléctrica [kJ/h].

Una vez obtenida la temperatura deseada en los tanques de agua, se realiza la inyección de agua caliente hacia la piscina terapéutica y se calcula la temperatura de equilibrio en la piscina con la ecuación (61).

5.3.6.2 Caída de temperatura en la piscina. Una vez que la piscina ha recibido la primera inyección de agua caliente y ha logrado llegar a la temperatura adecuada transcurrirán las horas en las cuales las pérdidas de calor serán notorias. Utilizamos como punto de partida la ecuación (2) para poder determinar la temperatura final en la piscina terapéutica luego del tiempo transcurrido y que las pérdidas hayan disminuido la temperatura de confort.

5.3.6.3 Reposición por pérdidas de calor. Para la compensación por pérdidas de calor se hace una recirculación del fluido desde los termo- tanques hacia la piscina. Teniendo en cuenta que en esta etapa la energía necesaria para elevar la temperatura del agua de la piscina es menor que al inicio en el “Arranque del sistema”, se hará una inyección de menor volumen de agua caliente, esto con el fin de simplificar costos de energía eléctrica que se use por la activación de resistencias eléctricas en el caso que la energía solar no supla la demanda. Para la determinación de la nueva temperatura y la cantidad de energía que se requiere en cada termo – tanque se realizó un análisis en la ecuación (61) y se aplicó la ecuación (2) para determinar la cantidad de energía necesaria. Considerando que la energía solar captada por los colectores durante el tiempo de uso de la piscina no sea suficiente para suplir las pérdidas de calor, se determinará le energía eléctrica que se debería aportar por parte de la resistencia eléctrica por medio de las resistencias.

$$E_{\text{resist.}} = E_{\text{rep.}} * E_{\text{apo.solar h}} \quad \text{Ec. (67)}$$

Donde:

$E_{\text{rep.}}$ = Energía necesaria en termo – tanques para reposición de pérdidas de calor [kJ].

$E_{\text{app. solar h}}$ = Energía solar aportada en tiempo de uso de la piscina [kJ].

Una vez se obtengan los datos de energía necesaria para la suplir las pérdidas en la piscina, se recalcula la temperatura de equilibrio en la piscina con la ecuación (61).

5.3.7 Demanda energética total

Para el cálculo de la energía requerida mensualmente es necesario tener un promedio de temperatura mensual del sector. Los datos de temperatura promedio por mes en la ciudad de Loja se muestran en la **Figura 25** y se tomaron de (Weaaher Atlas, 2021).

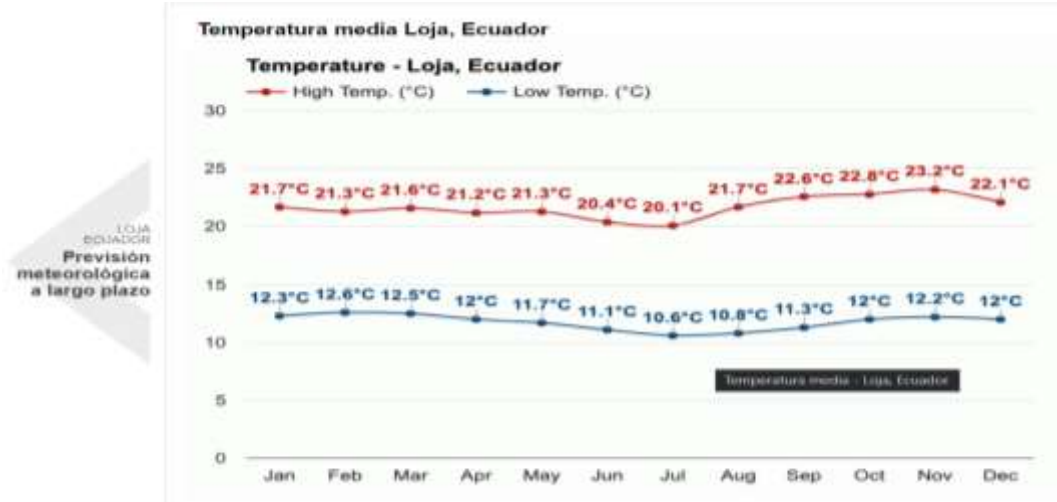


Figura 25. Promedio de temperatura mensual en la ciudad de Loja (Weaaher Atlas, 2021).

5.3.7.1 Pérdidas de calor mensuales. Para el cálculo de las pérdidas para cada mes, se consideró un tiempo de pérdidas de 5 horas al día y el uso de la piscina de 2 veces por semana (**Anexo 2**). Considerando que cada mes tiene un promedio de temperatura diferente, reemplazamos las temperaturas de ambiente en las ecuaciones de pérdidas de calor para cada caso y de esta manera obtenemos las pérdidas para cada mes.

$$Prd_{\text{calor mensual}} = PC_{\text{cada mes}} * \text{días}_{\text{uso}} * h_{\text{uso}} \quad \text{Ec. (68)}$$

Donde:

PC cada mes = Pérdida de calor mensual en cada mes [kJ].

días uso = Días de uso al mes.

h uso = Horas de pérdidas de calor diarias.

5.3.7.2 Energía diaria para el arranque del sistema.

$$E_{\text{diaria-requerida}} = (E_{\text{tanque}} * N) + (Per_{\text{tanque}} * N) + (E_{\text{rep.pérd.}} * N) \quad \text{Ec. (69)}$$

Dónde:

E tanque = Energía requerida en cada tanque para elevar el agua de 20.5 °C a 80 °C [kJ].

Per. tanque = Pérdidas de calor en el termo – tanque por hora [kJ].

E rep. pérd.= Energía de reposición de pérdidas de calor [kJ].
N= Número de colectores solares.

5.3.7.3 Porcentaje de aporte de energía solar. Para el cálculo de la fracción solar usamos la siguiente ecuación:

$$\%_{\text{solar}} = \frac{(E_{\text{solar aportada}} * 100 \%)}{E_{\text{total demanda}}} \quad \text{Ec. (70)}$$

Donde:

E solar aportada = Energía solar en cada mes del año [kJ].

E total demanda = Energía total requerida en cada mes del año [kJ].

La energía de demanda total para cada mes del año se calcula con la siguiente ecuación:

$$E_{\text{total demanda}} = (E_{\text{tanque}} * \text{días}_{\text{uso mensual}}) + \text{Prd}_{\text{calor mensual}} + \text{Prd}_{\text{tanque}} \quad \text{Ec. (71)}$$

Donde:

E tanque = Energía requerida en cada tanque para elevar el agua de 20.5°C a 80°C [kJ].

Prd. calor mensual = Pérdidas de calor en la piscina por cada mes [kJ].

Prd. tanque = Pérdidas de calor en el termo – tanque.

Aporte de energía solar para cada mes del año:

$$E_{\text{solar mensual}} = (\text{Rad. solar por mes} * A_{\text{cap.}})(3600 \text{ KJ}) (\text{días}_{\text{rad.}}) \quad \text{Ec. (72)}$$

Donde:

Rad. solar por mes = Irradiación diaria promedio para cada mes [kWh/m²].

A cap. = Área total de captación solar del colector [m²].

Días rad = Días de radiación disponible.

5.3.8 Dimensionamiento hidráulico

Se tiene los siguientes parámetros de diseño:

- El calentamiento de agua se realizará con 10 calentadores solares presurizados, de tubos al vacío de 400 litros cada uno los cuales son híbridos, es decir el calor se obtiene del sol y por resistencias eléctricas (**Anexo 12**).
- La presión de servicio requerida por el fabricante de estos calentadores es 30 Psi en la entrada al termo – tanque, por lo que se desprecia la pérdida de presión en la tubería aguas abajo (**Anexo 12**).
- Por diseño se ha determinado que se necesita recircular los 4 m³ de agua contenido en los 10 termo - tanques en un término de tiempo de 20 minutos.

- La bomba absorberá en su primer ciclo el agua contenida en la piscina a temperatura ambiente, se calienta a 80 °C en los calentadores híbridos y es retornada a esta temperatura par ser mezclada con el resto de agua de la piscina y alcanzar la temperatura de confort de (28 °C – 30 °C) (**Anexo 2**).

5.3.8.1 Diámetro del sistema de tuberías. Para el cálculo del diámetro de tuberías en cada tramo, inicialmente determinamos el caudal requerido con los parámetros establecidos:

$$Q = V/t \quad [m^3/s] \quad \text{Ec. (73)}$$

Donde:

V= Volumen requerido [m³].

t = Tiempo estimado para bombear [min].

Una vez obtenido el caudal, determinamos el área transversal de la sección de tubería, el diámetro de tubería y el diámetro comercial a partir de la ecuación:

$$Q = v * A$$

$$A = \frac{Q}{v} \quad [m^2] \quad \text{Ec. (74)}$$

Donde:

v= Velocidad recomendada del fluido [m/s²].

A= Área de la sección [m²].

5.3.8.2 Dimensionamiento de la bomba. De la ecuación de conservación de la energía de acuerdo a la bibliografía de Robert Mott se obtiene:

$$\frac{P_1}{\gamma} + z_1 + \frac{v_1^2}{2g} + TDH - h_{r1-2} = \frac{P_2}{\gamma} + z_2 + \frac{v_2^2}{2g} \quad \text{Ec. (75)}$$

$$TDH = \frac{P_2}{\gamma} + z_2 + h_{r1-2} + \frac{v_2^2}{2g} - \left(\frac{P_1}{\gamma} + z_1 + \frac{v_1^2}{2g} \right)$$

$$h_{r1-2} = h_{r1-A} + h_{rA-2}$$

$$h_{rtot} = h_{rp} + h_{rs}$$

Donde:

h_{rp} = Pérdidas primarias.

h_{rs} = Pérdidas secundarias.

TDH= Altura dinámica total.

Para el cálculo de las pérdidas primarias se utiliza las ecuaciones de Darcy Weisbach.

$$h_{rp} = \frac{\lambda L}{D} * \frac{v^2}{2g} \quad \text{Ec. (76)}$$

Donde:

λ = Coeficiente de pérdidas primarias.

L= Longitud del tramo [m].

D= Diámetro de la tubería del tramo [m].

v= Velocidad en el tramo [m/s].

g= Gravedad [m²/s].

El Cálculo del coeficiente de pérdidas primarias λ , se evalúa con la ecuación desarrollada por P. K. Swameey A. K. Jain, ilustrada en la bibliografía de Robert Moot (Jose, 2011).

$$\lambda = \frac{0.25}{\left[\log_{10} \left(\frac{k}{3.7 * D} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right]^2} \quad \text{Ec. (77)}$$

Donde:

k= Rugosidad absoluta del material de tubería.

D= Diámetro interno de la tubería [m].

Re= Número de Reynolds.

El Número de Reynolds nos sirve para determinar el régimen en el que se encuentra el fluido y se determina con la ecuación (78).

$$Re = \frac{v * D}{\nu} \quad \text{Ec. (78)}$$

Donde:

v= Velocidad del fluido en cada tramo [m/s].

D= Diámetro interno de la tubería [m].

ν = Viscosidad cinemática del fluido [m²/s].

Para las pérdidas por accesorios se utiliza la ecuación fundamental de pérdidas secundarias acorde con la bibliografía de Claudio Mataix.

$$h_{rs} = K * \frac{v^2}{2g} \quad \text{Ec. (79)}$$

Donde **K** representa el factor de pérdidas por accesorios.

Para determinar la cavitación hidráulica de la bomba utilizamos la ecuación (80):

$$NPSHd = \frac{P_{ABS.} - P_{SAT.}}{\gamma} - Z - h_{asp} \quad \text{Ec. (80)}$$

Donde:

P_{ABS.} = Presión en el tanque reservorio [Pa].

P_{SAT.} = Presión de saturación a una temperatura determinada del fluido [Pa].

Z= Nivel que hay entre el tanque y la bomba [m].

h_{asp} = Pérdidas hasta la entrada en la bomba [m].

5.3.9 *Monitoreo del sistema*

En el mercado actualmente encontramos una infinidad de autómatas programables, los cuales están diseñados para controlar en tiempo real una serie de procesos que se requieran en el campo industrial. La controladora TK – 8A cuenta con un sistema integrado que permite el monitoreo de temperatura y nivel de agua en cada termo - tanque, además del accionamiento de bombas automáticamente, de esta manera este controlador es ideal y cuenta con las características que se necesitan para cumplir los procesos destinados en la piscina terapéutica

- Llenado automático de agua en el termo-tanque al llegar a un nivel determinado o al bajar del 25%, chequear en forma automática el nivel del agua del termo-tanque solar cada 24 horas o llenado manual al nivel de agua que se desee.
- Control de temperatura o controlar la temperatura mínima del termo-tanque solar mediante resistencia eléctrica o calentar el agua hasta elevarla a la temperatura que se desee.

5.3.10 *Análisis económico del sistema*

Todas las propuestas de proyectos requieren de un análisis para verificar su rentabilidad y de esa manera determinar cuán viable y factible resultaría su construcción. Para determinar el costo de inversión inicial del proyecto sumamos las cifras tanto de los costos directos e indirectos.

5.3.10.1 Costos por accesorios. Son los precios que tendrán cada componente de los diferentes sistemas a implementar: hidráulico, eléctrico, entre otros.

5.3.10.2 Costos por el sistema de calentamiento de agua. Son los precios relacionados a la compra del sistema de colección solar, recalcando que se incluyen los accesorios adicionales como: controladora TK-8A, electroválvulas.

5.3.10.3 Costos por mano de obra. Hace referencia a los costos por instalación de los sistemas hidráulicos, eléctricos e instalación de los “Kits” solares.

5.3.10.4 Costos totales del proyecto. Para obtener el resultado de este tipo de coste, utilizamos la ecuación (81).

$$\text{Costo}_{\text{total}} = \text{Costos}_{\text{directos}} + \text{Costos}_{\text{indirectos}} \quad \text{Ec. (81)}$$

Donde:

Costos directos = Costos directos del proyecto [USD].

Costos indirectos = Costos indirectos del proyecto [USD].

Se estiman los costos por la puesta en marcha del sistema de calentamiento, consumo energético y mantenimiento del sistema general.

5.3.10.5 Costos por consumo eléctrico. Para el cálculo de estos costos por consumo de energía eléctrica por parte de la resistencia eléctrica, se aplicó la ecuación (82).

$$\text{Costo}_{\text{energ.eléct.anual}} = \text{Aporte}_{\text{energético eléct.}} * \text{Costo}_{\text{kW-h}} \quad \text{Ec. (82)}$$

Donde:

Aporte _{energético eléct.} = Energía eléctrica aportada al sistema anualmente [kW - h].

Costo _{kW-h} = Tarifa energética por kW-h.

5.3.10.6 Costos por consumo de energía de la bomba. Estos costos están dentro del marco de la activación de la bomba en cuánto la piscina terapéutica requiera ser nuevamente calentada o recircular el fluido. Para esto se usó la ecuación (83) y (84).

$$\text{Consumo bomba}_{\text{total-año}} = \text{Consumo bomba} * 1 \text{ h/día} * 96 \text{ días} \quad \text{Ec. (83)}$$

Donde Consumo _{bomba} representa el consumo de acuerdo a la potencia que tena la misma.

Luego, se calcula el valor de costo:

$$\text{Costo energía anual}_{\text{activación bomba}} = \text{Cons. bomba}_{\text{total-año}} * \text{Costo}_{\text{kW-h}} \quad \text{Ec. (84)}$$

5.3.10.7 Costos por mantenimiento. Este tipo de costos varían de acuerdo a los sistemas que se encuentren integrados en la implementación del proyecto.

5.3.10.8 Costos por tratamiento químico con manta térmica. Mediante el tratamiento químico se eliminan bacterias, mantenemos el agua clara y evitamos el crecimiento de algas. Según se menciona en Carvajal Paucar & Mejía Almeida (2021), usar una manta térmica ayuda a reducir pérdidas de calor y la utilización de productos químicos desde el 40% y 50%.

5.3.10.9 Ahorro por aporte solar al sistema. En esta ecuación, tomamos en cuenta el aporte solar al sistema de calentamiento de agua para determinar el costo que se ahorraría mediante la ecuación (85).

$$\text{Ahorro energético}_{\text{anual}} = \text{Aporte total}_{\text{anual}} * \text{Costo}_{\text{energía}} \quad \text{Ec. (85)}$$

Donde:

Aporte total anual = Aporte de energía solar anual [kW-h].

Costo energía = Tarifa energética [USD].

5.3.10.10 Rentabilidad del proyecto. Usamos la ecuación (86) con la cual determinamos el VAN y la ecuación (87) para determinar la TIR.

$$VAN = -I_o + \sum_{t=0}^n \frac{FNE}{(1+i)^t} \quad \text{Ec. (86)}$$

Donde:

I_o = Inversión inicial [USD].

FNE = Flujo neto efectivo [USD].

i = Tasa de interés [%].

t= Año en el que se genera el flujo de efectivo.

La TIR:

$$VAN = -I_o + \sum_{t=0}^n \frac{FN_t}{(1+TIR)^t} = 0 \quad \text{Ec. (87)}$$

Donde:

I_o = Inversión inicial [USD].

FN_t = Flujo neto efectivo en el período [USD].

TIR = Tasa interna de rendimiento.

t= Periodos.

6 Resultados

6.1 Características principales del sistema de calentamiento actual de la piscina terapéutica del MIES-LOJA.

Las medidas de la edificación donde se encuentra la piscina son: 8.47 m en la parte frontal, 5.32 m de altura en la caseta de la piscina y 8.09 m de fondo (véase **Figura 26**).

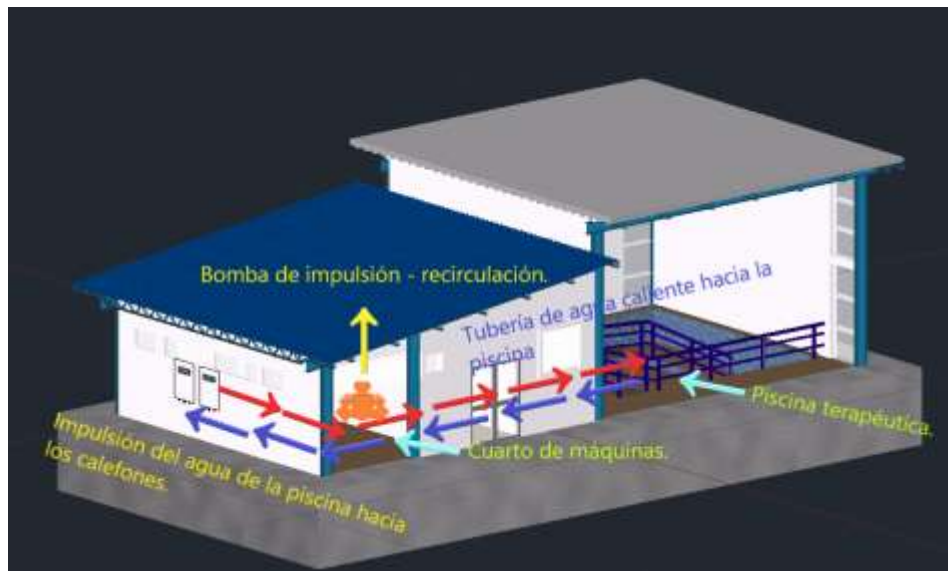


Figura 26. Edificio del MIES en el que se encuentra la piscina terapéutica (El autor).

6.1.1 Características hidráulicas de la piscina

6.1.1.1 Piscina terapéutica. Cuenta con plataformas para facilitar el acceso de los usuarios, las dimensiones se presentan en la **Figura 27**.

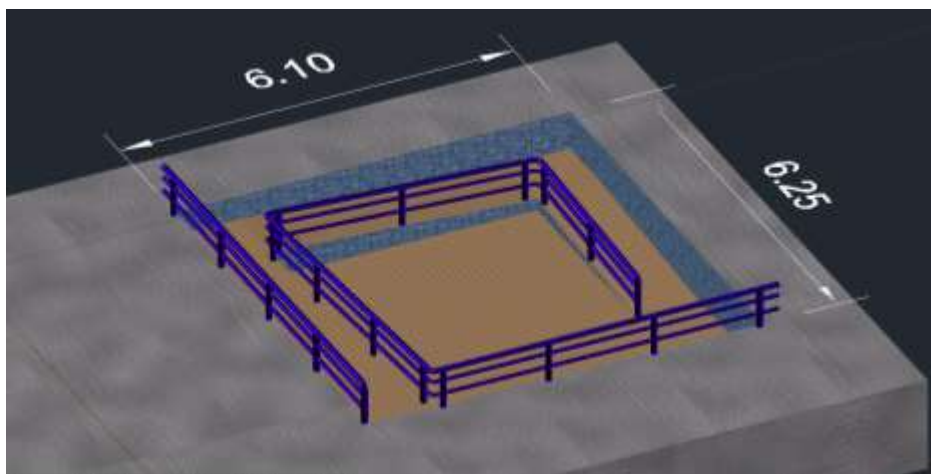


Figura 27. Dimensiones de la piscina terapéutica del MIES- Loja (El autor).

Tenemos un área de 38.125 m² y un volumen total de 41.93 m³. Considerando las plataformas: plataforma 1 (5.81 m³), esquina 1 (0.57 m³), plataforma 2 (1.19 m³), esquina 2 (0.26 m³), plataforma 3 (0.91 m³) y asiento de concreto (0.3360 m³) quedando como resultado un volumen de agua neto de 30.5 m³. Todos los datos se obtuvieron con un levantamiento en el sitio (**Tabla 9**) y posteriormente se representó en el software de diseño Auto – CAD.

Tabla 9

Resumen de las dimensiones del sector de estudio.

	L (m)	A (m)	H (m)	Área concreto (m ²)	Área vidrio (m ²)	Espesor concreto (m)	Espesor vidrio (m)	Área total (m ²)	Volumen (m ³)
Piscina	6.25	6.1	1.1	-	-	-	-	38.12	41.93
Plataformas	-	-	-	-	-	-	-	-	11.35
Cerramiento Norte	5.18	7.81	-	36.07	4.38	0.14	0.005	40.45	-
Cerramiento Sur	5.18	7.81	-	36.23	-	0.14	-	40.45	-
*Puerta									
Cerramiento Este	5.18	8.47	-	39.49	5.7	0.14	0.005	45.19	-
Cerramiento Oeste	5.18	8.47	-	39.49	5.7	0.14	0.005	45.19	-
Techo	10.09	9.35	-	-	-	0.15	-	94.34	-

Fuente: (El autor).

6.1.1.2 Cuarto de máquinas. Entre los elementos encontrados dentro del cuarto de máquinas tenemos: (**Figura 28**).

1. Bomba de impulsión - recirculación.
2. Bomba de circulación para el hidromasaje.
3. Filtro.
4. Caja de control y accionamiento.
5. Blower o sopladora de aire.
6. Tuberías de conducción de agua fría y caliente.



Figura 28. Cuarto de máquinas (El autor).

6.1.1.3 Climatizado de la piscina terapéutica. A continuación, en la **Figura 29** se presenta el esquema del sistema actual de calentamiento de agua de la piscina terapéutica.

1. Válvula de paso.
2. Bomba de circuito primario.
3. Tuerca de unión.
4. Tablero de control.
5. Tubería de agua fría.
6. Calefón a gas.
7. Válvula anti retorno.
8. Tubería de agua caliente.
9. Inyectores.
10. Piscina.
11. Skimmer.
12. Sumidero.
13. Salida agua fría hacia bomba.

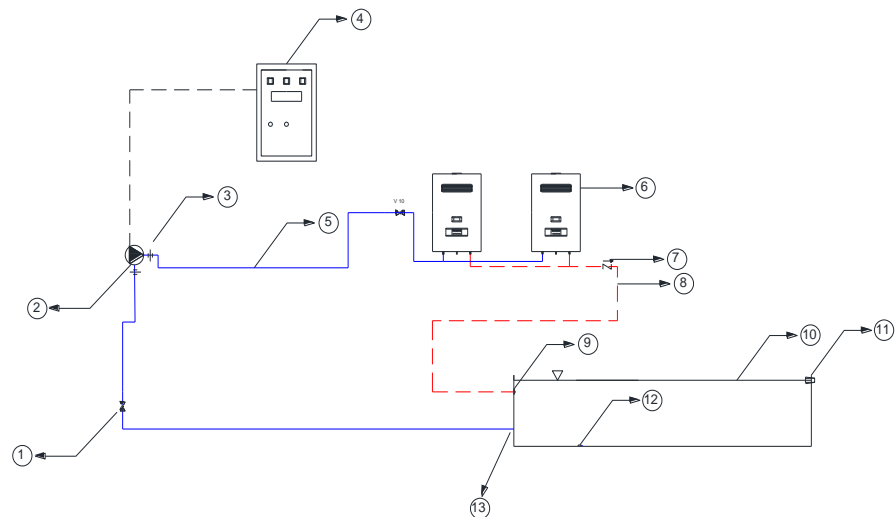


Figura 29. Diagrama de componentes del sistema de calentamiento de agua actual de la piscina terapéutica (El autor).

6.1.1.4 Características del sistema de calentamiento actual de la piscina terapéutica. Se encuentran instalados 2 calefones de la marca “INSTAMATIC GO - 180” de 26 litros Este sistema de calefón está conectado exclusivamente para el uso de la piscina (véase **Figura 30**).

Largo: 77 cm.
Ancho: 45 cm.
Profundidad: 26 cm.
Peso: 15 kg.
Capacidad: 26 litros.
Conexión tubería: 1/2”
Eficiencia: 84%
Potencia nominal: 22.73 kW
Consumo nominal: -----
Caudal nominal: 16 l/m
Batería: 1.5 mini – voltios (pila grande)



Figura 30. Calefones del sistema actual para el calentamiento del agua de la piscina terapéutica (El autor)
(Compra Ecuador, n.d.)

6.1.1.5 Sistema de recirculación. Para la impulsión y recirculación el sistema actual cuenta con la instalación de una bomba de la marca Emaux, serie SB30 la cual es la encargada de realizar el bombeo del fluido desde la piscina hacia los calefones conectados en la parte exterior del recinto, también se encarga de la recirculación para el tratamiento del agua en el filtro o a su vez al desagüe (estas últimas actividades dependen de la dirección en que se maniobre la depuradora).

BOMBA “EMAUX” (Bombeo, filtrado y desagüe)

Modelo: SB30.
Voltaje: 220 – 240 V.
Frecuencia: 60 Hz.
H min: 8.5 metros.
Potencia: 2.18 kW
RPM: 3400 r/min
Q máx.: 30.4 m³/h.



Figura 31. Bomba de circulación EMAUX modelo SB30. (Emaux Super-Power Series Commercial for Residential Pool & Spa, n.d.).

Esta bomba es accionada manualmente en el tablero de control, las derivaciones en la depuradora definirán la circulación (filtro, colectores solares o desagüe). En la **Figura 32** se representa la dirección del agua fría y agua caliente por las tuberías.



Figura 32. Circulación del agua fría y agua caliente (El autor).

6.1.1.6 Tablero de control. La activación de las bombas, válvulas de paso o de corte es un proceso que se lleva a cabo mediante actuadores en un determinado tablero de control, es aquí donde se pone en marcha todas las operaciones de la piscina como su llenado, recirculación, clorado o desagüe. Como se observa en la **Figura 33**, el tablero de control actual no cuenta con un sistema automatizado total, es decir, encontramos actuadores los cuales deben ser accionados manualmente, no cuentan con un panel visible de temperatura y nivel de agua, no cuenta con instalación de sensores y tampoco tiene un autómata programable, este último sería quien lleve a cabo las órdenes en secuencia que se necesitaría para la activación de los elementos del sistema de calentamiento de agua en la piscina.

1. Breaker general.
2. Portafusibles.
3. Contactor Hidromasaje – Blower.
4. Contactor Bomba 1.
5. Contactor Bomba 2.
6. Borneras.
7. Relé térmico.



Figura 33. Tablero de control del cuarto de máquinas (El autor).

6.1.2 Consumo y costos por calentamiento de la piscina usando calefones a GLP

Determinamos la cantidad de masa a calentar usando la ecuación (1):

$$\rho = \frac{m}{V_{\text{piscina}}}$$

$$m = \rho * V_{\text{piscina}}$$

$$m = \left(997 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)(30.5 \text{ m}^3)$$

$$m = 30408.5 \text{ kg}$$

Mediante la ecuación (2) determinamos la cantidad de energía requerida y usamos la ecuación (3) para determinar la potencia de los calefones para calentar el agua de la piscina en un tiempo establecido de 6 horas.

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

$$Q = (30408.5 \text{ kg}) * (4.19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg } ^\circ\text{C}}) * (28 ^\circ\text{C} - 20.5 ^\circ\text{C})$$

$$Q = 955587.11 \text{ KJ} * \frac{1 \text{ kW} - \text{h}}{3600 \text{ KJ}} = \frac{265.44 \text{ kW/h}}{6 \text{ horas}} = 44.24 \text{ kW}$$

La potencia de cada calefón Instamatic que se encuentran instalados es de 22.73 kW conectados en paralelo, lo cual el dimensionamiento de acuerdo a la potencia es correcto.

Usamos la ecuación (4) para determinar el coste diario que representa la cantidad de energía necesaria para elevar el agua de la piscina desde los 20.5 °C hasta los 28 °C, para ello se realiza una conversión desde las unidades de energía a unidades físicas. Tenemos los siguientes parámetros:

1 b.b.l. o BEP (barril equivalente de petróleo) = 158.98 lts. = 42 galones americanos (**Anexo 4**).

1 b.b.l de GLP = 0.6701 BEP (barril equivalente de petróleo) (**Anexo 5**).

1 BEP = 6.118 x 10⁹ J (Wikipedia, 2020).

Inicialmente, obtenemos el valor de la energía requerida 955587.11 kJ → 955587110 J representada en BEP y barriles americanos de GLP.

$$x = \frac{(1 \text{ BEP})(955587110 \text{ J})}{(6.118 \times 10^9 \text{ J})} = 0.15619 \text{ BEP} * \frac{1 \text{ b. b. l GLP}}{0.6701 \text{ BEP}} = 0.23308 \text{ b. b. l - GPL}$$

Considerando que en 1 BEP hay 158.98 lts, obtenemos los litros que contiene 1 b.b.l. – GLP (0.6701 BEP):

$$x = \frac{(158.98 \text{ lts})(0.6701 \text{ BEP})}{(1 \text{ BEP})} = 106.53 \text{ lts.}$$

Obteniendo que; en 1 b.b. l. – GLP (0. 6701 BEP) hay 106.53 lts. calculamos cuántos litros hay en 0.23308 b.b.l – GLP (0.15619 BEP) y el volumen.

$$x = \frac{(106.53 \text{ lts})(0.23308 \text{ b. b. l. –GLP})}{(1 \text{ b. b. l. –GLP})} = 24.83 \text{ lts} * \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ lts}} = 0.02483 \text{ m}^3$$

Se obtiene del (**Anexo 6**) que la densidad del GLP es 0.55 ton / m³. Transformamos a kg/m³

$$0.55 \frac{\text{ton}}{\text{m}^3} * \frac{1000 \text{ kg}}{1 \text{ ton}} = 550 \text{ kg/m}^3$$

Finalmente, calculamos la masa de GLP que contiene la cantidad de energía para calentar el agua de la piscina hasta los 28°C con la ecuación (1):

$$\rho = \frac{m}{V} \rightarrow m = \rho * V = \left(550 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) (0.02483 \text{ m}^3) = 13.66 \text{ kg – GLP.}$$

Determinamos el costo diario por consumo de GLP – industrial aplicando la ecuación (4):

$$\begin{aligned} \text{Coste}_{\text{diario}} &= \text{Consumo}_{\text{GLP}} * \text{Costo}_{\text{GLP}} \\ \text{Coste}_{\text{diario}} &= (13.66 \text{ kg – GLP}) * (1.047 \text{ USD/kg}) \\ \text{Coste}_{\text{diario}} &= 14.29 \text{ USD.} \end{aligned}$$

El costo mensual será:

$$\begin{aligned} \text{Coste}_{\text{mensual}} &= \text{Coste}_{\text{diario}} * \text{días}_{\text{mes}} \\ \text{Coste}_{\text{mensual}} &= (\text{USD } 14.29) * (8 \text{ días}) \\ \text{Coste}_{\text{mensual}} &= \text{USD } 114.38 \end{aligned}$$

El coste anual se calcular con la ecuación (6):

$$\begin{aligned} \text{Coste}_{\text{anual}} &= \text{Coste}_{\text{mensual}} * \text{meses} \\ \text{Coste}_{\text{anual}} &= (\text{USD } 114.38)(12) \\ \text{Coste}_{\text{anual}} &= \text{USD } 1372.64 \end{aligned}$$

6.2 Cálculo de la cinemática solar

6.2.1 Declinación solar (δ)

Para el dimensionamiento del sistema híbrido tomamos como punto de partida trabajar en las “peores condiciones”, es decir, el mes con menor radiación. Según (Vega, 2010), el día más frío en la región Sur Oriental de la ciudad de Loja se aproxima al mes de julio. Con la **Tabla 8** convertimos el día 20 del mes de Julio en el número del día del año, obteniendo 201. De esta forma, sustituimos el valor de “n” en la ecuación (7).

$$\delta = 23.45 \operatorname{sen} \left(360 \left(\frac{284+n}{365} \right) \right)$$
$$\delta = 20.63^\circ$$

6.2.2 Ángulo horario de la salida del sol (W_s)

Usamos la ecuación (8):

Latitud (ϕ): 4.01°

$$W_s = \cos^{-1}(-\tan\phi * \tan\delta)$$

$$W_s = \cos^{-1}(-\tan(-4.01) * \tan(20.63))$$

$$W_s = 88.48^\circ$$

6.2.3 Determinación de la radiación solar extraterrestre sobre una superficie normal al sol (H_o)

Para ello usamos la ecuación (9):

La potencia radiante del sol el límite exterior de la atmósfera terrestre, a una distancia de unos 150 millones de kilómetros, corresponde a aproximadamente 1367 W/m^2 . Este valor se denomina **Constante Solar (G_{sc})** (Energética Futura, 2010).

$$G_{sc} = 1367 \text{ W/m}^2$$

$$H_o = \frac{24 * 3600 * 1367}{\pi} \left(1 + 0.033 * \cos \left(\frac{360 * 201}{365} \right) \right) \left[\cos(-4.01) * \cos(20.63) \right. \\ \left. * \operatorname{sen}(88.48) + \left(\frac{\pi * 88.48}{180} \right) * \operatorname{sen}(-4.01) * \operatorname{sen}(20.63) \right]$$
$$H_o = 32600675.93 \text{ J/m}^2\text{h}$$
$$H_o = 3.260 \times 10^4 \text{ kJ/m}^2\text{h}$$

6.2.4 Cálculo de la radiación diaria por unidad de área de una superficie horizontal (H')

Determinamos la radiación mediante la ecuación (10):

$$H' = K_T * H_o$$

Primero se calcula el índice de nubosidad con la ecuación (11):

$$K_t = \frac{12204}{H_o}$$

$$K_t = \frac{12204}{3.26 * 10^4}$$

$$K_t = 0.374$$

Reemplazamos en la ecuación (10).

$$H' = (0.374) * (3.26 * 10^4)$$

$$H' = 1.220 * 10^4 \text{ kJ/m}^2\text{h}$$

6.2.5 Cálculo de la radiación difusa diaria que cae sobre una superficie horizontal (H_d')

Se determina el factor del índice de nubosidad con la ecuación (13):

$$f(K_t) = 1.3903 - 4.0273 * K_t + 5.5315 * K_t^2 - 3.1080 * K_t^3$$

$$f(K_t) = 1.3903 - 4.0273 * (0.374) + 5.5315 * (0.374)^2 - 3.1080 * (0.374)^3$$

$$f(K_t) = 0.4952$$

Sustituimos en la ecuación (12):

$$H_d' = f(K_t) * H$$

$$H_d' = (0.4952) * 1.220 * 10^4$$

$$H_d' = 6.04 * 10^3 \text{ kJ/m}^2\text{h}$$

6.2.6 Determinación de la radiación solar horaria por unidad de área que cae sobre una superficie horizontal (H)

A continuación, se realiza el cálculo para encontrar “K” y “H” para el valor de $W=60^\circ$, los resultados de todos los “W” se presentan en la Tabla 10.

Inicialmente calculamos los valores en las ecuaciones (15.1) y (15.2).

$$a = 0.409 + 0.5016 \sin^*(W_s - 60)$$

$$b = 0.6609 - 0.4767 \sin^*(W_s - 60)$$

$$a = 0.409 + 0.5016 \sin^*(88.48 - 60)$$

$$b = 0.6609 - 0.4767 \sin^*(88.48 - 60)$$

$$a = 0.648$$

$$b = 0.433$$

Aplicamos la ecuación (15) para determinar “K”:

$$K = \left(\frac{\pi}{24} \right) (a + b * \cos W) \left[\frac{\cos W - \cos W_s}{\sin W_s - \left[\left(\frac{\pi * W_s}{180} \right) \cos W_s \right]} \right]$$

$$K = \left(\frac{\pi}{24}\right) (0.8645) \left[\frac{\cos(60^\circ) - \cos(88.48^\circ)}{\sin(88.48^\circ) - \left[\left(\frac{\pi * 88.48^\circ}{180}\right) \cos(88.48^\circ)\right]} \right]$$

$$K = 0.055$$

Una vez calculados los valores, sustituimos en la ecuación (14) para obtener la radiación solar horaria por unidad de área y representamos sus valores en la **Tabla 10**.

$$H = K * H'$$

$$H = (1.220 * 10^4 \text{ KJ/m}^2\text{h}) (0.055)$$

$$H = 671 \text{ kJ/m}^2\text{h}$$

Tabla 10

Valores de “K” y radiación solar horaria sobre una superficie horizontal.

Ángulo horario (W)	Horas del día	K	H(kJ/m ² h)
75°	6-7 17-18	0.024	292.8
60°	7-8 16-17	0.055	671
45°	8-9 15-16	0.088	1.073*10 ³
30°	9-10 14-15	0.117	1.427*10 ³
15°	10-11 13-14	0.136	1.659*10 ³
0°	11-12 12-13	0.14	1.708*10 ³

Fuente: (El autor).

6.2.7 Determinación de la radiación difusa horaria por unidad de área que cae sobre una superficie horizontal (H_d)

De la misma manera que en el caso anterior, determinamos “K_d” con la ecuación (17) y “H_d” mediante la ecuación (16) para el W=60°, el resto de los valores se encuentran representados en la

Tabla 11.

$$K_d = \left(\frac{\pi}{24}\right) \left[\frac{\cos W - \cos W_s}{\sin W_s - \left[\left(\frac{\pi * W_s}{180}\right) \cos W_s\right]} \right]$$

$$K_d = \left(\frac{\pi}{24}\right) \left[\frac{\cos(60^\circ) - \cos(88.48^\circ)}{\sin(88.48^\circ) - \left[\left(\frac{\pi * 88.48^\circ}{180}\right) \cos(88.48^\circ)\right]} \right]$$

$$K_d = 0.064$$

Tabla 11*Radiación difusa horaria por unidad de área.*

Ángulo horario (W)	Horas del día		Kd	Hd (kJ/m ² h)
75°	6-7	17-18	0.031	187.27
60°	7-8	16-17	0.064	386.62
45°	8-9	15-16	0.092	555.77
30°	9-10	14-15	0.11	688.67
15°	10-11	13-14	0.12	773.25
0°	11-12	12-13	0.13	797.41

Fuente: (El autor).

6.2.8 Determinación del valor del ángulo de incidencia horaria de la radiación solar directa sobre el calentador solar (θ_t)

Se determina el valor para el ángulo $W=60^\circ$ mediante la ecuación (19), los valores adicionales para cada ángulo horario están representados en la **Tabla 12**.

$$\begin{aligned} \cos\theta_t &= \cos(\phi+\beta) * \cos\delta * \cos W + \sin(\phi+\beta) * \sin\delta \\ \cos\theta_t &= \cos(4.01^\circ + 14^\circ) * \cos(20.63^\circ) * \cos(60^\circ) + \sin(4.01^\circ+14^\circ) * \sin(20.63^\circ) \\ \cos\theta_t &= 0.541 \end{aligned}$$

Tabla 12*Ángulo de incidencia horaria.*

Ángulo horario. (W)	Hora del día		θ_t	Cos θ_t
75°	6-7	17-18	71.03	0.325
60°	7-8	16-17	57.24	0.541
45°	8-9	15-16	43.44	0.726
30°	9-10	14-15	29.77	0.868
15°	10-11	13-14	16.86	0.957
0°	11-12	12-13	9.01	0.986

Fuente: (El autor).

6.2.9 Determinación del ángulo cenital θ_z

De la misma manera que en el anterior cálculo, determinamos el ángulo cenital para el valor de $W=60^\circ$ a partir de la ecuación (20), los valores para todos los ángulos horarios restantes están representados en la **Tabla 13**.

$$\begin{aligned} \cos\theta_z &= \sin\delta * \sin\phi + \cos\delta * \cos\phi * \cos W \\ \cos\theta_z &= \sin(20.63^\circ) * \sin(4.01) + \cos(20.63^\circ) * \cos(4.01) * \cos(60^\circ) \\ \cos\theta_z &= 0.486 \end{aligned}$$

Tabla 13*Ángulo cenital*

Ángulo horario. (W)	Horas del día.		θ_z	Cos θ_z
75°	6-7	17-18	74.69	0.264
60°	7-8	16-17	60.92	0.486
45°	8-9	15-16	47.46	0.676
30°	9-10	14-15	34.71	0.822
15°	10-11	13-14	23.93	0.914
0°	11-12	12-13	19.09	0.945

Fuente: (El autor).

6.2.10 Cálculo de la relación de la radiación solar directa sobre una superficie inclinada y la radiación solar directa sobre una superficie horizontal (R_b)

Se determinó el cálculo de la relación de la radiación solar directa entre un plano inclinado y un plano horizontal con la ecuación (22). En este caso el cálculo se realizó para el ángulo horario de $W=60^\circ$, el resto de valores con los diferentes ángulos horarios están representados en la **Tabla 14**.

$$R_b = \frac{\cos\theta_t}{\cos\theta_z} = \frac{0.541}{0.486} = 1.08$$

Tabla 14*Valores de "Rb" para cada hora del día.*

Ángulo horario. (W)	Horas del día.		Rb
75°	6-7	17-18	1.13
60°	7-8	16-17	1.08
45°	8-9	15-16	1.06
30°	9-10	14-15	1.04
15°	10-11	13-14	1.03
0°	11-12	12-13	1.02

Fuente: (El autor).

6.2.11 Determinación de los valores de la radiación solar horaria que cae sobre la superficie del equipo solar (H_t)

Mediante los valores obtenidos en las tablas anteriores, reemplazamos en la ecuación (23). A continuación, se realizó para el ángulo horario $W=60^\circ$, los valores correspondientes a los demás ángulos están representados en la **Tabla 15**.

$$H_t = (H - H_d) * R_b + \left[H_d \left(\frac{1 + \cos\beta}{2} \right) \right] + \left[H \frac{(1 - \cos\beta) * \rho_t}{2} \right]$$

$$H_t = (671 - 386.62) (1.08) + \left[386.62 \left(\frac{1 + \cos(14^\circ)}{2} \right) \right] + \left[H \frac{(1 - \cos(14^\circ)) * 0.2}{2} \right]$$

$$H_t = 695.5 \text{ kJ/m}^2 \text{ h}$$

Tabla 15*Radiación horaria que cae sobre la superficie del colector.*

Ángulo horario. (W)	Horas del día.	H (kJ/m ² h)	Hd (kJ/m ² h)	Rb	Ht (kJ/m ² h)	Ht (W/m ²)
75°	6-7 17-18	292.8	187.27	1.13	307.17	85.33
60°	7-8 16-17	671	386.62	1.08	695.5	193.19
45°	8-9 15-16	1.073*10 ³	555.77	1.06	1107.21	307.55
30°	9-10 14-15	1.427*10 ³	688.67	1.04	1461.07	405.85
15°	10-11 13-14	1.659*10 ³	773.25	1.03	1697.22	471.45
0°	11-12 12-13	1.708*10 ³	797.41	1.02	1746.38	485.11

Fuente: (El autor).

6.3 Cálculo de pérdidas de calor en la piscina

6.3.1 Cálculo de pérdidas por conducción

Se calculó el factor de forma conductivo con la ecuación (25):

$$S_{\text{pared}} = \frac{A}{L} \quad [\text{m}]$$

Paredes en contacto con el fluido de la piscina:

Pared este: A= 4.86 m²

Pared norte: A= 6.64 m²

Pared oeste: A= 5.96 m²

Pared sur: A= 6.18 m²

Piso: A= 38.055 m²

Todos los valores de las áreas fueron medidos en campo y demostrados en el software AutoCAD.

(Anexo 7).

$$S_{\text{pared este}} = \frac{4.86 \text{ m}^2}{0.20 \text{ m}} = 24.3 \text{ m}$$

$$S_{\text{pared norte}} = \frac{6.64 \text{ m}^2}{0.20 \text{ m}} = 33.24 \text{ m}$$

$$S_{\text{pared oeste}} = \frac{5.96 \text{ m}^2}{0.20 \text{ m}} = 29.8 \text{ m}$$

$$S_{\text{pared sur}} = \frac{6.18 \text{ m}^2}{0.20 \text{ m}} = 30.9 \text{ m}$$

$$S_{\text{pared}} = \frac{38.055 \text{ m}^2}{0.15 \text{ m}} = 253.6 \text{ m}$$

Bordes

Se utiliza la ecuación (26) para determinar el factor de forma para las esquinas de la piscina:

D= 1.10 m. Altura de la piscina.

$$S = 0.54 * D$$

$$S = 0.54 * (1.10 \text{ m})$$

$$S = 0.594 \text{ m}$$

Según en (Vega, 2010), para los vértices se usa la ecuación (27):

$$S = 0.15 * L$$

$$S = 0.15 * 0.20$$

$$S = 0.03$$

En resumen, se suman todos los resultados. Teniendo en cuenta que hay 4 paredes, 8 bordes y 4 vértices.

$$S = (24.3 + 33.24 + 29.8 + 30.9) + 8 (0.594) + 4 (0.03) + 253.6$$

$$S = 376.71 \text{ m}$$

Una vez obtenido el factor de forma conductivo “S”, usamos la ecuación (24) para el cálculo de pérdidas por transmisión.

$$k = 1.75 \text{ W/m K}$$

$$T_s = 28 \text{ °C (Anexo 2).}$$

$$T_{\infty \text{ recinto}} = 21 \text{ °C (Anexo 3).}$$

$$Q_{\text{cond}} = k * s * (T_s - T_{\infty})$$

$$Q_{\text{cond}} = (1.75 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}) (376.71 \text{ m}) (28^{\circ}\text{C} - 21^{\circ}\text{C})$$

$$Q_{\text{cond}} = 4614.70 \text{ W} \rightarrow 16612.91 \text{ kJ/h}$$

6.3.2 Cálculo de pérdidas por radiación

Para el cálculo de las pérdidas por radiación utilizamos la ecuación (28)

$$\epsilon = 0.96$$

$$\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4$$

$$T_s = 28 \text{ °C} \rightarrow [301.15 \text{ K}] \text{ (Anexo 2).}$$

$$T_{\text{alred recinto}} = 21 \text{ °C} \rightarrow [294 \text{ K}] \text{ (Anexo 3).}$$

$$A_s = 38.12 \text{ m}^2 \text{ (Tabla 9).}$$

$$Q_{\text{rad}} = \epsilon * \sigma * A_s * (T_s^4 - T_{\text{alred}}^4)$$

$$Q_{\text{rad}} = (0.96) \left(5.67 * 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}^4} \right) (38.12 \text{ m}^2) (301.15 \text{ K}^4 - 294.15\text{K}^4)$$

$$Q_{\text{rad}} = 1532.77 \text{ W} \rightarrow 5517.97 \text{ kJ/h}$$

6.3.3 Cálculo de pérdidas por evaporación

Inicialmente, calculamos la temperatura de película con la ecuación (41):

$$T_f = \frac{T_s + T_\infty}{2}$$

$$T_f = \frac{28 \text{ °C} + 21 \text{ °C}}{2}$$

$$T_f = 24.5 \text{ °C}$$

Propiedades del agua a temperatura de confort (28 °C) (Anexo 9).

Presión de saturación a 28 °C

25 °C 3.169 kPa

28 °C x Interpolando → $P_{v,s}$ a 28 °C = 3.8152 kPa

30 °C 4.246 kPa

$P_{v,s} = 3.8152 \text{ kPa} \rightarrow (0.038152 \text{ bar}) \rightarrow$ Presión de saturación.

Entalpía de vaporización a 28 °C

25 °C 2442 kJ/kg

28 °C x Interpolando → h_{fg} a 28 °C = 2435.4 kJ/kg

30 °C 2431 kJ/kg

$h_{fg} = 2435.4 \text{ kJ/kg} \rightarrow$ Entalpía de vaporización.

$P_{\text{atm}} = 93.56 \text{ kPa} \rightarrow (0.9234 \text{ atm.}) \rightarrow$ presión atmosférica en Loja. Dato obtenido de (Tutiempo.net, n.d.)

Propiedades del aire en relación con la temperatura de película. (24.5 °C) (Anexo 8).

Conductividad térmica

20 °C 0.02514 W/m K

24.5 °C x Interpolando → k a 24.5 °C = 0.025473 W/ m K

25 °C 0.02551 W/m K

Número de Prandtl

20 °C 0.7309

24.5 °C x Interpolando → Prandtl a 24.5 °C = 0.72

25 °C 0.7296

Difusividad térmica

20 °C $2.074 * 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}^2$

24.5 °C x Interpolando → α a 24.5°C = $2.1343 * 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}^2$

25 °C $2.141 * 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}^2$

A este valor se lo divide para la presión atmosférica del sector:

$$\alpha = \frac{2.1343 * 10^{-5}}{0.9234} = 2.3113 * 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}^2$$

Viscosidad cinemática

20 °C $1.516 * 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$

24.5 °C x Interpolando → ν a 24.5 °C = $1.5574 * 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$

25 °C $1.562 * 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$

A este valor lo dividimos para la presión atmosférica del sector:

$$\nu = \frac{1.5574 * 10^{-5}}{0.9234} = 1.686 * 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$$

El coeficiente de expansión volumétrica

$$\beta = \frac{1}{T_f} = \frac{1}{(273.15 + 24.5)} = 3.35 * 10^{-3} \text{ K}^{-1}$$

➤ Densidad del vapor saturado y del agua saturada en la superficie y lejos de la superficie

La presión de vapor del aire lejos de la superficie del agua es (Vega, 2010):

$$P_{v,\alpha} = \phi * (P_{\text{sat}@T\alpha})$$

Donde:

ϕ = Humedad relativa de la región. (66%) Dato obtenido de (El tiempo y temperaturas.es, n.d.)

$P_{\text{sat}@T\alpha}$ = Presión de saturación a 21 °C → [2.505 kPa] (Vega, 2010).

$$P_{v,\infty} = 0.66 * 2.505 \text{ kPa.}$$

$$P_{v,\infty} = 1.52 \text{ kPa.}$$

Si se consideran al vapor de agua y al aire como gases ideales, y se observa que la presión atmosférica total es igual a la suma de la presión de vapor y del aire seco se determinan las densidades correspondientes como sigue (Vega, 2010):

La densidad del vapor saturado en la superficie se la calcula con la ecuación (37) (Vega, 2010).

$$\rho_{v,s} = \frac{P_{v,s}}{R_v * T_s}$$

$$\rho_{v,s} = \frac{3.815 \text{ kPa}}{0.4615 \left(\text{kPa m}^3 / \text{kg K} \right) (301.15 \text{ K})}$$

$$\rho_{v,s} = 0.02744 \text{ kg/m}^3$$

La densidad del agua saturada en la superficie se la calcula con la ecuación (38) (Vega, 2010).

$$\rho_{a,s} = \frac{P_{a,s}}{R_a * T_s}$$

$$\rho_{a,s} = \frac{(93.56 - 3.815) \text{ kPa}}{\left(0.287 \text{ kPa m}^3 / \text{kg K} \right) (301.15 \text{ K})}$$

$$\rho_{a,s} = 1.038 \text{ kg/m}^3$$

Obtenemos el resultado entre la suma de la densidad del vapor saturado en la superficie con la densidad del agua saturada en la superficie:

$$\rho_s = \rho_{v,s} + \rho_{a,s} = 1.065 \text{ kg/m}^3$$

La densidad del vapor saturado lejos de la superficie se la calcula con la ecuación (39):

$$\rho_{v,\infty} = \frac{P_{v,\infty}}{R_v * T_\infty} = \frac{1.52 \text{ kPa}}{\left(0.4615 \text{ kPa m}^3 / \text{kg K} \right) (294.15 \text{ K})} = 0.0113 \text{ kg/m}^3$$

La densidad del agua saturada lejos de la superficie se la calcula con la ecuación (40):

$$\rho_{a,\infty} = \frac{P_{a,\infty}}{R_a * T_\infty} = \frac{(93.56 - 1.52) \text{ kPa}}{\left(0.287 \text{ kPa m}^3 / \text{kg K} \right) (294.15 \text{ K})} = 1.090 \text{ kg/m}^3$$

De la misma manera, se suman los resultados del vapor y agua saturada lejos de la superficie:

$$\rho_\infty = 1.1013 \text{ kg/m}^3$$

La longitud característica está dada por la ecuación (36):

V= 41.93 m³ (Tabla 9).

A= 38.12 m² (Tabla 9).

$$L_c = \frac{V}{A} = \frac{41.93 \text{ m}^3}{38.12 \text{ m}^2} = 1.1 \text{ m}$$

El número de Grashof está dado por la ecuación (33). Dado que se usan densidad en lugar de temperaturas, debido a que la mezcla no es homogénea.

$$G_r = \frac{g * (\rho_\infty - \rho_s) * L_c^3}{\rho * v^2}$$

$$\begin{aligned} L_c &= 1.1 \text{ m} \\ \rho_\infty &= 1.1015 \text{ kg / m}^3 \\ \rho_s &= 1.065 \text{ kg / m}^3 \\ \rho &= \rho_s + \rho_\infty \\ v &= 1.686 * 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s} \end{aligned}$$

$$G_r = \frac{(9.81)(1.1015 - 1.065)(1.1)^3}{(1.1015 + 1.065)(1.686 * 10^{-5})^2} = 7.74 * 10^8$$

Una vez obtenido el número de Grashof, multiplicamos por el número de Prandtl:

$$G_r * \text{Prandtl} = (7.74 * 10^8 * 0.72) = 5.57 * 10^8$$

Se calcula la difusividad de masa del vapor de agua en el aire con la ecuación (35) a la temperatura de película $\rightarrow (24.5 \text{ }^\circ\text{C} \rightarrow 297.65 \text{ K})$.

$$D_{AB} = 1.87 * 10^{-10} * \frac{T^{2.072}}{P} = 1.87 * 10^{-10} * \frac{(297.65)^{2.072}}{0.9234 \text{ atm.}} = 2.70 * 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$$

El número de Schmidt se obtiene mediante la ecuación (34):

$$Sc = \frac{v}{D_{AB}} = \frac{1.686 * 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}}{2.70 * 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}} = 0.624$$

Para el cálculo del número de Sherwood usamos la ecuación (32):

$$Sh = 0.15 * (Gr * Sc)^{\frac{1}{3}} = 0.15 (7.74 * 10^8 * 0.624)^{\frac{1}{3}} = 117.68$$

El coeficiente de transferencia de masa está dado por la ecuación (25):

$$h_{\text{masa}} = \frac{Sh * D_{AB}}{L_c} = \frac{(117.68) (2.70 * 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s})}{1.1 \text{ m}} = 0.0028 \text{ m/s}$$

Reemplazamos “ h_{masa} ” en la ecuación (30) para obtener la razón de vaporización:

$$\begin{aligned} m_v &= h_{\text{masa}} * A_s * (\rho_{v,s} - \rho_{v,\infty}) \\ m_v &= (0.0028 \text{ m/s}) (38.12 \text{ m}^2) (0.02744 - 0.0113) \text{ kg/m}^3 \\ m_v &= 1.72 * 10^{-3} \text{ kg/s} \end{aligned}$$

Obtenidas todas las variables se calculó la pérdida de calor en la piscina por evaporación mediante la ecuación (29):

Datos obtenidos del Libro de Claudio Mataix (Mataix, 1986).

Reemplazamos los datos en la ecuación:

$$Ra_L = \frac{(9.81 \text{ m/s}^2) (3.350 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}) (301.15 \text{ K} - 294.15 \text{ K}) (1.1 \text{ m})^3}{(1.5 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s})^2} * (0.72)$$

$$Ra_L = 1.205 \cdot 10^9$$

Considerando que es un escenario de convección natural con superficie horizontal caliente viendo hacia arriba, se determina que el número de Nusselt y el coeficiente de transferencia de calor por convección están dados por las ecuaciones (44) y (47) (Vega, 2010).

$$Nu_L = 0.16 * Pr^{\frac{1}{3}} \quad \text{para } 2 \cdot 10^8 < Gr_L * Pr < 2 \cdot 10^{11}$$

$$Nu_L = 0.16 (1.205 \cdot 10^9)^{1/3} = 170.26$$

Para el cálculo del coeficiente de transferencia de calor aplicamos la ecuación (41), además se determinó el valor de “k” considerando la temperatura de película de 24.5°C.

Cálculo del valor de “k”

Del libro de “Transferencia de calor y masa” tabla A-15. (Cengel & Ghajar, 2011) (**Anexo 8**).

20 °C 0.02514 W/m K

24.5 °C x Interpolando → k = 0.025473 W/m K

25 °C 0.02551 W/m K

Cálculo del coeficiente de transferencia de calor por convección mediante la ecuación (47):

$$h_{\text{conv}} = \frac{Nu_L * k}{L_c}$$

$$h_{\text{conv}} = \frac{(170.26) \left(0.025473 \frac{\text{W}}{\text{m K}}\right)}{1.1 \text{ m}} = 3.94 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Una vez calculadas todas las variables, aplicamos la ecuación (42) que define las pérdidas de calor por convección en la piscina.

$$Q_{\text{conv}} = h_{\text{conv}} * A_s * (T_s - T_{\infty})$$

$$Q_{\text{conv}} = \left(3.94 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}\right) (38.12 \text{ m}^2) (301.15 \text{ K} - 294.15 \text{ K})$$

$$Q_{\text{conv}} = 1051.35 \text{ W} \rightarrow 3784.86 \text{ kJ/h}$$

En la **Tabla 16**, presentamos el cuadro de resultados de pérdidas totales en la piscina.

Tabla 16*Resumen de pérdidas de calor totales en la piscina*


Pérdidas	kW	kJ / h
Conducción	4.61	16612.91
Convección	1.05	3784.86
Radiación	1.53	5517.97
Evaporación	4.36	15678.08
Renovación	0.55	1985.08
Total	12.11	43578.90

Fuente: (El autor).

6.4 Cálculo de pérdidas en el tanque de almacenamiento y eficiencia del sistema colector solar

En una instalación de energía solar, el rendimiento del captador, independientemente de la aplicación y la tecnología usada, debe ser igual o superior al 40%. Adicionalmente, se deberá cumplir que el rendimiento medio dentro del periodo del año en el que se utilice la instalación, deberá ser mayor del 20% (MIDUVI, 2020). El acumulador deberá soportar la temperatura máxima de diseño de acumulación y cumplir con la calidad AISI 316 L o lo que es equivalente a acero inoxidable (MIDUVI, 2020).

A continuación, se ha tomado como referencia los datos técnicos del sistema solar con tubos de vacío de la empresa “Rio Solar Smart Energy”, en la **Figura 34** se detallan las características del sistema en general que pueden encontrarse en el mercado.



Modelo :	Techo / Terraza			
Tipo:	Gravedad / Pre- Calentados			
Capacidad del sistema :	200 L	250 L	300 L	400 L
Nº De personas Más.:	3	4	6	8
Cantidad de Tubos :	20 Pzas.	25 Pzas.	30 Pzas.	40 Pzas.
Diámetro exterior y largo del tubo:	4.7 cm x 150 cm			
Características del Tanque	Espuma de Poliuretano inyectado 55 mm			
Aislación	Hecho de acero inoxidable SUS304-2B , espesor de 0.35 mm			
Tanque Interno	Acero Inoxidable 304			
Tanque Externo :				
Preservación del Calor :	72 Horas			
Soporte :	Acero Inoxidable de 1.5 mm de espesor			
Soporte inferior de tubos :	Angulo de Inclinación 45° en el modelo Terraza/ 20° en el modelo techo			
Área de Instalación :	ABS			
Características Adicionales:	4 m2	5 m2	6.50 m2	8 m2
	Cuenta con Microcomputador, Resistencia Eléctrica con termostato, Barra de Magnesio y juego de tubos al vacío.			

Figura 34. Datos técnicos del sistema de captación solar y reserva de agua (Zambrano, n.d.).

Datos adicionales aproximados para el cálculo:

Diámetro tanque externo (ϕ): 0.48 m

Largo tanque exterior: 3.80 m

Material tanque exterior e interior: Acero inoxidable SUS 304.

“k” tanques: 16.8 m/ W °C (Material mundial, n.d.).

Espesor tanque interno (σ): 0.0035 m

Volumen termo – tanque (v): 0.4 m³

Material aislamiento: Espuma de poliuretano.

Espesor aislamiento (ϵ): 0.055 m

“k” aislamiento: 0.026 m (FAO, n.d.).

6.4.1 Cálculo de dimensiones del tanque interno

Para el cálculo del diámetro externo del tanque interno usamos la ecuación (49):

$$D = \phi - (2 * \epsilon)$$

$$D = (0.48 \text{ m}) - (2 * 0.055 \text{ m})$$

$$D = 0.37 \text{ m} \rightarrow \text{radio} = 0.185 \text{ m}$$

Utilizamos la ecuación (50) para el cálculo de la altura del tanque interno:

$$v = \pi * r^2 * h$$

$$h = \frac{(0.43 \text{ m}^3)}{(\pi) (0.185 \text{ m})^2}$$

$$h = 3.72 \text{ m}$$

Determinamos el diámetro interno del tanque interno con la ecuación (51):

$$d = \delta - (2 * \sigma)$$

$$d = (0.37 \text{ m}) - (2 * 0.0035 \text{ m})$$

$$d = 0.3630 \text{ m}$$

6.4.2 Cálculo de pérdidas de calor en el termo – tanque

Parámetros:

Temperatura agua del tanque: 80°C → 353.15 K. (Dato de diseño definido por el autor).

Temperatura ambiente exterior recinto: 19°C → 292.15 K.

➤ **Por conducción**

D= Diámetro externo del tanque interno [0.37 m]

d= Diámetro interno del tanque interno [0.3630 m]

h= Longitud o altura del tanque [3.72 m].

k= Coeficiente de conductividad del tanque material acero inoxidable SUS 304 [16.8 m/ W °C].

Calculamos el “**R_{cond}**” para cada material componente usando la ecuación (53):

Acero inoxidable 304.

$$R_{\text{cond}} = \frac{\ln\left(\frac{D}{d}\right)}{2 * \pi * L * k}$$

$$R_{\text{cond}} = \frac{\ln\left(\frac{0.37 \text{ m}}{0.3630 \text{ m}}\right)}{2 (\pi)(3.72 \text{ m})(16.8 \text{ m/W } ^\circ\text{C})}$$

$$R_{\text{cond}} = 4.86 * 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

Espuma de poliuretano → (Aislante).

$$R_{\text{cond}} = \frac{\ln\left(\frac{0.48 \text{ m}}{0.37 \text{ m}}\right)}{2 (\pi)(3.72 \text{ m})(0.026 \text{ m/W } ^\circ\text{C})}$$

$$R_{\text{cond}} = 0.428301 \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

Sumamos las “ R_{total} ” mediante la ecuación (54).

$$R_{\text{total}} = R_{\text{acero}} + R_{\text{aislante}}$$

$$R_{\text{total}} = 0.428301 \text{ } ^\circ\text{C/W} + 4.86 * 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

$$R_{\text{total}} = 0.4283 \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

Las pérdidas totales por conducción están dadas por la ecuación (52):

$$Q_{\text{cond}} = \frac{T_{\text{tanque}} - T_{\text{amb.}}}{R_{\text{total}}}$$

$$Q_{\text{cond}} = \frac{(80 \text{ } ^\circ\text{C} - 19 \text{ } ^\circ\text{C})}{0.4283 \text{ } ^\circ\text{C/W}}$$

$$Q_{\text{cond}} = 142.41 \text{ W} \rightarrow 512.69 \text{ kJ/h}$$

➤ **Pérdidas por radiación:**

Parámetros adicionales:

Emisividad acero 304: 0.35 (Pereda, 2018).

Constante Stefan Boltzmann: $5.67 * 10^{-8}$

D= Diámetro externo del tanque interno [0.37 m] → radio = [0.185 m].

Para el cálculo del área transversal del tanque interno utilizamos la ecuación (55):

$$A_t = \pi * r^2$$

$$A_t = \pi (0.185)^2$$

$$A_t = 0.1075 \text{ m}^2$$

Reemplazamos en la ecuación (28) para obtener las pérdidas por radiación.

$$Q_{\text{rad}} = \varepsilon * \sigma * A_s * (T_s^4 - T_{\text{alrred}}^4)$$

$$Q_{\text{rad}} = (0.35) \left(5.67 * 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K} \right) (0.1075 \text{ m}) (352.15^4 - 292.15^4)$$

$$Q_{\text{rad}} = 17.64 \text{ W} \rightarrow 63.52 \text{ kJ/h}$$

Sumamos las pérdidas totales en el sistema de colección de agua:

$$\text{Pér. total, tanque} = \text{Pérd. rad.} + \text{Pérd. conv.}$$

$$\text{Pér. total, tanque} = 557.21 \text{ kJ/h.}$$

6.4.3 Cálculo de eficiencia en el sistema de captación solar

Para el cálculo del rendimiento en el sistema de captación solar, se toma la forma del certificado de conformidad con los criterios establecidos en la norma técnica NTE INEN 2507 Rendimiento Térmico de colectores solares en sistemas de calentamiento de agua para uso sanitario (Cazco, 2020).

Parámetros:

T_{in} = 20.5°C (**Anexo 3**).

T_a: 19°C (Meteored, 2020).

G: [485.11 W/ m²] → (**Tabla 15**).

Calculamos el coeficiente de rendimiento, el cual está dado por la ecuación (56).

$$x = \frac{T_{\text{in}} - T_{\text{a}}}{G}$$

$$x = \frac{(20.5 \text{ °C} - 19 \text{ °C})}{485.4 \text{ W/m}^2}$$

$$x = 0.00309$$

Obtenemos el rendimiento del sistema de colección solar con la ecuación (57):

$$\eta = 0.691 - 3.5 x - 12.12 x^2$$

$$\eta = 0.691 - 3.5 (0.00309) - 12.12 (0.00309)^2$$

$$\eta = 0.68$$

6.4.4 Sistema Auxiliar

Las instalaciones de energía solar deben disponer de un sistema de apoyo, que alimentado por otra fuente de energía asegure la continuidad en el suministro de agua caliente sanitaria. Por ejemplo: resistencia eléctrica, sistema de combustión o bomba de calor. Podemos encontrar distintas formas de conexión y configuración entre el sistema solar y de apoyo para garantizar la

obtención de agua caliente, en este caso, los sistemas de colección y acumulación solar cuenta con una resistencia eléctrica en el mismo acumulador, esta opción permite albergar un sistema de apoyo eléctrico y que a su vez incluyan un sistema de control programable que permita configurar el encendido del sistema de apoyo en unas condiciones en las cuales no suponga una disminución de las posibilidades de aporte solar. Según se explica en la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC), el acoplamiento del sistema auxiliar en serie es recomendado cuando el agua destinada a consumo sea calentada inicialmente por la instalación solar y, en segundo lugar, es el sistema de apoyo que se encarga, cuando es necesario, de realizar el calentamiento final hasta la temperatura deseada. El acoplamiento siempre debería disponer de un bypass de conexión que permita no interrumpir el suministro de agua caliente para las operaciones de mantenimiento de las instalaciones (MIDUVI, 2020).

➤ **Características del sistema auxiliar**

Para suplir la demanda de energía en cada termo – tanque y de acuerdo al diseño que se plantea, se recomienda el uso de resistencias eléctricas de 4 kW (**Anexo 17**).

- Potencia: 4000 W.
- Tensión: 220 V.
- Material: Cobre.
- Longitud: 31.2 cm.

6.5 Cálculo de demandas energéticas para el climatizado del agua de la piscina

6.5.1 Número de colectores solares

Realizando el balance de energía que relaciona la ecuación (2), ecuación (58), ecuación (59) y ecuación (60), obtenemos y aplicamos la ecuación (61), de esta manera se demuestra que con el volumen de diseño planteado se obtienen las condiciones óptimas en la piscina terapéutica.

$$T_{\text{equilibrio}} = \frac{(m_c * T_{\text{caliente}}) + (m_f * T_{\text{frio}})}{(m_f + m_c)}$$

$$T_{\text{equilibrio}} = \frac{[(3989600 \text{ gr.})(80 \text{ °C})] + [(26431100 \text{ gr.})(20.5 \text{ °C})]}{(30420700 \text{ gr.})}$$

$$T_{\text{equilibrio}} = 28.30 \text{ °C}$$

Este resultado evidencia que con un volumen de 4 m³ de agua caliente a una temperatura de 80°C se logra elevar la temperatura de la piscina de 20.5 °C a 28.30 °C el cual está dentro del rango para las actividades terapéuticas y rehabilitación. Por lo tanto, se necesita un número de 10

colectores solares de tubos de vacío con una capacidad de almacenamiento de 0.4 m³ en cada termo – tanque.

6.5.2 Cálculo de energía necesaria en cada termo-tanque

Utilizamos la ecuación (2):

Volumen por termo-tanque: [0.4 m³] → **m**= 398.96 kg

C_p= 4.19 kJ/kg °C

T_f: 80°C → (Valor de diseño definido por el autor).

T_i: 20.5°C → (**Anexo 3**).

$$\begin{aligned} E_{\text{tanque}} &= m * C_p * (T_f - T_i) \\ E_{\text{tanque}} &= (398.96 \text{ kg}) (4.19 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C}) (80 \text{ } ^\circ\text{C} - 20.5 \text{ } ^\circ\text{C}) \\ E_{\text{tanque}} &= 99462.72 \text{ kJ} \end{aligned}$$

6.5.3 Arranque del sistema

6.5.3.1 Cálculo de la energía captada al final del día por cada colector.

Radiación diaria: 14028.34 kJ / m² → (**Tabla 15**).

Horas de radiación: 12 horas → (Este número de horas de radiación hace referencia a la radiación total captada en un día como se muestra en la **Tabla 15**).

Radiación promedio por hora: 1169.08 kJ / m²

Horas útiles de radiación: 10 horas → (Este número de horas hace referencia a la radiación total captada en horas donde la radiación es ya considerada alta como se muestra en la **Tabla 15**).

Área de colección: 4.42 m²

La radiación en horas útiles es determinada por la ecuación (62):

$$1169.08 \text{ kJ / m}^2 \text{ h} * 10 \text{ horas} = 11690.78 \text{ kJ / m}^2$$

Considerando la eficiencia del 0.68 por parte del colector solar, se determinó mediante la ecuación (63):

$$11690.78 \text{ kJ / m}^2 (0.68) = 7949.73 \text{ kJ / m}^2$$

La energía total captada por cada colector solar al final del día es definida por la ecuación (64):

$$7949.73 \text{ kJ / m}^2 (4.42 \text{ m}^2) = 35137.82 \text{ kJ}$$

La temperatura del agua en cada termo - tanque al final del día será determinada mediante el análisis de la ecuación (2):

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

$$T_f = \frac{Q}{m * C_p} + T_i$$

$$T_f = \frac{35137.82 \text{ kJ}}{(398.96 \text{ kg})(4.19 \text{ kJ/kg} \cdot \text{°C})} + 20.5 \text{°C}$$

$$T_f = 41.52 \text{ °C}$$

El sistema auxiliar del tanque de almacenamiento recomendado es de 4 kW → 14400 kJ por cada hora, a un voltaje de 220 V.

La energía necesaria para llegar de 41.52 °C a 80 °C durante la noche es determinada por la ecuación (65):

$$E_{\text{resist.}} = E_{\text{tanque}} - E_{\text{tot.}}$$

$$E_{\text{resist.}} = 99462.72 \text{ kJ} - 35137.82 \text{ kJ}$$

$$E_{\text{resist.}} = 64324.90 \text{ kJ}$$

Calculamos el tiempo de trabajo de la resistencia eléctrica usando la ecuación (66):

$$t = \frac{E_{\text{resist.}}}{P_{\text{resist.}}}$$

$$t = \frac{64324.90 \text{ kJ}}{14400 \text{ kJ/h}}$$

$$t = 4.47 \text{ horas.}$$

6.5.3.2 Primera inyección de agua caliente hacia la piscina terapéutica. Cuando se tiene la temperatura requerida en los tanques de almacenamiento (80°C), se realiza la primera inyección. Esta inyección de agua caliente se genera una sola vez, posteriormente la temperatura de la piscina se mantiene con la reposición por pérdidas de calor. Calculamos la temperatura de equilibrio en la piscina con la ecuación (61):

Volumen piscina: 26.5 m³ → m= 26431100 gr.

Volumen tanques de almacenamiento: 4 m³ → m= 3989600 gr.

Temperatura piscina: 20.5 °C → (Anexo 3).

Temperatura tanques: 80 °C → (Valor de diseño definido por el autor).

$$T_{\text{equilibrio}} = \frac{(m_c * T_{\text{caliente}}) + (m_f * T_{\text{frio}})}{(m_f + m_c)}$$

$$T_{\text{equilibrio}} = \frac{[(3989600 \text{ gr.})(80 \text{°C})] + [(26431100 \text{ gr.})(20.5 \text{°C})]}{(26431100 \text{ gr.} + 3989600 \text{ gr})}$$

$$T_{\text{equilibrio}} = 28.30 \text{ °C}$$

6.5.4 Cálculo de la caída de temperatura en la piscina terapéutica

El cálculo de las pérdidas de calor en la piscina se realizó para un tiempo de 5 horas, este es el tiempo aproximada de uso en un día.

Pérdidas totales piscina = 12.11 kW (Tabla 16).

Pérdidas por hora: 12.11 kW \rightarrow 12.11 kJ /s * 3600 segundos = 43578.89 kJ

Temperatura piscina luego de la primera inyección: 28.30 °C.

$C_p = 4.19$ kJ / kg °C

Volumen total piscina: 30.5 m³ \rightarrow m= 30420.7 kg

Para calcular la caída de temperatura en el agua de la piscina ubicamos el signo negativo en “Q” la cual representa la cantidad de energía equivalente por pérdidas, de esta manera esta cantidad de energía representa el calor o energía que se le resta al sistema y determinamos la caída de temperatura en un tiempo estimado. Utilizamos la ecuación (2):

$$\begin{aligned} -Q &= m * C_p * (T_f - T_i) \\ T_f &= \frac{(5 \text{ horas})(-Q)}{m * C_p} + T_i \\ T_f &= \frac{(5 \text{ horas})(-43578.89 \text{ kJ})}{(30420.7 \text{ kg})(4.19 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C})} + 28.30 \text{ } ^\circ\text{C} \\ T_f &= 26.6 \text{ } ^\circ\text{C} \end{aligned}$$

La caída de temperatura de la piscina durante 5 horas será de 1.73 °C transcurrido este tiempo su temperatura será de 26.6°C, la cual está al límite del rango al que se debe encontrar para el desarrollo de las actividades terapéuticas. A partir de este punto, se requiere de la segunda etapa la cual ha sido denominada “Reposición por pérdidas de calor”, se calcula la nueva temperatura que deberá tener el agua contenida en los termo tanques durante el transcurso de las 5 horas de pérdidas de calor en el vaso de la piscina y hacer una nueva inyección para obtener la mezcla de líquido a la temperatura adecuada.

6.5.5 Reposición por pérdidas de calor en la piscina

Para este proceso de compensación partimos del análisis en la ecuación (61), se ha determinado la inyección de un volumen de 2.4 m³, equivalente a 6 termo - tanques, de esta forma la cantidad de agua en la piscina con que se mezclará esta vez será de 28.1 m³. La temperatura

definida de la piscina a la que se debe alcanzar luego de la inyección se ha sobre dimensionado hasta los 28.5°C considerando los parámetros recomendados de temperatura (28 – 30) °C.

Volumen piscina: 28.1 m³ → m= 28015700 gr.

Volumen tanques de almacenamiento: 2.4 m³ → m= 2392800 gr.

Temperatura piscina: 26.6 °C.

Temperatura confort: 28.5 °C.

Calculamos la temperatura que debe tener el agua de los 6 termo – tanques para la reposición de pérdidas de calor:

$$T_{\text{equilibrio}} = \frac{(m_c * T_{\text{caliente}}) + (m_f * T_{\text{frio}})}{(m_f + m_c)}$$

$$T_{\text{caliente}} = \frac{T_{\text{equilibrio}}(m_f + m_c) - (m_f * T_{\text{frio}})}{(m_c)}$$

$$T_{\text{caliente}} = \frac{(28.5 \text{ °C})(28015700 \text{ gr} + 2392800 \text{ gr}) - [(28015700 \text{ gr})(26.6 \text{ °C})]}{(2392800 \text{ gr})}$$

$$T_{\text{caliente}} = 50.82 \text{ °C} \approx 52 \text{ °C}$$

Energía requerida para elevar la temperatura en cada termo-tanque desde 20.5 °C hasta los 52 °C:

Volumen por termo-tanque: 0.4 m³ (**Anexo 12**) → m= 398.96 kg.

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

$$Q = (398.96 \text{ kg}) (4.19 \text{ kJ/kg °C}) (52 \text{ °C} - 20.5 \text{ °C})$$

$$Q = 52656.74 \text{ kJ}$$

Energía captada por cada colector solar durante 5 horas:

Radiación por hora: 1169.08 kJ/m²

Eficiencia del colector: 0.68

Área colección por cada colector: 4.42 m²

$$\left[(1169.08 \text{ kJ/m}^2\text{h}) (5 \text{ horas}) (0.68) \right] (4.42 \text{ m}^2) = 17568.91 \text{ kJ}$$

Energía eléctrica por parte de la resistencia de cada termo-tanque:

$$E_{\text{resist.}} = E_{\text{rep.}} - E_{\text{apo.solar h}}$$

$$E_{\text{resist.}} = (52656.73 \text{ kJ} - 17568.9 \text{ kJ})$$

$$E_{\text{resist.}} = 35087.83 \text{ kJ} \approx 36000 \text{ kJ}$$

Tiempo de trabajo de las resistencias:

Potencia resistencia: 4kW → 14400 kJ/h

$$14400 \text{ kJ/h} * 2.5 \text{ h} = 36000 \text{ kJ}$$

$$\text{Energía solar - eléctrico total} = 36000 \text{ kJ} + 17568.91 \text{ kJ} = 53568.91 \text{ kJ}.$$

Calculamos la temperatura final en los termo - tanques con el aporte solar – eléctrico que se le suministrará al agua mediante la ecuación (2):

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

$$T_f = \frac{(53568.91 \text{ kJ})}{(398.96 \text{ kg})(4.19 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C})} + 20.5^\circ\text{C}$$

$$T_f = 52.55 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Luego de calcular los valores por pérdidas de calor durante las 5 horas y la energía necesaria en el agua por cada termo-tanque, se inyecta por segunda vez el agua caliente y se calcula la mezcla (temperatura de equilibrio) para el inicio de uso de la piscina, usamos la ecuación (61):

T° inicial piscina: 26.6°C

$$T_{\text{equilibrio}} = \frac{(m_c * T_{\text{caliente}}) + (m_f * T_{\text{frio}})}{(m_f + m_c)}$$

$$T_{\text{equilibrio}} = \frac{(2392800 \text{ gr.})(52.55 \text{ } ^\circ\text{C}) + (28015700 \text{ gr.})(26.6 \text{ } ^\circ\text{C})}{(2392800 \text{ gr.} + 28015700 \text{ gr.})}$$

$$T_{\text{equilibrio}} = 28.64 \text{ } ^\circ\text{C}$$

6.5.6 Cálculo de necesidades energéticas totales

En la **Tabla 17** presentamos las condiciones generales de cálculo:

Tabla 17

Condiciones generales de cálculo para las necesidades energéticas.

Parámetros	Definición
Ubicación de la piscina	Interior
Ciudad	Loja
Latitud	4.01 Sur
Altitud	2060 m.s.n.m.
Área de la piscina	38.125 m ²
Volumen de la piscina	30.5 m ³
Humedad relativa	66%
Temperatura de confort	Superior a 28° C
Temperatura agua de red	20.5°C
Principio de circulación	Forzada
Transferencia de calor	Intercambio de calor tubos de vacío.
Aporte de energía auxiliar	Resistencias eléctricas 4 kWh.

Fuente: (El autor).

A continuación, en la **Tabla 18** presentamos un cuadro resumen de las pérdidas por hora diarias en la piscina.

Tabla 18
Pérdidas de calor en la piscina.

Pérdidas	kJ/h	kW	Porcentaje (%)
Conducción	16612.91	4.61	38.12
Convección	3784.86	1.05	8.69
Radiación	5517.97	1.53	12.66
Renovaciones	1985.08	0.55	4.56
Evaporación	15678.08	4.36	35.03
Totales	43578.90	12.11	100.00

Fuente: (El autor).

En la **Figura 35**, están representados los porcentajes por pérdidas. Esta representación se la realizó en Excel.

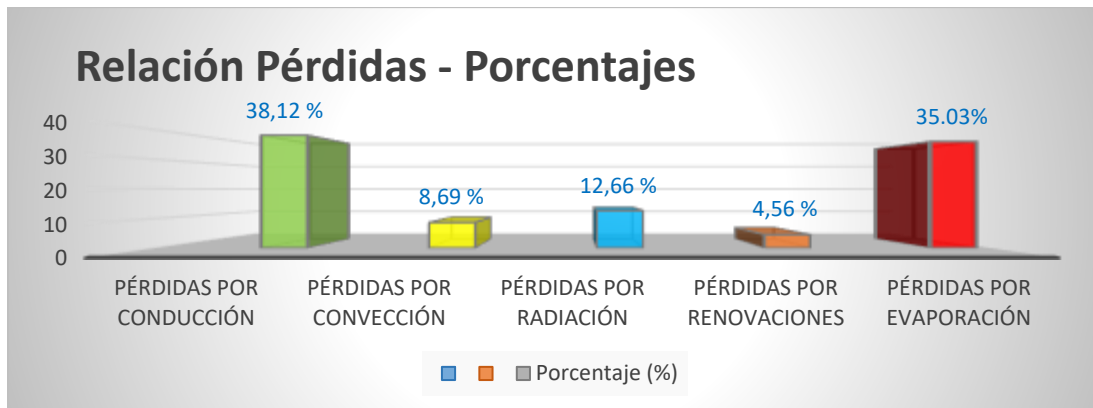


Figura 35. Representación de pérdidas de calor en la piscina en porcentajes (El autor).

Una vez determinadas las variables necesarias para el cálculo de las demandas, se calculó la cantidad de energía necesaria mensualmente considerando las pérdidas y la energía requerida en el arranque del sistema que se presentan en la **Tabla 19**.

Parámetros de cálculo definidos por el autor:

6.5.6.1 Pérdidas de calor mensuales del sistema.

Horas totales de pérdidas: 5 horas diarias.

Días de puesta en marcha por semana: 2 veces por semana, 8 días por mes (**Anexo 2**).

Para la determinación de la energía pérdida en la piscina se utilizó la ecuación (68), los valores fueron calculados en el software Excel.

Tabla 19*Valores de pérdidas de calor mensuales.*

Mes	Cond. (kJ)	Conv. (kJ)	Rad. (kJ)	Renov. (kJ)	Evapo. (kJ)	Total, mes. (kJ)
Enero	787989.20	218266.56	262537.20	17620.72	674397.20	1960810.88
Febrero	825964.80	228784.40	274643.20	18470	673770.8	2021633.20
Marzo	797483.20	220895.60	265568.40	17833.12	674240.4	1976020.72
Abril	835458.80	231414.40	277662.00	18682.24	673614.4	2036831.84
Mayo	825964.80	228796.40	274643.20	18470	673770.8	2021645.20
Junio	911409.60	252452.00	301701.60	20380.64	672362.8	2158306.64
Julio	939890.8	260341.20	310665.60	21017.52	671893.6	2203808.72
Agosto	787989.20	218265.60	262537.20	17620.8	674397.2	1960810.00
Septiembre	702544.80	194598.40	235118.40	15710.08	679406.4	1827378.08
Octubre	683557.20	189338.80	228991.20	15285.52	676120	1793292.72
Nov.	645581.60	178820.00	433399.20	14436.32	676746.8	1948983.92
Dic.	750014.00	207746.80	250382.00	16771.6	675023.6	1899938.00

Fuente: (El autor).

En la **Tabla 20** se presentan los valores de energía necesaria que se requiere en un día promedio para el arranque del sistema, se considera la energía que se requiere en todos los termo-tanques, (las dos inyecciones hacia la piscina) y pérdidas diarias en la piscina.

- Energía necesaria para elevar la temperatura de 20.5 °C a 80 °C en la primera inyección por cada termo-tanque: 99462.72 kJ
- Pérdidas por conducción y radiación en cada termo-tanque: 557.69 kJ
- Energía necesaria para elevar la temperatura de 20.5 °C a 52 °C en la INYECCIÓN POR REPOSICIÓN DE PÉRDIDAS en cada termo-tanque: 52656.74 kJ
- Número de termo-tanques: 10.

Para el cálculo de estos valores se aplicó la ecuación (69):

$$E_{\text{diaria-requerida}} = (E_{\text{tanque}} * N) + (Per_{\text{tanque}} * N) + (E_{\text{rep.pérd.}} * N)$$

Tabla 20*Demandas para el calentamiento de la piscina.*

Energía diaria para calentar la piscina. (kJ)	Pérdidas por día en la piscina (kJ)	Demanda diaria promedio. (kJ)	Demanda mensual promedio. (kJ)	Demanda anual promedio. (kJ)
1406459.06	268627.71	1406459.06	11251672.48	135020069.8

Fuente: (El autor).

6.5.6.2 Aporte solar al sistema. Finalmente, determinamos el porcentaje de aporte solar y eléctrico en función de las demandas requeridas. Para obtener los valores de radiación promedio mensual en la ciudad de Loja, nos hemos apoyado en el software PV-GIS, cuyos valores están tomados al año 2015 y están presentados en la **Tabla 21**. Se determinó la fracción solar usando la ecuación (70), se ha calculado para demostración para el mes de enero, los valores de los siguientes meses fueron calculados en el software Excel y están representados en la Tabla 23.

Inicialmente, calculamos la energía total de demanda con la ecuación (71).

$$E_{\text{total demanda enero}} = (E_{\text{tanque}} * \text{días}_{\text{uso mensual}}) + \text{Prd}_{\text{calor mensual}} + \text{Prd}_{\text{tanque}}$$

$$E_{\text{total demanda enero}} = (994627.20 \text{ kJ} * 8) + 1960810.88 \text{ kJ} + 55768.00 \text{ kJ} =$$

$$E_{\text{total demanda enero}} = 9973597.48 \text{ kJ}$$

Tabla 21
Irradiación global promedio mensual en Loja

Mes	kWh / m ²
Enero	126.45
Febrero	131.86
Marzo	139.76
Abril	140.56
Mayo	135.29
Junio	116.56
Julio	135.83
Agosto	142.17
Septiembre	147.32
Octubre	146.72
Noviembre	149.03
Diciembre	131.93

Fuente: (European Comision, n.d.)

En la **Tabla 22** se presentan los valores promedios de irradiación diaria para cada mes en la ciudad de Loja.

Tabla 22*Irradiación diaria promedio por mes en Loja*

Mes	kWh / m ²
Enero	4.07
Febrero	4.71
Marzo	4.25
Abril	4.69
Mayo	4.36
Junio	3.89
Julio	3.90
Agosto	4.59
Septiembre	4.91
Octubre	4.73
Noviembre	4.97
Diciembre	4.26

Fuente: (European Comision, n.d.)

Seguidamente, de la **Tabla 22** se toma el valor para el mes de enero y calculamos la radiación solar promedio con la ecuación (72). El área de captación solar por cada colector es de 4.42 m², teniendo en cuenta que tenemos 10 colectores solares el área total de captación 44.2 m².

$$E_{\text{solar mensual enero}} = (\text{Rad}_{\text{solar por mes}} * A_{\text{cap.}})(3600 \text{ kJ}) (\text{días rad.})$$

$$E_{\text{solar mensual enero}} = \left[(4.07 \text{ kWh/m}^2) * (44.2 \text{ m}^2) \right] (3600 \text{ kJ}) (8)$$

$$E_{\text{solar mensual enero}} = 5180125.94 \text{ kJ}$$

Reemplazamos los datos obtenidos del mes de enero en la ecuación (70) y obtenemos la fracción solar.

$$\%_{\text{solar enero}} = \frac{(E_{\text{solar aportada}} * 100 \%) }{E_{\text{total demanda}}} = \frac{(5180125.94 \text{ kJ} * 100 \%) }{9973597.48 \text{ kJ}} = 51.94 \%$$

De esta manera, determinamos la captación solar mensual que se aportará al sistema de intercambio de calor hacia el agua, cuyos datos están reflejados en la **Tabla 23**.

Tabla 23

Aportes de energía solar – eléctrica.

Meses	Energía demanda (kJ)	Energía Solar (kJ)	Energía Eléctrica (kJ)	Fracción solar (%)
Enero	9973597.48	5180125.94	4793471.54	51.94
Febrero	10034419.8	5994732.34	4039687.46	59.74
Marzo	9988807.32	5410490.63	4578316.68	54.17
Abril	10049618.44	5964241.92	4085376.52	59.35
Mayo	10034431.8	5555443.81	4478987.98	55.36
Junio	10171093.24	4945873.92	5225219.32	48.63
Julio	10216595.32	4961412.51	5255182.80	48.56
Agosto	9973596.6	5837958.81	4135637.78	58.53
Septiembre	9840164.68	6251082.24	3589082.44	63.53
Octubre	9806079.32	6024796.49	3781282.83	61.44
Noviembre	9961770.52	6323640.96	3638129.56	63.48
Diciembre	9912724.6	5417471.38	4495253.21	54.65

Fuente: (El autor).

En la **Figura 36** se presenta el aporte de energía solar – eléctrico.

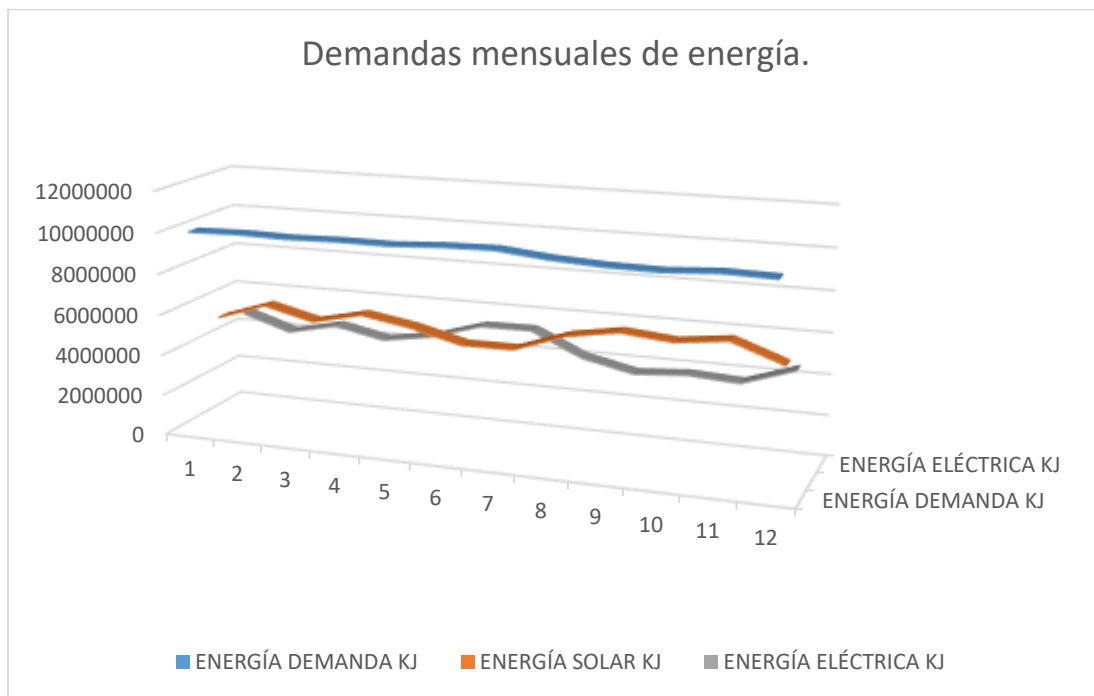
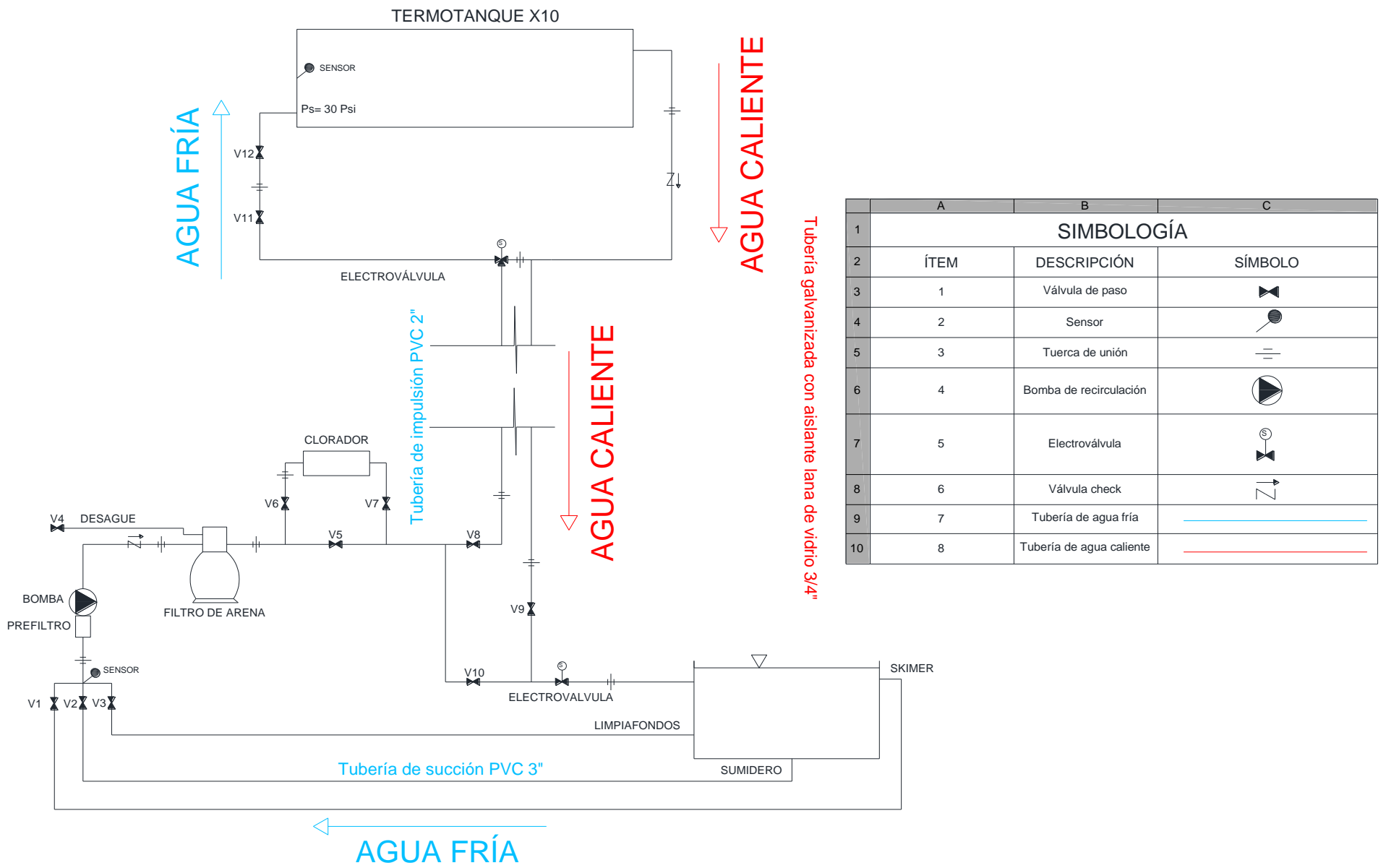


Figura 36. Representación del aporte mensual energético del sistema solar y eléctrico (El autor).

6.6 Dimensionamiento hidráulico

Por diseño se plantea dimensionar una sola bomba tanto para el mantenimiento de agua como para el calentamiento de la misma, proponiendo el siguiente circuito hidráulico como se puede observar en la **Figura 37**



	A	B	C
1	SIMBOLOGÍA		
2	ÍTEM	DESCRIPCIÓN	SÍMBOLO
3	1	Válvula de paso	
4	2	Sensor	
5	3	Tuerca de unión	
6	4	Bomba de recirculación	
7	5	Electroválvula	
8	6	Válvula check	
9	7	Tubería de agua fría	
10	8	Tubería de agua caliente	

Tubería galvanizada con aislante lana de vidrio 3/4"

Figura 37. Esquema de tuberías y accesorios del sistema de recirculación entre la piscina y termo – tanques (El autor).

6.6.1 Sistema de conducción

Teniendo en cuenta los criterios de diseño anteriormente descritos se establece un arreglo en paralelo de los calentadores que se representa en la **Figura 38**.

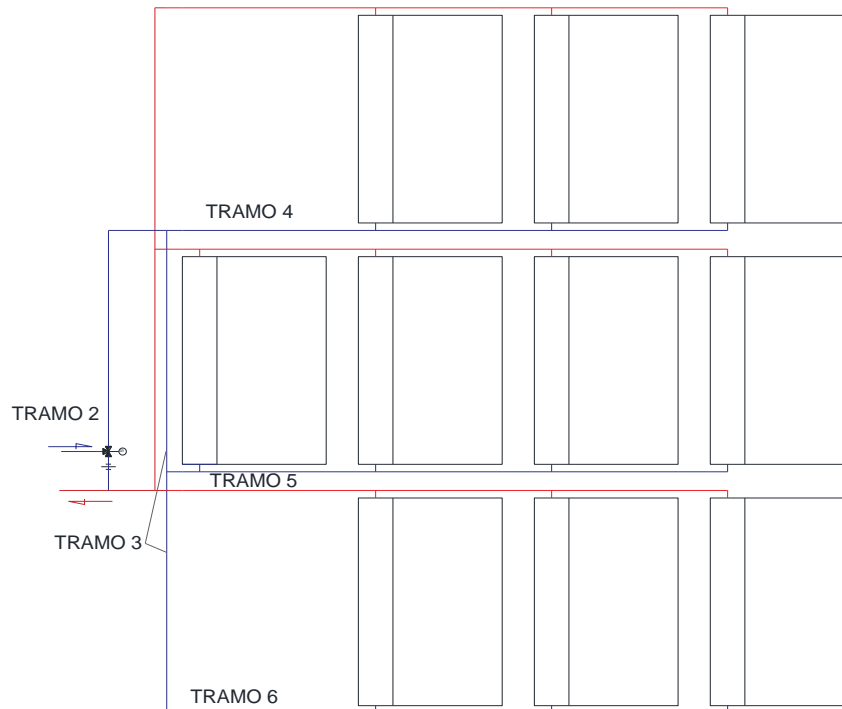


Figura 38. Sistema de distribución de tuberías de impulsión y retorno (El autor).

Las tuberías en cada tramo deben soportar la temperatura de operación crítica, presión y velocidad del fluido en los diferentes tramos de tubería, por lo que se establece el material a utilizar en cada tramo de tubería:

Tramo 1.- Succión, estará conformado de tubo PVC.

Tramo 2.- Impulsión, estará conformado de tubo PVC.

Tramo 3, 4, 5 y 6.- Conformado de PVC con diámetros acorde al caudal que circula por cada tramo. El retorno de agua caliente será de tipo galvanizado con aislamiento térmico en lana de vidrio para reducir pérdidas de calor en su recorrido, el diámetro de las mismas será en correspondencia a la tubería de conducción de agua a baja temperatura, asumido por el criterio de que el caudal es el mismo en todos los puntos de la tubería.

6.6.2 Cálculo del diámetro del sistema de tuberías

El caudal requerido se calcula a partir de los parámetros de diseño mediante la ecuación (73):

$$V= 4 \text{ m}^3$$

$t = 20 \text{ min} \rightarrow$ (Valor de diseño definido por el autor).

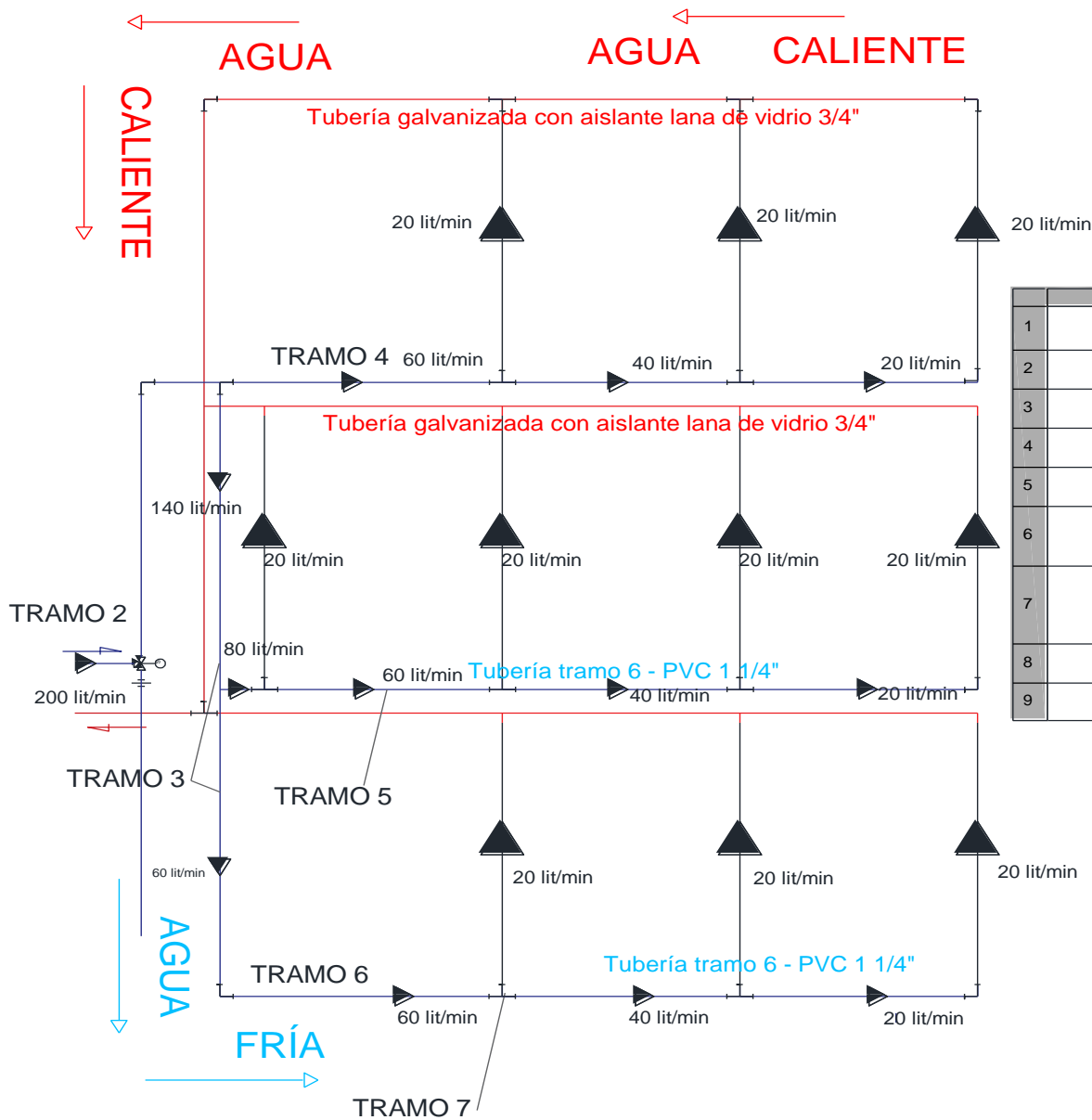
$Q =$ Caudal.

$$Q = V/t$$

$$Q = 4 \text{ m}^3 / 20 \text{ min}$$

$$Q = 0.2 \text{ m}^3 / \text{min} \rightarrow 200 \text{ litros} / \text{min}$$

Para el dimensionamiento de las tuberías en los calentadores, se considera un sistema en paralelo (véase **Figura 39**), según (Mataix, 1986), explica que la sumatoria de caudales en un nodo es igual a cero y la caída de presión en todas las ramificaciones en paralelo, se interactúa un caudal aproximado en cada tramo, teniendo:



	A	B	C
1	SIMBOLOGÍA		
2	ÍTEM	DESCRIPCIÓN	SÍMBOLO
3	1	Caudal dirigido a tanques.	
4	2	Unión Te.	
5	3	Unión codo.	
6	4	Tuerca unión.	
7	5	Electroválvula.	
8	6	Tubería fría.	
9	7	Tubería caliente.	

Figura 39. Caudales aproximados de distribución en cada tramo (El autor).

Una vez impuesto los caudales en la red mallada de calentadores solares, se debe asumir una velocidad de fluido admisible para los diferentes tramos de tubería. En la **Tabla 24** tenemos algunas velocidades con respecto al tipo de fluido (Darby, 2001).

Tabla 24
Velocidades recomendadas para fluidos en tuberías.

Fluido	Tipo de flujo	Velocidad	
		ft/s	m/s
Líquidos pocos viscosos	Flujo por gravedad	0.5 – 1	0.15 – 0.30
	Entrada de bomba	1 – 3	0.3 – 0.9
	Salida de bomba	4 – 10	1.2 – 3
	Línea de conducción	4 - 8	1.2 – 2.4
Líquidos viscosos	Entrada de bomba	0.2 – 0.5	0.06 – 0.15
	Salida de bomba	0.5 - 2	0.15 – 0.6
Vapor de agua		30 – 50	9 – 15
Aire o gas		30 - 100	9 - 30

Fuente: (Darby, 2001).

Adoptando una velocidad en la impulsión de 1.5 m/s, en la succión de la bomba 0.9 m/s y con la ecuación de caudal que relaciona el área del conducto se determinó el valor para el tramo de succión (Tramo 1) mediante la ecuación (74), los otros tramos fueron calculados en el software Excel y están representados en la Tabla 25.

$$Q = v * A$$

$$A_1 = \frac{0.00333 \text{ m}^3/\text{s}}{0.9 \text{ m/s}} = 0.003703 \text{ m}^2$$

Seguidamente, calculamos el diámetro de la sección de tubería para el Tramo 1 mediante la misma ecuación (74):

$$Q = v * \frac{\pi * D^2}{4}$$

$$D = \sqrt{\frac{4 Q}{v * \pi}} = \sqrt{\frac{4 (0.00333 \text{ m}^3/\text{s})}{(0.9 \text{ m/s}) * \pi}} = 0.0687 \text{ m} \rightarrow 68.7 \text{ mm}$$

Tabla 25*Valores de los diámetros en cada tramo y determinación del diámetro comercial.*

Tramo	Etapas	Caudal (m ³ /s)	Caudal (lit/min)	Velocidad (m/s)	Área (m ²)	Diámetro (mm)	Diámetro comercial (pulg.)
1	Succión	0.003333	200	0.9	0,0037037	68,7	3
2	Impulsión	0.003333	200	1,5	0,00222222	53,2	2
3	Flauta Princ.	0.002333	140	1,5	0,00155556	44,5	2
4	Flauta Sec. 1	0.001	60	1,5	0,00066667	29,1	1 1/4
5	Flauta Sec. 2	0.00133	80	1,5	0,00088889	33,6	1 1/2
6	Flauta Sec. 3	0.001	60	1,5	0,00066667	29,1	1 1/4
7	Entrada cale.	0.000333	20	1,5	0,00022222	16,8	3/4

Fuente: (El autor)

Una vez determinado el diámetro comercial de la tubería se recalcula la velocidad en cada tramo, ya que es un valor determinante para el dimensionamiento de la bomba, además de corroborar de que se encuentre dentro del rango de velocidades recomendado anteriormente. Estos nuevos valores se encuentran demostrados en la **Tabla 26**.

Tabla 26*Valores recalculados de velocidades con el diámetro comercial.*

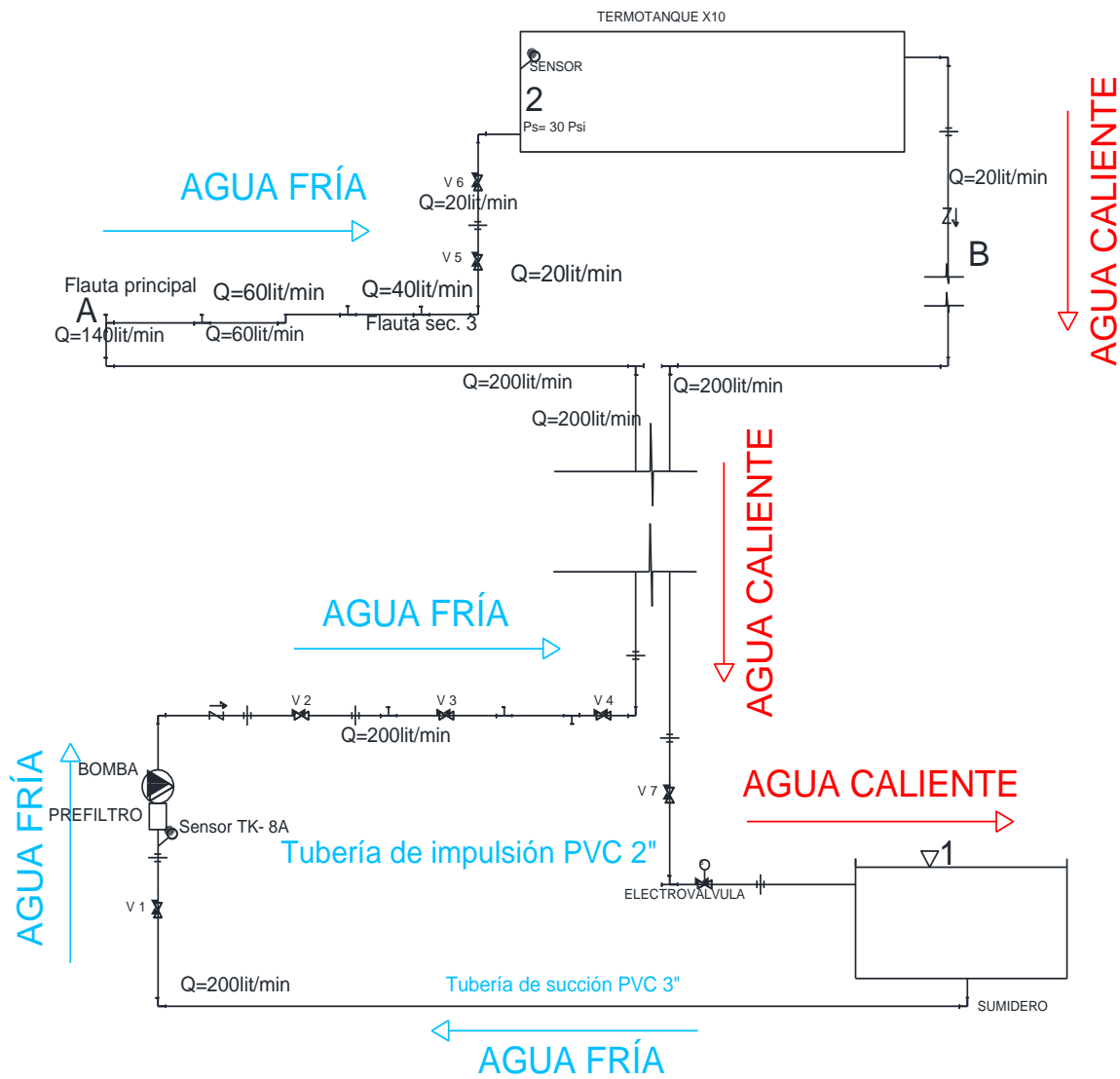
Tramo	Etapas	Caudal (m ³ /s)	Caudal (lit/min)	Diámetro comercial (pulg.)	Diámetro interno (mm)	Área (m ²)	Velocidad (m/s)
1	Succión	0.003333	200	3	67.8	0.00361036	0.9
2	Impulsión	0.003333	200	2	45.2	0.0016046	2.1
3	Flauta Princ.	0.002333	140	2	45.2	0.0016046	1.5
4	Flauta Sec. 1	0.001	60	1 ¼	27.2	0.00058107	1.7
5	Flauta Sec. 2	0.00133	80	1 ½	34.0	0.00090792	1.5
6	Flauta Sec. 3	0.001	60	1 ¼	27.2	0.00058107	1.7
7	Entrada cale.	0.000333	20	¾	17.0	0.00022698	1.5

Fuente: (El autor).

Con esta tabla se evidencia de que las medidas adoptadas en el diseño se encuentran dentro de lo recomendable.

6.6.3 Dimensionamiento de la bomba

El equipo de bombeo se dimensiona en base a la altura dinámica total y el caudal de servicio requerido, para lo cual se realiza el análisis de la ecuación de Bernoulli para el caso más desfavorable del circuito hidráulico entre los puntos a considerar, tal como se muestra en la **Figura 40**.



	A	B	C
1	SIMBOLOGÍA		
2	ÍTEM	DESCRIPCIÓN	SÍMBOLO
3	1	Unión Codo.	
4	2	Válvula de paso.	
5	3	Sensor.	
6	4	Unión Tuerca.	
7	5	Válvula check.	
8	6	Unión Te.	
9	7	Tubería agua fría.	
10	8	Tubería agua caliente.	

Figura 40. Representación entre puntos para la aplicación de Bernoulli (El autor).

Puesto que los termo-tanques se encuentran asociados en paralelo, la caída de presión a través de los mismos es igual para todos entre los puntos A y B; por tal razón se analiza el caso más desfavorable que consiste en el termo tanque más alejado del circuito como se indica en la figura anterior y determina la pérdida de carga entre los puntos A y 2, valor que para efectos de cálculo se adoptará en función del caudal total para determinar la curva característica de la instalación.

6.6.3.1 Cálculo de pérdidas primarias.

Con las longitudes de las tuberías, diámetros, velocidad en cada tramo, viscosidad cinemática del fluido a la temperatura crítica que opera la bomba como es el caso de 28 °C, rugosidad absoluta de la tubería, se evalúa el número de Reynolds, el coeficiente de pérdidas primarias en la tubería y las pérdidas de primarias propiamente dichas; se ilustra a continuación el circuito más desfavorable de operación y los valores descritos anteriormente una vez evaluados para los distintos tramos de tubería:

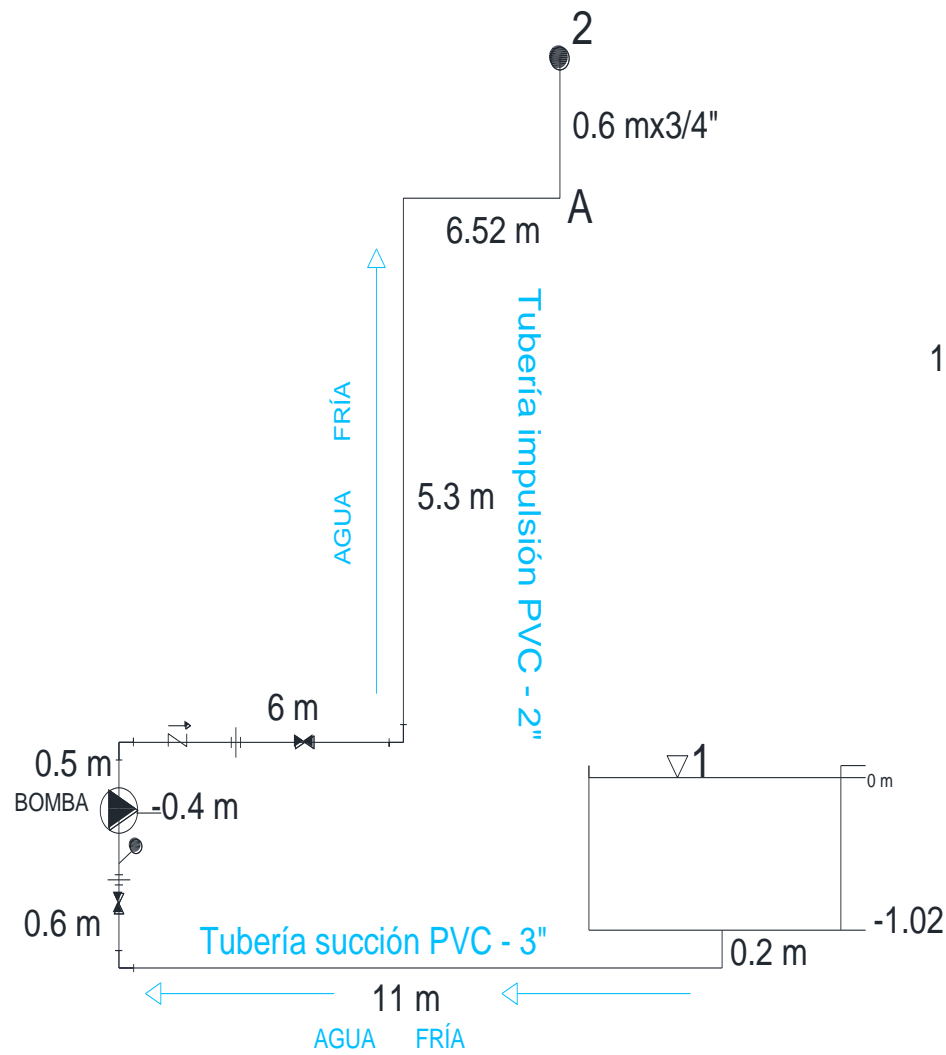
Valores adicionales:

Rugosidad absoluta del tubo PVC: 0.0000015 m (*Tuberías de PVC y Polietileno PAD.*, n.d.).

Viscosidad cinemática del agua a 28 °C.

Valores tomados del Libro de Robert Mott (Jose, 2011).

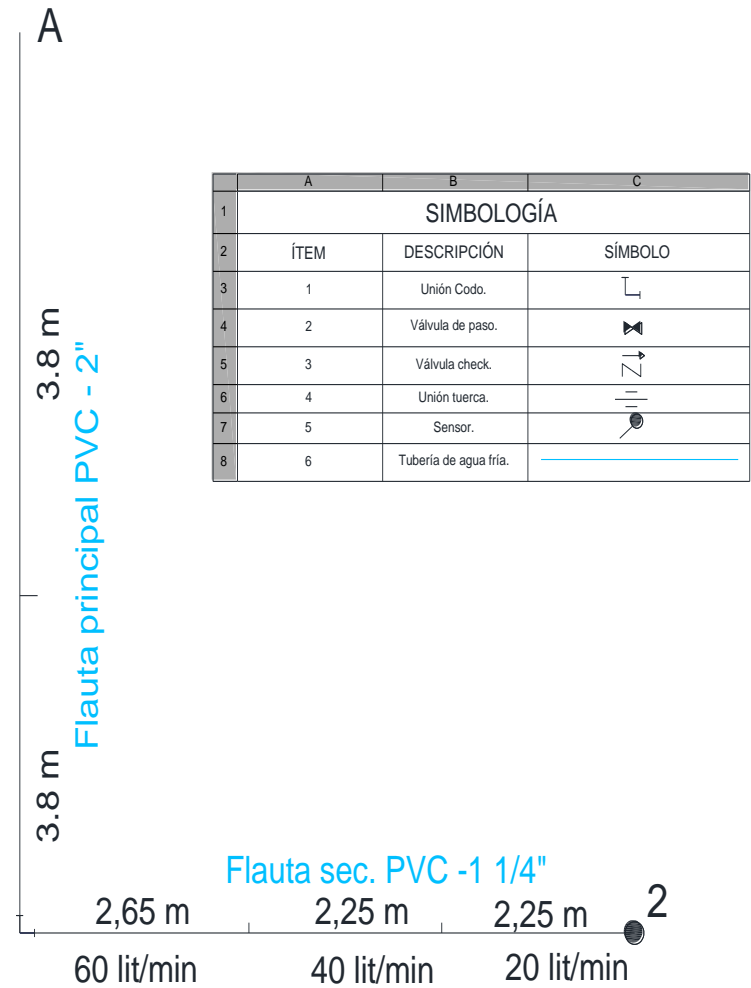
25 °C	8.94 * 10 ⁻⁷
28 °C	X → Interpolando = 8.3 * 10 ⁻⁷ m ² /s
30 °C	8.03 * 10 ⁻⁷



Vista frontal

140 lit/min

60 lit/min



Vista superior

	A	B	C
1	SIMBOLOGÍA		
2	ÍTEM	DESCRIPCIÓN	SÍMBOLO
3	1	Unión Codo.	
4	2	Válvula de paso.	
5	3	Válvula check.	
6	4	Unión tuerca.	
7	5	Sensor.	
8	6	Tubería de agua fría.	

Figura 41. Representación de las longitudes de tuberías en cada tramo (El autor).

Se realizó el cálculo del número de Reynolds de acuerdo a la velocidad del fluido y su diámetro para el tramo de succión (Tramo 1), los valores para los siguientes tramos fueron calculados en el software Excel y están representados en la **Tabla 27**. Se aplicó la ecuación (78):

$$Re_1 = \frac{v * D}{\nu}$$

$$Re_1 = \frac{(0.9 \text{ m/s}) * (0.0678 \text{ m})}{(8.3 * 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s})} = 7.54 * 10^4$$

Tabla 27

Valores del número de Reynolds en cada tramo.

Tramo	Velocidad (m/s)	Diám. Interno (m)	Reynolds
1	0.9	0.0678	7.54 x 10 ⁰⁴
2	2.1	0.0452	1.13 x 10 ⁰⁵
3	1.5	0.0422	7.91x 10 ⁰⁴
6	1.7	0.0272	5.64 x 10 ⁰⁴
7	1.5	0.017	3.0 x 10 ⁰⁴

Fuente: (El autor).

El cálculo del coeficiente de pérdidas primarias se obtuvo con la ecuación (77). El cálculo se realizó para el tramo de succión (Tramo 1), los valores de los siguientes tramos se calcularon con el software Excel y están representados en la **Tabla 28**.

$$\lambda_1 = \frac{0.25}{\left[\log_{10} \left(\frac{k}{3.7 * D} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right]^2}$$

$$\lambda_1 = \frac{0.25}{\left[\log_{10} \left(\frac{0.0000015 \text{ m}}{3.7 * (0.0678 \text{ m})} + \frac{5.74}{(7.54 * 10^4)^{0.9}} \right) \right]^2}$$

$$\lambda_1 = 0.019$$

Tabla 28

Valores del coeficiente de pérdidas primarias en cada tramo.

Tramo	Rugosidad "k" PVC (m)	Reynolds	Coef. pérdidas primarias (λ)
1	0.0000015	7.54 x 10 ⁰⁴	0.019
2	0.0000015	1.13 x 10 ⁰⁵	0.018
3	0.0000015	7.91x 10 ⁰⁴	0.019
6	0.0000015	5.64 x 10 ⁰⁴	0.020
7	0.0000015	3.0 x 10 ⁰⁴	0.023

Fuente: (El autor).

Una vez determinadas las variables principales, procedemos al cálculo de pérdidas primarias para cada tramo, el cálculo se realizó para el tramo de succión (Tramo 1), los valores de los siguientes tramos fueron calculados en el software Excel y están representados en la **Tabla 29**. Se aplicó la ecuación (76).

$$h_{rp \text{ tramo1}} = \frac{\lambda L}{D} * \frac{v^2}{2g} = \frac{(0.019)(11.8 \text{ m})}{(0.0678 \text{ m})} * \frac{(0.9 \text{ m/s})^2}{2 (9.81 \text{ m}^2/\text{s}^2)} = 0.14 \text{ m}$$

Tabla 29

Valores calculados de pérdidas primarias por tramo.

Tramo	Etapa	Longitud (m)	D. comercial (pulg.)	D. interior (mm)	Velocidad (m/s)	$\lambda L / D$	H _{rp} (m)
1	Succión	11.8	3	67.8	0.9	3.301	0.14
2	Impulsión	17.82	2	45.2	2.1	6.951	1.53
3	F. Princip.	7.81	2	45.2	1.5	3.276	0.4
6	F. sec. 3	7.15	1 ¼	27.2	1.7	5.376	0.81
7	Entrada calentador.	0.6	3/4	17.0	1.5	0.829	0.09

Fuente: (El autor).

Una vez obtenidas las pérdidas primarias en cada tramo, se procede a calcular las pérdidas secundarias, en la **Tabla 30** se representan estos valores y los diferentes accesorios (K) utilizados para los diferentes tramos entre los puntos 1 y 2 a ser evaluados en la ecuación de conservación de la energía.

Tabla 30

Valores de “K” y cantidad de accesorios en las tuberías.

	Accesorios	Cantidad	K	K sub Total	Total K
Tramo de succión	Rejilla 3”	1	1.5	1.5	
	Salida brusca de depósito	1	0.5	0.5	
	Codo de 90° 3”	4	0.38	1.52	
	Universal 3”	1	0.04	0.04	
	Unión 3”	1	0.045	0.045	5.74
	Cruz 3”	1		0	
	Válvula de paso 3”	1	0.29	0.29	
	Bushing de 3” a 2”	1	0.35	0.35	
	Prefiltro de canastilla	1	1.5	1.5	
Tramo de impulsión	Bushing de 1” a 2”	3	0.25	0.75	
	Codo de 90° 2”	3	0.38	1.14	
	Te 2”	5	0.2	1	6.54
	Check 2”	1	2.5	2.5	
	Universal 2”	3	0.045	0.135	
	Válvula de paso 2”	3	0.34	1.02	
Flauta principal	Te 2”	1	0.2	0.2	0.58
	Codo de 90° 2”	1	0.38	0.38	
Flauta secundaria 3	Bushing 2” a 1 ¼”	1	1.5	1.5	
	Te 1 ¼ “	2	0.25	0.5	2.41
	Codo 1 ¼”	1	0.41	0.41	
Entrada al calentador	Bushing 1 ¼” a ¾”	1	1.5	1.5	
	Válvula de paso ¾”	2	0.45	0.9	
	Universal ¾”	1	0.05	0.05	3.93
	Codo 90° ¾”	1	0.48	0.48	
	Conector cobre ¾”	1	1	1	

Fuente: Los valores de las “k” han sido tomados de diferentes sitios web.

6.6.3.2 Curva característica de la instalación entre los puntos 1 y 2. Una vez determinado estos valores se debe colocar en la ecuación de la altura dinámica total, en función del caudal total partiendo de la ecuación (75):

$$TDH = \frac{P_2}{\gamma} + z_2 + h_{r1-2} + \frac{v_2^2}{2g}$$

$$h_{r1-2} = h_{rp1-2} + h_{rs1-2}$$

Representación de pérdidas primarias en función del caudal total.

$$h_{rp1-2} = \frac{\lambda L}{D} * \frac{v^2}{2g} = \sum \frac{\lambda L}{D} * \frac{v^2}{2g}$$

$$h_{rp1-2} = \sum \frac{\lambda L}{D} * \frac{Q^2}{A^2 * 2g}$$

$$h_{rp1-2} = \frac{\lambda_1 L_1}{D_1} \frac{Q_1^2}{A_1^2 * 2g} + \frac{\lambda_2 L_2}{D_2} \frac{Q_2^2}{A_2^2 * 2g} + \frac{\lambda_3 L_3}{D_3} \frac{Q_3^2}{A_3^2 * 2g} + \frac{\lambda_6 L_6}{D_6} \frac{Q_6^2}{A_6^2 * 2g} + \frac{\lambda_7 L_7}{D_7} \frac{Q_7^2}{A_7^2 * 2g}$$

Sabiendo que:

$$Q_1 = Q_2 = Q$$

$$Q_3 = 0.7 Q$$

$$Q_6 = 0.3 Q$$

$$Q_7 = 0.1 Q$$

Se tiene:

$$h_{rp1-2} = \frac{\lambda_1 L_1}{D_1} \frac{Q_1^2}{A_1^2 * 2g} + \frac{\lambda_2 L_2}{D_2} \frac{Q_2^2}{A_2^2 * 2g} + \frac{0.7 \lambda_3 L_3}{D_3} \frac{Q_3^2}{A_3^2 * 2g} + \frac{0.3 \lambda_6 L_6}{D_6} \frac{Q_6^2}{A_6^2 * 2g} + \frac{0.1 \lambda_7 L_7}{D_7} \frac{Q_7^2}{A_7^2 * 2g}$$

$$h_{rp1-2} = \left(\frac{3.3387}{1.3 E - 5} + \frac{6.94}{2.56 E - 6} + \frac{0.7 (3.53807)}{2.56 E - 6} + \frac{0.3 (5.39)}{3.37 E - 7} + \frac{0.1 (0.8345)}{5.1 E - 8} \right) \left(\frac{Q^2}{2 (9.81)} \right)$$

$$h_{rp1-2} = 537531.86 Q^2$$

Representación de pérdidas secundarias en función del caudal total.

$$h_{rs1-2} = K * \frac{v^2}{2g} = \sum K \frac{v^2}{2g}$$

$$h_{rs1-2} = \sum K \frac{Q^2}{A^2 * 2g}$$

$$h_{rs1-2} = K_1 \frac{Q^2}{A_1^2 * 2g} + K_2 \frac{Q^2}{A_2^2 * 2g} + 0.7 K_3 \frac{Q^2}{A_3^2 * 2g} + 0.3 K_6 \frac{Q^2}{A_6^2 * 2g} + 0.1 K_7 \frac{Q^2}{A_7^2 * 2g}$$

$$h_{rs1-2} = \left(\frac{5.745}{1.3 E - 5} + \frac{6.545}{2.56 E - 6} + \frac{0.7 (0.58)}{2.56 E - 6} + \frac{0.3 (2.41)}{3.37 E - 7} + \frac{0.1 (3.93)}{5.1 E - 8} \right) \frac{Q^2}{2 (9.81)}$$

$$h_{rs1-2} = 667388.86 Q^2$$

Las pérdidas totales en función del caudal entre los puntos de análisis 1 y el punto 2, donde el fabricante de los calentadores solares requiere que se garantice una presión de servicio de 30 Psi, serán:

$$h_{r1-2} = h_{rp1-2} + h_{rs1-2}$$

$$h_{r1-2} = 537531.86 Q^2 + 667388.86 Q^2$$

$$h_{r1-2} = 1204920.72 Q^2$$

La presión de servicio es 30 PSI, convirtiendo en m.c.a. se tiene:

$$\frac{P_2}{\gamma} = \frac{30 \text{ Psi}}{9780 \text{ N/m}^3} \left(\frac{1.01325 \text{ E5 Pa}}{14.7 \text{ Psi}} \right) = 21.14 \text{ m.}$$

Representando estos valores en la ecuación de la altura dinámica total, se tiene:

$$\begin{aligned} \text{TDH} &= \frac{P_2}{\gamma} + z_2 + h_{r1-2} + \frac{v_2^2}{2g} \\ \text{TDH} &= 21.14 \text{ m} + 5.78 \text{ m} + 1204920.72 \text{ Q}^2 + \frac{0.1 \text{ Q}^2}{A_7^2 * 2g} \\ \text{TDH} &= 21.14 \text{ m} + 5.78 \text{ m} + 1204920.72 \text{ Q}^2 + \frac{0.1 \text{ Q}^2}{(5.1 \text{ E} - 8)(2)(9.81)} \\ \text{TDH} &= 26.92 \text{ m} + 1304858 \text{ Q}^2 \end{aligned}$$

Una vez determinado la altura dinámica total en función del caudal se puede graficar la curva característica de la instalación (**Tabla 31**) con ayuda de Excel.

Tabla 31
Valores de curva de instalación

Caudal (Lit / min)	H (m)
0	26.9
10	27.0
20	27.1
30	27.2
40	27.5
50	27.8
60	28.2
70	28.7
80	29.2
90	29.9
100	30.5
110	31.3
120	32.1
130	33.0
140	34.0
150	35.1
160	36.2
170	37.4
180	38.7
190	40.0
200	41.4
210	42.9
220	44.5
230	46.1
240	47.8
250	49.6
260	59.5

Fuente: (El autor).

En la **Figura 42** se muestran los puntos de intersección que definen la curva de instalación.

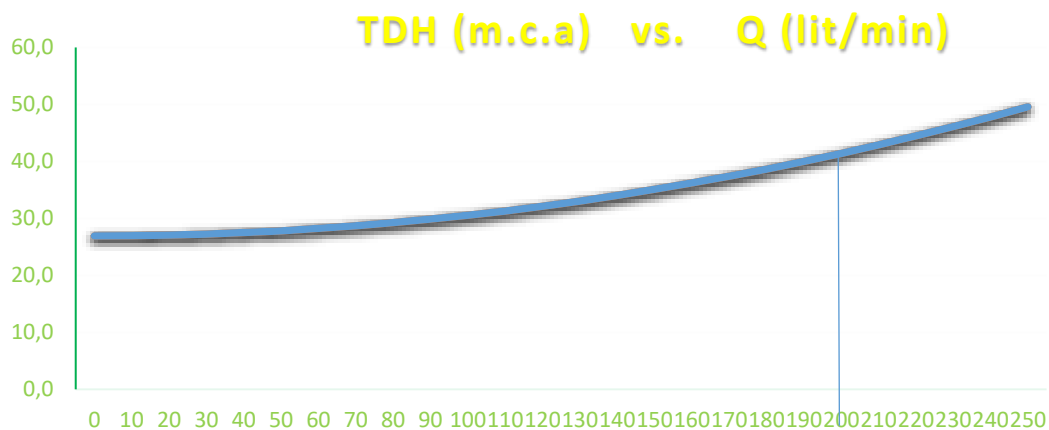


Figura 42. Curva de instalación del sistema (El autor).

Para garantizar un caudal de 200 lit/min a una altura dinámica de 41,4 m.c.a. conforme a la gráfica anterior, se ha seleccionado tentativamente del catálogo de bombas de la marca VOGT la unidad NE 620 con diámetro del impulsor de 180 mm (**Anexo 10**) como se indica en la **Figura 43**.

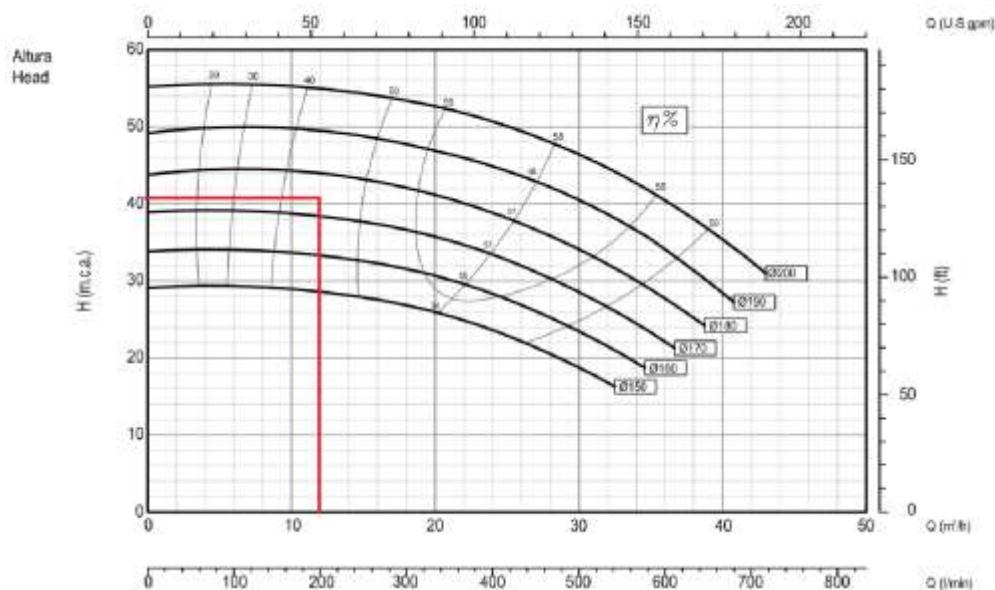


Figura 43. Relación entre el caudal y la altura dinámica total para la selección de la bomba. (VOGT, n.d.) (Anexo 8).

6.6.3.3 Curva de la bomba. Para obtener la ecuación de la curva de bomba, nos ayudamos del catálogo que nos aporta el fabricante “Serie: NE, Modelo 620, diámetro 180 mm marca VOGT”. Se toman valores y luego con la ayuda de Excel se obtiene la curva de la bomba como se muestra en la **Tabla 32** (**Anexo 10**).

Tabla 32

Valores para la ecuación de curva de la bomba.

Caudal (Lit/min)	H (m)
0	43.8
50	44.0
100	44.5
200	44.0
300	42.0
400	39.0

Fuente: (El autor).

En la **Figura 44** se encuentra representada mediante una gráfica de Excel la ecuación de la curva de la bomba.

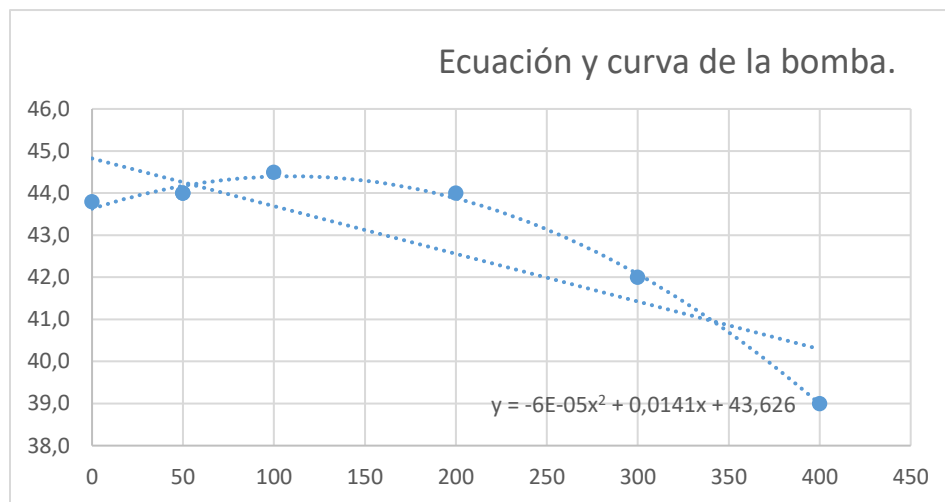


Figura 44. Ecuación de la curva de la bomba representada en Excel (El autor).

Ecuación de la curva de la bomba:

$$h = -6 \times 10^{-5}Q^2 + 0.0141 Q + 43.626$$

6.6.3.4 Punto de funcionamiento. El punto de funcionamiento se determina con la intersección de la curva de la bomba y la curva de instalación (**Tabla 33**), con ayuda del excel se obtiene:

Tabla 33*Valores para el punto de funcionamiento.*

Valores de curva de instalación		Valores de curva de la bomba	
Caudal (Lit / min)	H (m)	Caudal (Lit/min)	H (m)
0	26.9	0	43.6
10	27.0	10	43.8
20	27.1	20	43.9
30	27.2	30	44.0
40	27.5	40	44.1
50	27.8	50	44.2
60	28.2	60	44.3
70	28.7	70	44.4
80	29.2	80	44.4
90	29.9	90	44.4
100	30.5	100	44.5
110	31.3	110	44.5
120	32.1	120	44.4
130	33.0	130	44.4
140	34.0	140	44.4
150	35.1	150	44.4
160	36.2	160	44.3
170	37.4	170	44.3
180	38.7	180	44.2
190	40.0	190	44.1
200	41.4	200	44.0
210	42.9	210	43.9
220	44.5	220	43.8
230	46.1	230	43.7
240	47.8	240	43.6
250	49.6	250	43.4
260	59.5	300	42.5

Fuente: (El autor).

Mediante la curva de instalación y la curva de la bomba se define el punto de funcionamiento de la bomba, representado en la **Figura 45**.

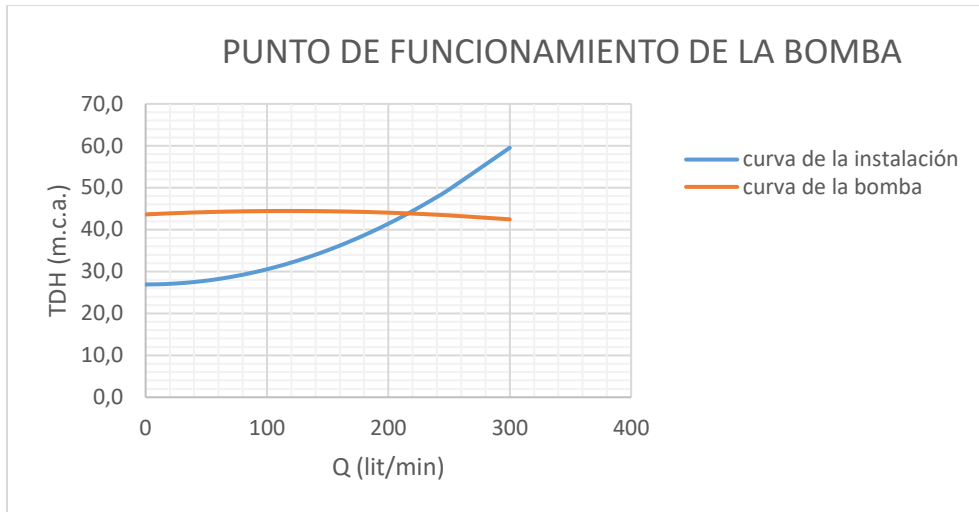


Figura 45. Punto de funcionamiento de la bomba (El autor).

El punto de funcionamiento se encuentra en 215 litros / min y 44 m.c.a. El rendimiento se obtiene de las curvas características dadas por los fabricantes, en la **Figura 46** se observa las curvas de rendimiento, siendo este del 46%.

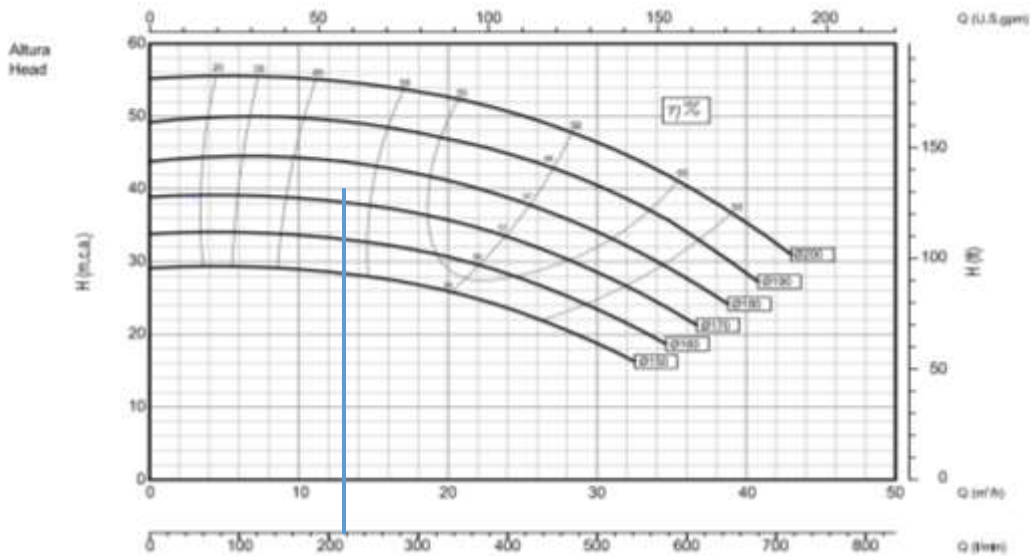


Figura 46. Rendimiento de la bomba. (VOGT, n.d.) (Anexo 10).

Así mismo, de estas misma curvas determinamos la potencia requerida y el NPSHr (véase **Figura 47**):

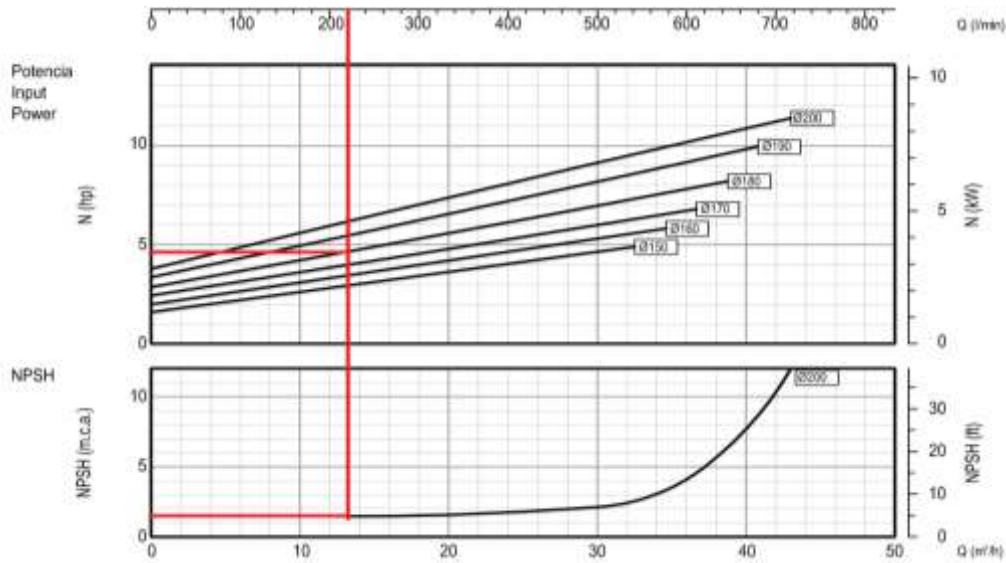


Figura 47. Potencia de la bomba y NPSHr (VOGT, n.d.) (Anexo 10).

Siendo la potencia requerida por la bomba 4.8 HP a 2900 rpm y el NPSHr 1.5 m, por recomendación del fabricante se adiciona 0,5 m al NPSHr como margen de seguridad, quedando $NPSHR = 2$ m para la constatación respectiva. Para verificar que la bomba no se encuentre cavitando se determina el NPSHd con ecuación (80):

$$NPSHd = \frac{P_{ABS.} - P_{SAT.}}{\gamma} - Z - h_{asp}$$

Donde:

Presión atmosférica Loja: 93.56 KPa \rightarrow 93560 Pa

$P_{sat28^{\circ}C} = 0.03782 \text{ bar} * 14.5038 \text{ PSI/ 1 bar} * 1.013 * 10^5 \rightarrow 3780.03 \text{ Pa}$

$Z = -0.4 \text{ m}$

$h_{fasp} = 0.3748 \text{ m}$

$$NPSHd = \frac{(93560 \text{ Pa} - 3780.03 \text{ Pa})}{9780.57 \text{ N/m}^3} - (-0.4 \text{ m}) - 0.3748 \text{ m}$$

$$NPSHd = 9.20 \text{ m}$$

Evaluamos la condición del NPSHd con el NPSHr para que la bomba no cavite:

$$NPSHd \geq NPSHr$$

$$9.20 \text{ m} > 2 \text{ m}$$

Como se evidencia que es mayor el NPSHd, se deduce que el sistema de bombeo está bien dimensionado.

6.7 Monitoreo del sistema

6.7.1 Datos técnicos del sistema de control

1. Controlador.
2. Resistencia eléctrica.
3. Electroválvula.
4. Sensor de nivel y temperatura.



Figura 48. Controladora TK-8a de nivel y temperatura de agua del termo - tanque (Controlador, n.d.)

6.7.2 Esquemas de conexión de control.

En la **Figura 49** se establece su principal esquema de conectividad.

Datos técnicos

- Fuente de alimentación: AC220/127V /50Hz.
- Consumo eléctrico: <5 W.
- Precisión termométrica: +/- 2°C
- Rango termométrico: 0- 99°C.
- Precisión de control de temperatura: +/- 2°C.
- Niveles de agua: 4.
- Sistema eléctrico de corte en caso de fuga: menor o igual a 10 mA/0.1S.
- Grado impermeable: IP40 (*Manual TK-8, n.d.*).



Figura 49. Esquema de conexión entre la controladora, el sistema de colección solar y la bomba.

6.7.2.1 Conexión entre la controladora y el termo – tanque. Para revisar la configuración de la controladora “TK-8A” (**Anexo 15**). A continuación, en la **Figura 50**, se detalla la correcta forma de conexión de la controladora hacia cada termo – tanque respectivo con su simbología:

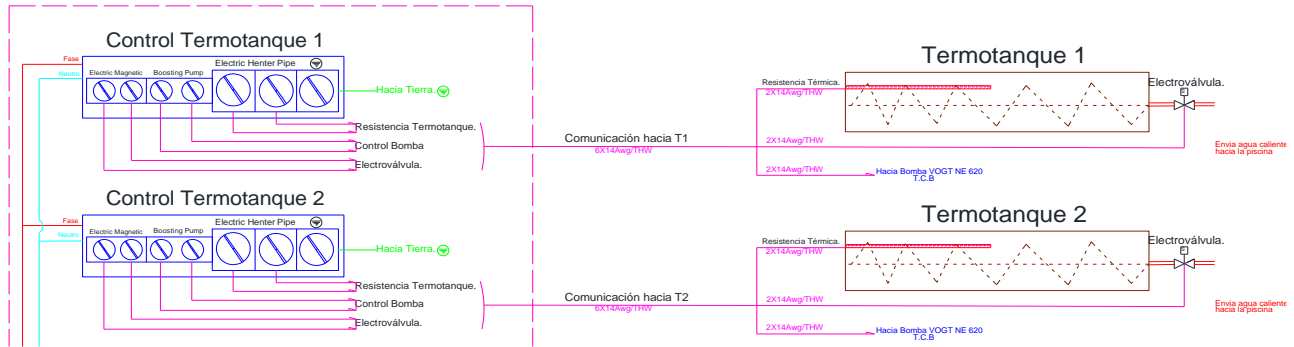


Figura 50. Esquema de conexión entre la controladora TK-8A y el termo – tanque (El autor).

Tendremos un tablero de control; dentro del cual se encontrarán las controladoras para cada termo – tanque, aquí tendremos acceso a la configuración y control de TC/TK-8A y, activación y protección de la bomba denominado T.C /BOMBA, recalcando que la activación de la bomba de recirculación está relacionada con las mediciones de nivel y temperatura de agua tanto de los termo –tanques como de la piscina. Además, contaremos con un tablero eléctrico de control principal encargado de energizar tanto el tablero de control de las controladoras y el tablero de control de la bomba, representado en la **Figura 51**.



Figura 51. Esquema del tablero general de control (El autor).

6.7.2.2 Control de temperatura en la piscina. Para el control de la temperatura del agua de la piscina se usará una controladora TK-8A adicional en el tablero general de control. Tomando en cuenta que la controladora nos permite habilitar la opción que se desea controlar de manera individual ya sea temperatura de agua o nivel de agua, se configurará y activará la opción de medición de temperatura ubicando el sensor antes de la entrada a la bomba en el tramo de succión, de tal manera que al momento de realizar el cambio de dirección del fluido en la depuradora para realizar una recirculación del agua de la piscina el sensor tomará el dato del agua que pasa por la tubería y se podrá visualizar en la pantalla de la controladora, de esta manera podremos definir y

decidir si es necesario realizar una nueva inyección de agua caliente desde los termo – tanques hacia la piscina.

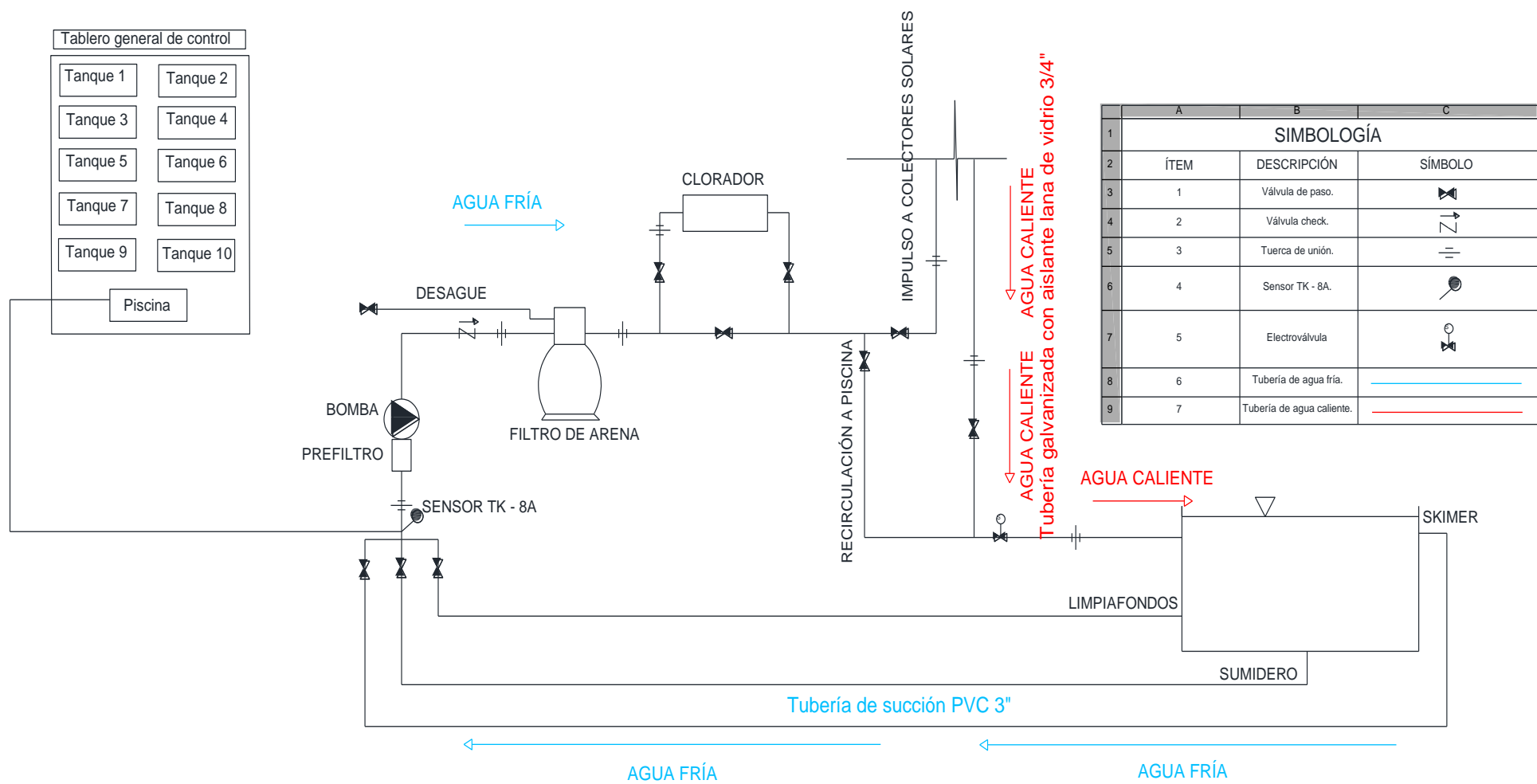
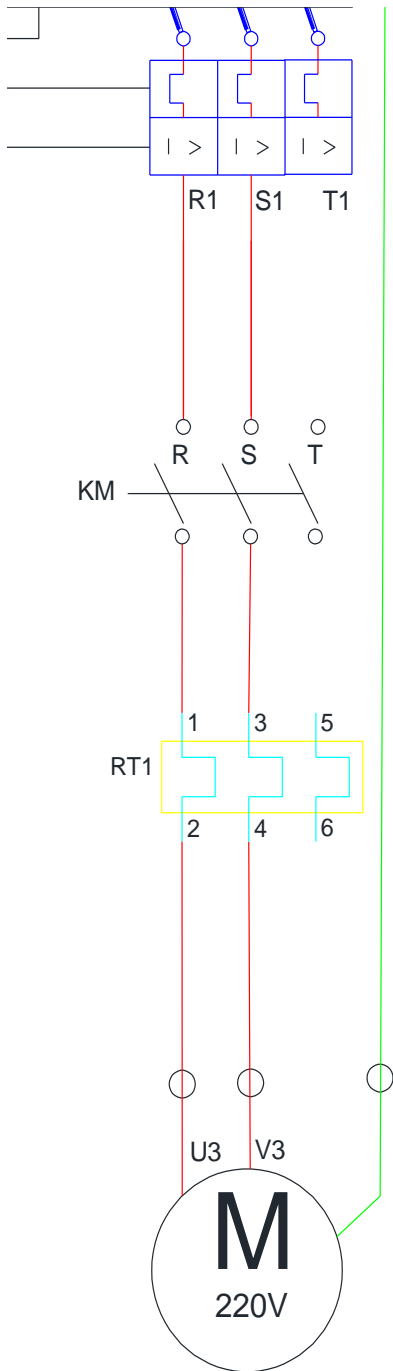


Figura 52. Conexión para el control de temperatura en la piscina terapéutica (El autor).

6.7.2.3 Diagrama de fuerza de la bomba. La controladora TK-8A nos permite el monitoreo constante del nivel de agua y la temperatura que se encuentra el termo - tanque, una vez que alcanza el grado de temperatura adecuado, la controladora manda a activar la electroválvula de cada uno de los termo - tanques enviando el flujo de agua caliente hacia la piscina y activando el tablero de control de la bomba permite mantener el nivel de agua de los termo - tanques en el 100%.El diagrama de fuerza de la bomba está representado en la **Figura 53**. Los datos dimensionados del interruptor electromagnético, contactor y relé térmico se observa en el (**Anexo 16**).



Disyuntor Electromagnético
Siemens modelo - 5SL6220 - 7MB
20 A

Contactor trifásico
TeSys K corriente de 6 A a 16 A
Categoría AC - 3 modelo LC1K1610F7

Relé Térmico
Siemens 25 A 3RU21264DJ0

Hacia Bomba VOGT NE 620
Voltaje: 220V / 240V
Potencia: 4.8 HP
RPM: 2900 r/min
Rendimiento: 46%
PF: 215 l/min; 44 m.c.a.

Figura 53. Diagrama de conexión de fuerza de la bomba (El autor).

6.7.2.4 Diagrama de control de la bomba. Para el diagrama de control se debe tener en cuenta que la activación del contactor lo hará la controladora del termo – tanque, para cuando necesite llenar su nivel de agua y esté en proceso la inyección de agua hacia la piscina terapéutica. Ubicamos tres luces pilotos para indicación del sistema, amarilla que funcionara en conjunto con la parada de emergencia, el rojo cuando se detenga el sistema y la verde cuando arranque el sistema. Debemos tener en cuenta que recibimos el pulso desde la controladora TK-8A para la activación de la bomba (Figura 58).

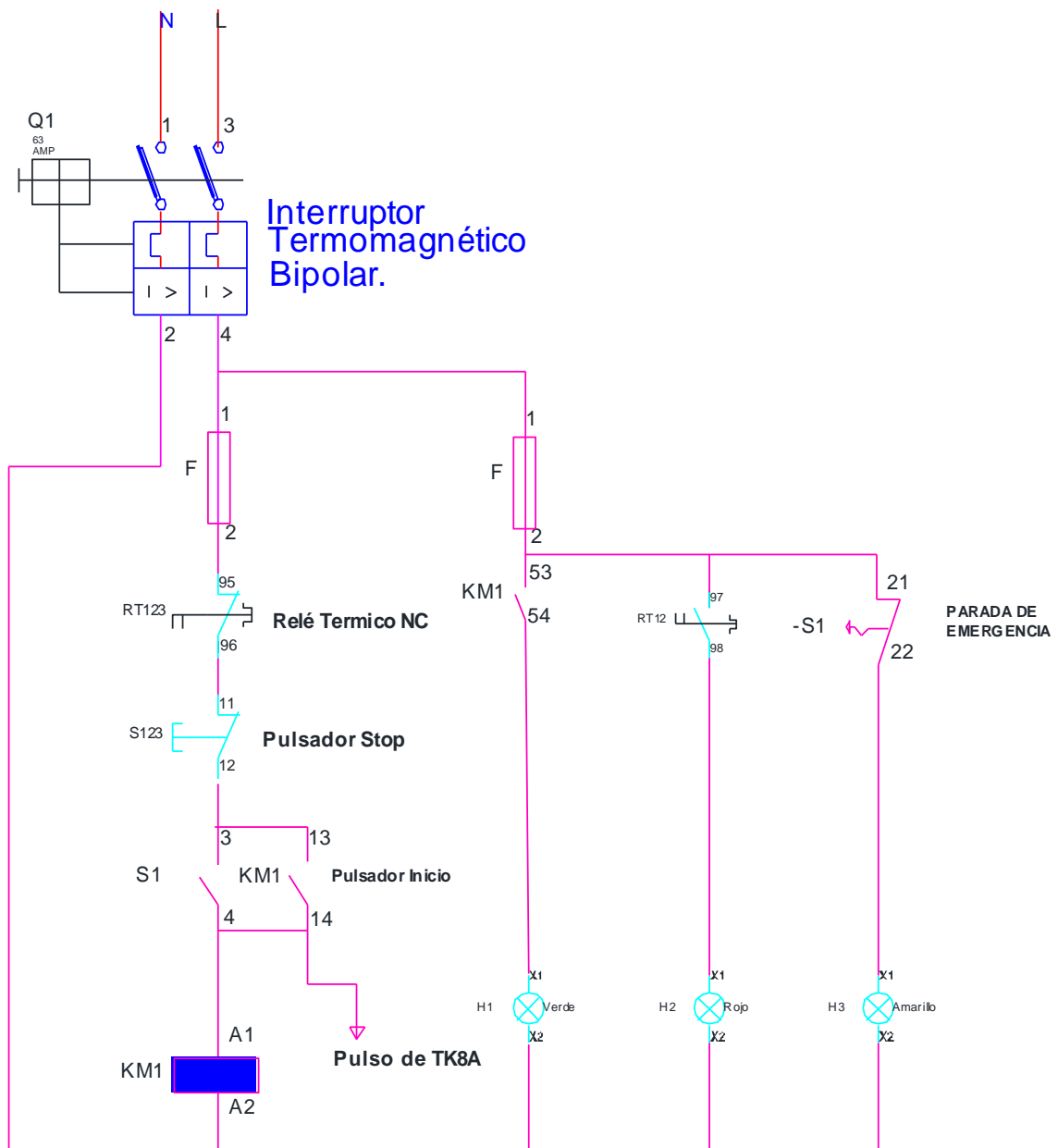


Figura 54. Diagrama de conexión de control de la bomba (El autor).

6.8 Análisis de inversión del proyecto

6.8.1 Costos directos

Relaciona a los costos de los materiales, mano de obra, mantenimiento y accesorios para la construcción del proyecto. A continuación se presenta la **Tabla 34**.

Tabla 34

Costos de los accesorios en la parte hidráulica.

Accesorios	Cantidad	Valor Unitario	Valor TOTAL
PVC Codo de 90° 3"	4	1.03	4.12
Union Universal 3"	1	2.30	2.30
Unión Universal 2"	3	2.15	6.45
Cruz 3"	1	4.57	4.57
Válvula de paso 3"	1	28.5	28.5
Bushing de 3" a 2"	1	1.50	1.50
Bushing de 2" a 1"	3	0.85	2.55
PVC Codo de 90° 2"	4	2.45	9.80
PVC - Te 2"	6	1.14	6.84
Válvula Check 2"	1	32.49	32.49
Válvula de paso 2"	3	25.48	76.44
Bushing 2" a 1 ¼"	3	0.65	1.95
PVC - Te 1 ¼ "	7	0.80	5.60
PVC – Codo 90° 1 ¼ "	3	2.35	7.05
Bushing 1 ¼" a ¾"	10	0.31	3.10
Te ¾"	8	1.94	15.52
PVC Codo 90° ¾"	21	0.87	18.27
Conector cobre ¾"	10	1.16	11.6
Tubería PVC 3" – succión. (6 m)	2	15.40	30.80
Tubería PVC 2" – impulsión. (6 m)	3	12.58	37.74
Tubería galvanizada ¾ – Retorno agua caliente. (6 m)	8	20.11	160.88
Tubería PVC 2" – Flauta principal. (6 m)	2	12.58	25.16
Tubería PVC 1 ¼"- Flauta secundaria. (6 m)	4	10.14	40.56
Tubería PVC ¾" – Entrada calentador. (6 m)	1	5.64	5.64
Aislante térmico de lana de vidrio.	Rollo 24 *1.20m	62.20	62.20
Bomba	1	350	350
Interruptor electromagnético	1	7.54	7.54
Contactador	1	38.00	38.00
Relé térmico	1	80.00	80.00
Total			USD 1077.17

Fuente: (Varillas, 2012) (Precios, n.d.) (Anexo 11) (Anexo 16).

6.8.1.1 Costos por el sistema de calentamiento de agua. Valores representados en la **Tabla 35**.

Tabla 35

Costos por accesorios del sistema de colección solar.

Detalle	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Sistema de calentamiento solar de agua de 400 litros.	10	USD 1780.00	USD 17800.00
Electroválvulas.	10	Incluido en compra.	USD 0
Resistencias eléctricas.	10	Incluido en compra	USD 0
Sistema de monitoreo.	1	Incluido en compra.	USD 0
Total			USD 17800.00

Fuente: (Rio Solar Smart Energy, 2021) (Anexo 12).

6.8.1.2 Costo de mano de obra. Valores representados en la **Tabla 36**.

Tabla 36

Costos por construcción e implementación.

Detalle	Cantidad	Valor Unitario	Valor total
Instalación colectores.	1	Incluido en compra.	USD 0
Instalación hidráulica.	1	USD 345.00	USD 386.00
Instalación eléctrica.	1	USD 200.00	USD 200.00
Total			USD 586.00

Fuente: (Anexo 12), (Anexo 14).

En la **Tabla 37** se muestran los valores por costos directos:

Tabla 37

Resumen de costos directos

Ítem	Detalle	Valor total USD
1	Costo - accesorios sistema hidráulico	1077.17
2	Costo sistema de calentamiento de agua	17800.00
3	Costo construcción e implementación	586.00
Total		19463.17

Fuente: (El autor).

6.8.2 Costos indirectos

Este tipo de costos no tienen relación directa con la formación o desarrollo del proyecto, surgen del requerimiento de ciertos parámetros a partir de diferentes etapas cuando el proyecto ya se efectúa. Para detallar los costos indirectos se estima un 5% del total de los costos directos de proyecto los cuales están representados en la **Tabla 38**.

Tabla 38*Resumen de costos indirectos*

Ítem	Detalle	Valor total USD
1	Gastos Adicionales	900.00
2	Internet	25.00
3	Transporte	50.00
Total		975.00

Nota. (El autor).

6.8.3 Costos totales del proyecto

Utilizamos la ecuación (81):

$$\text{Costo}_{\text{total}} = \text{Costos}_{\text{directos}} + \text{Costo}_{\text{indirectos}}$$

$$\text{Costo}_{\text{total}} = (\text{USD } 19463,17 + \text{USD } 975,00)$$

$$\text{Costo}_{\text{total}} = \text{USD } 20438.17.$$

6.8.4 Costos de operación y mantenimiento del sistema

6.8.4.1 Costos por mantenimiento. Los mantenimientos de los equipos se deben realizar una vez por mes. Debido a que la recirculación del agua será a una temperatura alta hacia la piscina, es necesario inspeccionar el sistema hidráulico, además de las conexiones y el mantenimiento respectivo a los colectores solares, ya que estos últimos están expuestos a la intemperie y pueden sufrir algún daño. El costo por mantenimiento mensual solicitado a la Constructora Eléctrica “OHM” (**Anexo 14**) sería de USD 90,00 dólares americanos por cada mes, es decir, un total de USD 1080,00 anuales.

6.8.4.2 Costos por consumo de energía eléctrica (resistencias). De acuerdo con el cuadro de demandas energéticas (**Tabla 23**), se ven reflejados los aportes energéticos tanto de la parte solar como de la parte eléctrica por activación de la resistencia eléctrica en situaciones donde la oferta solar no sea la suficiente para suplir los parámetros de temperatura. Según (Ministerio de Energía y Minas, 2022) el directorio de la Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables – ARCERNNR, mediante resolución ARCERNNR – 009/2022 del 14 de abril, determinó que la tarifa nacional promedio del servicio eléctrico se mantenga en 9,2 centavos de dólar por cada kW-h. Es decir, no existirá variación en el precio final del servicio para el consumidor.

El aporte de energía eléctrica anual será de 52095628.15 kJ → 14471.01 kW-h. El costo del kWh en Ecuador está en 0.092 USD / kW-h. Utilizamos la ecuación (82):

$$\text{Costo}_{\text{energ.eléct.anual}} = \text{Aporte}_{\text{energético eléct.}} * \text{Costo}_{\text{kW-h}}$$

$$\text{Coste}_{\text{energ.eléct.anual}} = (14471.01 \text{ kW - h})(0.092 \text{ USD}/\text{kW - h})$$

$$\text{Coste}_{\text{energ.eléct.anual}} = \text{USD } 1331.33 \text{ USD}$$

6.8.4.3 Costos por consumo de energía de la bomba. La bomba seleccionada para esta propuesta ha sido de la marca VOGT, de la serie NE, con una potencia de 4.8 HP → 3.58 kW. Durante los días de uso de la piscina (2 días por semana), la bomba estará encendida durante 1.5 horas aproximadamente, esto debido a que solo se activará cuando sea necesario la recuperación de calor en la piscina y haya una recirculación de fluido, además, se ha dimensionado para que eleve el agua desde la piscina hacia los termos – tanques en un tiempo estimado de 20 minutos por cada circulación. Para ello usamos la ecuación (83):

$$\text{Consumo bomba}_{\text{total-año}} = \text{Consumo}_{\text{bomba}} * 1.5 \text{ h}/\text{día} * 96 \text{ días}$$

$$\text{Consumo bomba}_{\text{total-año}} = (3.58 \text{ kW}) * 1.5 \text{ h}/\text{día} * 96 \text{ días}$$

$$\text{Consumo bomba}_{\text{total-año}} = 515.52 \text{ kW - h}$$

El costo por la energía usada será determinado mediante la ecuación (84):

$$\text{Costo energía anual}_{\text{activación bomba}} = \text{Cons. bomba}_{\text{total-año}} * \text{Costo}_{\text{KW-h}}$$

$$\text{Costo energía anual}_{\text{activación bomba}} = (515.52 \text{ kW - h})(0.092 \text{ USD}/\text{kW - h})$$

$$\text{Costo energía anual}_{\text{activación bomba}} = \text{USD } 47.42$$

6.8.4.4 Costos por tratamiento químico con manta térmica. Los costos por tratamiento químico sin manta térmica y con manta térmica se ven reflejados en la **Tabla 38**.

- Cloro granulado: Aplicar 70 gramos de cloro granulado por cada 10 m³ (Química Universal, n.d.). Según Carvajal Paucar & Mejía Almeida (2021), el costo de cada kg de cloro granulado es en promedio de USD 2.21.
- Pastillas de cloro: Se recomienda que el pH del agua de una piscina debe estar entre 7.2 y 7.6; por lo que se recomienda usar entre 0.4 y 1.5 gramos por cada m³ (CADENA 100, 2022) (Química universal, 2022). Según Carvajal Paucar & Mejía Almeida (2021), el costo de cada kg ronda los USD 3.36.
- Regulador de pH: regularmente el pH de agua de red ronda el 6.5. Aplicar 10 gramos de floculante por cada m³ de agua para subir un punto de pH aproximadamente (PROlimpio,

2022) (Pérez López, 2016) (Arromel, 2022). Según (Carvajal Paucar & Mejía Almeida, 2021), el costo por cada kg es de USD 2.80.

Tabla 39
Costos anuales por tratamiento químico

Detalle	Cantidad mensual (kg)	Costo anual sin manta (USD)	Costo anual con manta (40% ahorro) (USD)
Cloro granulado	1.708	45.91	27.54
Pastillas de cloro	0.60	14.75	8.85
Regulador de pH	2.41	81.98	49.18
Total		142.64	85.57

Fuente: Los valores de los productos son una referencia promedio tomada de (Carvajal y Mejía, 2021).

A continuación, en la **Tabla 40** se presentan los valores por costos de operación del sistema:

Tabla 40
Resumen de costos por operatividad

Ítem	Detalle	Valor total anual (USD)
1	Costo por mantenimiento general	1080.00
2	Costo energía por uso de resistencias eléctricas	1331.33
3	Costo por tratamiento químico de la piscina	85.57
4	Costo energía por uso de la bomba	47.42
Total		2544.32

6.8.5 Evaluación del ahorro que representa la fracción solar.

El aporte solar durante un año de puesta en marcha del proyecto refleja que en la mayoría de los meses llega a ser incluso superior al 50% (**Tabla 23**). El aporte de energía solar anual para el calentamiento de agua es de 67867270.95 kJ → 67867270950 J. A continuación, presentamos el costo que representaría obtener esta cantidad de energía en relación al GLP – industrial.

Valor de energía representada en BEP y barriles americanos de GLP (b.b.l – GLP)

$$x = \frac{(1 \text{ BEP})(67867270950 \text{ J})}{(6.118 \times 10^9 \text{ J})} = 11.093 \text{ BEP} * \frac{1 \text{ b. b. l GLP}}{0.6701 \text{ BEP}} = 16.55 \text{ b. b. l – GPL}$$

Considerando que en 1 b.b.l – GLP hay 106.53 lts, calculamos los litros que contendrán 16.55 b.b.l – GLP, además de obtener el volumen que ello representa:

$$x = \frac{(106.53 \text{ lts})(16.55 \text{ b. b. l. –GLP})}{(1 \text{ b. b. l. –GLP})} = 1763.53 \text{ lts} * \frac{1\text{m}^3}{1000 \text{ lts}} = 1.7635 \text{ m}^3$$

Calculamos la masa:

$$\rho = \frac{m}{V} \rightarrow m = \rho * V = \left(550 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) (1.7635 \text{ m}^3) = 969.94 \text{ kg} - \text{GLP}.$$

Determinamos el costo aproximado para obtener esta cantidad de energía (67867270950 J) si lo obtuviéramos por medio de la fuente energética del GLP – industrial.

Realizamos un análisis de unidades en la ecuación (85) en la cual transformamos las unidades de energía por unidades físicas para obtener el costo de la energía en relación con el GLP - industrial

$$\text{Ahorro energético}_{\text{anual}} = \text{Aporte solar total}_{\text{anual}} * \text{Costo}_{\text{energía}}$$

$$\text{Ahorro energético}_{\text{anual}} = \text{Consumo GLP} - \text{industrial} * \text{Costo GLP} - \text{industrial}$$

$$\text{Ahorro energético}_{\text{anual}} = (969.94 \text{ kg} - \text{GLP industrial}) (\text{USD } 1.047)$$

$$\text{Ahorro energético}_{\text{anual}} = 1015.52 \text{ USD}.$$

Realizando un análisis de aporte energético del sistema de calentamiento de agua solar – eléctrico en BEP, tenemos:

Energía total anual requerida por el sistema: 119962899,1 KJ (Tabla 23).

$$x = \frac{(1 \text{ BEP})(1.1996288 \times 10^{11} \text{ J})}{(6.118 \times 10^9 \text{ J})} = 19.60 \text{ BEP}$$

Aporte energético solar anual:

$$x = \frac{(1 \text{ BEP})(67867270950 \text{ J})}{(6.118 \times 10^9 \text{ J})} = 11.09 \text{ BEP}$$

Aporte energético eléctrico anual: 52095628,15 KJ (Tabla 23).

$$x = \frac{(1 \text{ BEP})(52095628,15 \text{ J})}{(6.118 \times 10^9 \text{ J})} = 8,52 \text{ BEP}$$

Obtenemos el porcentaje anual energético solar:

$$\%_{\text{solar}} = \frac{(11.09 \text{ BEP})(100 \%) }{(19.60 \text{ BEP})}$$

$$\%_{\text{solar}} = 56.58$$

6.8.6 Análisis financiero

Considerando que el uso de la piscina es de 16 personas por semana y que normalmente el costo por el uso de una piscina de estas características por persona ronda los USD 6,00 se estima un crecimiento del 5 % anual, con una tasa de interés del 9.72 %. La vida útil de los sistemas de colectores solares se promedia entre 8 años hasta los 15 años (Sun Power, n.d.), por ello, para este análisis se determinará la rentabilidad de inversión en un lapso de 15 años.

Consideramos los siguientes parámetros:

Costo total del proyecto: USD 20438,17

Costos por operatividad y mantenimiento: USD 2544, 32

Ahorro energético por aporte solar: USD 1015, 52

Ahorro por uso de manta térmica: USD 57,07

Ingresos por número total de personas anual: USD 4608,00

Usando las ecuaciones respectivamente (86) y (87) mediante el software de cálculo Excel determinamos el VAN y la TIR, representamos sus valores en la **Tabla 41**.

Tabla 41

Determinación de rentabilidad del proyecto.

Período	Ingreso – ahorro (USD).	Gastos (USD).	Flujo efectivo neto (USD).	Valor presente (USD).	Beneficio (USD).	VAN	TIR
0			-20438.17	-20438.17	-20438.17		
1	5680.59	2544.32	3136.27	2858.43	-17579.74		
2	5964.62	2671.54	3293.08	2735.46	-14844.27		
3	6262.85	2805.11	3457.74	2617.79	-12226.49		
4	6575.99	2945.37	3630.62	2505.18	-9721.31		
5	6904.79	3092.64	3812.16	2397.41	-7323.90		
6	7250.03	3247.27	4002.76	2294.27	-5029.63		
7	7612.53	3409.63	4202.90	2195.58	-2834.05		
8	7993.16	3580.11	4413.05	2101.13	-732.93	11650.54	18 %
9	8392.82	3759.12	4633.70	2010.74	1277.81		
10	8812.46	3947.08	4865.38	1924.24	3202.05		
11	9253.08	4144.43	5108.65	1841.46	5043.51		
12	9715.74	4351.65	5364.09	1762.24	6805.76		
13	10201.52	4569.23	5632.29	1686.44	8492.19		
14	10711.60	4797.69	5913.9	1613.89	10106.08		
15	11247.18	5037.58	6209.60	1544.46	11650.54		

Fuente: (El autor).

Como se demuestra en la **Tabla 41** a partir del noveno período se puede evidenciar un beneficio rentable, El VAN hasta el período 15 es de USD 11650.54 mayor que 0, además; la TIR es de 18% por lo que la inversión es rentable en el período estimado.

7 Discusión

El objetivo general que encaminó el proyecto desde un principio fue el de investigar las mejores condiciones y alternativas que se le podrían dar a un sistema ineficiente y que no generaba confort dentro de los parámetros para el cual estaba dimensionado. Por ello, los resultados de la presente investigación han tomado análisis independientes, considerando factores relevantes y se presentan de la siguiente manera.

Sobre los costos de inversión y operatividad

Con respecto a este apartado, es necesario considerar que llevar a cabo un proyecto de estas características tanto como de calidad e innovación, requiere de una inversión inicial de USD 19463,17 por costos directos, USD 975,00 por costos indirectos y USD 2544,32 anuales por operatividad y mantenimiento. Se debe considerar que la incertidumbre económica es uno de los factores más importantes en este tipo de proyectos para la toma de decisiones, en especial, cuando se habla de accesorios, mano de obra y combustibles. El principal inconveniente que existe con el sistema de calentamiento de agua de la piscina terapéutica actual son las averías que tiene el sistema de calefones de GLP, esto impide calentar el agua a la temperatura de confort (28 °C). Por otra parte, los colectores solares con tanques acumuladores, si bien no se han aplicado en mayores casos a este tipo de proyectos, son una excelente opción y el costo lo justifica, pues se presentan con un nivel de precisión y acondicionamiento para las necesidades planteadas, es decir, un sistema integrado automático que reduce un sin número de procesos de captación y ahorro energético del 56.58 % respecto al sistema actual. En los resultados obtenidos de la relación de aportes energéticos, se constató la alta eficiencia (68 %) de estos sistemas para la transferencia y almacenamiento de calor. Si bien es cierto, la inversión inicial para este proyecto (USD 20438,17) puede parecer alta y nada rentable, pero son escenarios que aún no están definidos y en los próximos años estos sistemas podrían reemplazar a los sistemas convencionales los cuales son menos eficientes y se vería reflejado el beneficio absoluto en el campo económico gracias a la energía gratuita que se obtiene del sol.

Sobre el uso de las energías limpias

Un consumo continuo de ciertos combustibles fósiles como el GLP - industrial genera emisiones de dióxido de carbono, óxido de nitrógeno, monóxido de carbono, además de un gasto constante, en este caso serían USD 1015,52 por cada año. La dirección en la que vamos dentro del

campo ingenieril, es hacia la disminución de este tipo de energía que contamina al medio ambiente y renovable. El dimensionamiento y condiciones de este proyecto están enfocadas al mejoramiento de las condiciones de servicio y el mejoramiento de obtención de tipo de energía a emplear para el calentamiento de agua. La energía solar es aprovechada en un 68 % en este caso, teniendo en cuenta la eficiencia del sistema de captación solar seleccionado y su obtención es de manera gratuita. La demanda mensual de energía para el calentamiento de agua es de 11251672.48 kJ (**Tabla 20**), de los cuales el aporte energético solar en 10 de los 12 tiene un promedio de hasta el 58.21% y en el resto de meses no baja del 48% (**Tabla 23**). La energía solar la encontramos en todas partes y es bien aprovechada por este tipo de equipos que cada vez mejoran su eficiencia, evidenciando que actualmente se encuentran colectores con una eficiencia del 72% siendo 4 puntos superior al promedio de los modelos anteriores del 68 %, de esta manera, el costo de inversión inicial USD 20438,17 se vería justificado por el ahorro económico anual de USD 1015,52 que representa el aporte solar al sistema de calentamiento de agua.

Sobre el impacto social y comunitario.

El Ministerio de Inclusión Económica y Social-MIES, es una institución que trabaja y ejecuta programas de servicio social, dando prioridad a personas con discapacidad. Una de los factores que se observó en la problemática eran las condiciones en qué se encontraban las instalaciones alrededor de la piscina, la seguridad era mínima puesto a que cualquier persona puede acceder a tener contacto con los tanques de gas poniendo en riesgo incluso la vida de aquellos que hacen uso de la misma. Es por ello, que el proyecto lleva como objetivo principal el mejoramiento para facilitar el uso de las instalaciones y a su vez, beneficiar a aquellos que forman parte de los programas de inclusión ya que es necesario el uso de la piscina como medio terapéutico, de relajación y lugar para realizar actividades planificadas.

Discusión general

Entre los sistemas de calefacción para piscinas encontramos un mercado variable, considerando los materiales usados en cada sistema, el funcionamiento y rendimiento general. Normalmente, se usan bombas de calor, calefones a gas o tubos de polipropileno para calentar el agua de una piscina, pero no siempre resultan los adecuados para cumplir dicha tarea; es por ello, que dentro de esta investigación se ha seleccionado el sistema de colectores solares con tubos de vacío por su alta eficiencia de captación solar (68 %) y una vida útil de 8 a 20 años. Como explica Ruiz Guartatanga y Villacís Vásquez, (2015), la importancia de los materiales en la construcción

de colectores solares los cuales aprovechen la mayor radiación solar disponible en la localidad y evite las pérdidas al mínimo. Toma como modelo inicial los colectores de placa plana cubierto con un material translúcido y dentro de ella se encuentra la tubería donde circula el agua.

El sistema de captación solar propuesto cuenta con una eficiencia del 68 % debido a su modelo y materiales de construcción, considerando los parámetros definidos para el diseño de calentamiento de agua en la ciudad de Loja. Existen distintos trabajos relacionados al calentamiento de agua en el cual muestran una eficiencia que va desde el 51,12 % al 79 % utilizando colectores de tubos de vacío (Rios, 2021). Según (Porrás, 2015), la eficiencia obtenida para los sistemas de calentamiento de agua con colectores solares con tubos de vacío va desde el 56 % hasta el 73 %, demostrando una mayor eficiencia en comparación con los sistemas de colección solar de placa plana. Evidentemente el principal factor dentro de esta investigación es el recurso energético, como se puede observar en los resultados presentados en la **Tabla 15** donde se demuestra que la radiación solar diaria (3896.96 W/m^2) en las coordenadas del sector es suficiente para la obtención de calor y su aprovechamiento. En su investigación, Vega, (2010), contrasta datos de energía solar diario aproximados con un valor de 3914.08 W/m^2 , implementando como sistema principal de calentamiento de agua de la piscina colectores solares de placa plana con acumuladores superiores considerando su alta eficiencia y recurso inagotable como la radiación solar.

Para el análisis de rentabilidad se estimó un período de 15 años de uso del sistema de colectores solares de tubos de vacío con una inversión inicial de USD 20438.17, gastos anuales de USD 2544.32 e ingresos de USD 5680.59 con un crecimiento anual del 5% respectivamente, teniendo en cuenta una tasa de interés del 9.72 % el proyecto es rentable según el VAN equivalente a USD 11650.54 y una TIR del 18 %. En comparación con el estudio realizado por parte de Carvajal Paucar & Mejía Almeida, (2021) en su trabajo de investigación “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^3 del club castillo de Amaguaña” presentan los resultados de su análisis de rentabilidad para un período de 4 años, con una inversión inicial de USD 30924.95 y una tasa de interés compuesto anual del 8% dejando como resultado un VAN de USD 2874.43 y la TIR del 12 % a un proyecto rentable en el período estimado. Aquí, observamos la inversión inicial es elevada acorde a los costes del sistema de tubos de vacío, y; así mismo, el beneficio acumulado a partir del cuarto al noveno período de inversión.

8 Conclusiones

Se concluye que para el mejoramiento de las instalaciones anteriores sería necesario readecuar tanto el sistema de calentamiento e hidráulico de manera que garanticen una óptima circulación del agua hacia los colectores solares y de la misma manera su retorno hacia la piscina. No es necesario la modificación de la estructura del lugar donde se encuentra la piscina, debido a que cuenta con el espacio suficiente para la instalación de los colectores solares.

Se determinó la cantidad de energía solar activa promedio dentro de la zona en que se encuentra la ciudad de Loja, teniendo como dato alentador que el sistema puede abastecerse hasta en un 56,58 % de toda la energía requerida anualmente para mantener la piscina terapéutica superior a los 28 °C, reflejando un ahorro gracias a la captación de energía solar en relación al costo del GLP – industrial de USD 1015,52; siendo información relevante para proyectos del mismo carácter. De la misma manera, se calculó y diseñó un modelo para el calentamiento de agua en piscinas, tomando en cuenta las pérdidas por calor en el vaso de la piscina, energía perdida debido a varios factores como la conducción, evaporación, radiación, renovación; obteniendo como dato más alto a las pérdidas por conducción y evaporación con un 38.12% y 35.03% respectivamente.

El dimensionamiento de distribución de tuberías está conectado en paralelo, se diseñó y calculó considerando los diferentes tramos y diámetros que se debían acoplar a fenómenos como operación crítica, temperatura y de velocidad del sistema. Todos los parámetros mencionados han sido establecidos de manera que la presión a la entrada en cada colector solar sea la requerida por el fabricante (30 PSI) de manera que se garantice el funcionamiento adecuado de las instalaciones. El análisis económico realizado al proyecto arrojó un resultado favorable para realizarlo bajo las condiciones que se plantean, obteniendo un beneficio de USD 1277,81 a partir del noveno período, un VAN de USD 11650,54 y TIR del 18 % considerados para este análisis de rentabilidad en un período de 15 años.

9 Recomendaciones

Nuevos objetivos en proyectos de uso de energía renovable de manera que se pueda aprovechar de mejor manera los recursos disponibles, todos estos proyectos deberían tener planes de gobierno el cual financie la inversión e investigación. Considerando que el proyecto resulta rentable, usa energía limpia y brinda beneficios, debería ser factible socializar estas propuestas con las instituciones y personas naturales. Puede que las instituciones o personas naturales que requieran implementar este tipo de proyectos reciban incentivos, facilidades y apoyo técnico por parte de las autoridades gubernamentales para el uso y desarrollo de proyectos con energía renovable y sostenible en el país. Pensar en el cambio de matriz energética es uno de los pilares en los que se sustentan este tipo de propuestas para mejorar el entorno donde vivimos.

Cuando se trata de colectores solares se recomienda considerar la eficiencia de estos sistemas, período de garantía por fallas de fábrica y el tipo de sistema interno con el que cuentan estos últimos.

Para el cálculo y análisis de la cinemática solar es recomendable el uso de un software que reduzca el tiempo de obtención de resultados, entre ellos podemos encontrar varios: PVGIS, PV SKETCH, HELIOSCOPE. En sí, realizar el procedimiento con modelos ya conocidos como el método de Duffie y Hottel por aproximarnos un poco más al cálculo exacto de la zona de estudio, no es recomendable cuando se trata de ahorrar tiempo. La variación de datos entre un método tradicional y el resultado a través del software es mínima.

Se recomienda hacer uso de una manta térmica para evitar las pérdidas de calor en la piscina, precisamente las pérdidas por evaporación. El uso de esta manta térmica reducirá las fugas de calor hacia el ambiente durante el tiempo que no está siendo usada, puede reducir estas pérdidas para el siguiente día y de esta forma ahorrar un gasto a la factura.

10 Bibliografía

- Amordad, S. (2014). *Ahorro para ti, beneficio para todos CATÁLOGO Amordad Solar*.
www.amordadsolar.com
- Argos. (2020). *Bombas de calor para piscinas*. <https://www.argospiscinas.es/bombas-de-calor-para-piscinas/>
- Arromel. (2022). *Floculante líquido*. <https://arromelpiscinas.com/floculante-liquido-astralpool-1726.html>
- CADENA 100. (2022). *¿Qué cantidad de cloro tengo que echar en la piscina?*
https://www.cadena100.es/el-coach/noticias/que-cantidad-cloro-tengo-que-echar-piscina-20190726_467961
- Calle-Siguencia, J., & Tinoco-Gómez, Ó. (2018). Obtención de ACS con energía solar en el cantón Cuenca y análisis de la contaminación ambiental Obtaining of SHW with solar energy in the canton cuenca and analysis of environmental pollution. *Ingenius*, 19, 89–101.
- Carvajal Paucar, A., & Mejía Almeida, R. (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 m3 del club Castillo de Amaguaña*.
- Cazco, D. A. A. (2020). *Energía Renovable Tema : Sistemas Solares de Calentamiento de Agua*.
- Cengel, Y., & Ghajar, A. (2011). *Transferencia de calor y masa*.
- Compra ecuador. (n.d.). *Ficha calefón*. <https://www.compraecuador.com.ec/shop/product/nebraska-instamatic-calefon-28-litros-a-gas-regulador-calentamiento-1918?category=853>
- CONELEC. (2008). Atlas solar del ecuador. *Conelec*, 1–51.
http://www.conelec.gob.ec/archivos_articulo/Atlas.pdf
- Controlador, A. (n.d.). *Controlador digital para termotanque solar*.
- Criollo, A. V., & Pogo, Á. M. (2011). *Diseño de un sistema dual de calentamiento de agua, por medio de energía solar y GLP y diseño estructural de la cubierta para la piscina de la Hostería “Los Juanes” en el cantón Santa Isabel*. 201.
- Cuídate Plus. (2017). *Hidroterapia*. <https://cuidateplus.marca.com/belleza-y-piel/diccionario/hidroterapia.html#:~:text=La hidroterapia es el uso,Balnearios>.
- Darby, R. (2001). Diseño del sistema de tuberías y cálculo de bombas. *Ingeniería Hidráulica*, 1.0(5), 11.
<http://www.ugr.es/~aulavirtualpfc/qi/descargas/documentos/BOMBAS Y TUBERIAS.pdf>
- del Pozo Barrezueta, H. (2019). *Ley Orgánica de eficiencia energética*.
<https://www.rekursosyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/03/Ley-Eficiencia-Energética.pdf>
- Distritec. (2020). *¿Qué es una electroválvula y para qué sirve?* <https://www.distritec.com.ar/que-es-una->

- electrovalvula-y-para-que-sirve/
- Efiteks. (2013). *Energía solar térmica*. <https://www.efiteks.com/tag/termosifon/>
- El tiempo y temperaturas.es. (n.d.). *El tiempo en Loja (Loja, Ecuador)*. Retrieved April 6, 2021, from <http://tiempoytemperatura.es/ecuador/loja.html#por-horas>
- Emaux super-power series commercial for residential pool & spa. (n.d.). Retrieved March 8, 2022, from https://www.emauxgroup.com/products/pump/superpower-pump.html?__store=es&__from_store=en
- Energética Futura. (2010). *¿Cuánta energía se puede extraer de la radiación solar?* [https://energeticafutura.com/blog/cuanta-energia-se-puede-extraer-de-la-radiacion-solar/#:~:text=La energía radiante del Sol&text=La potencia radiante del sol,denomina Constante Solar \(Gsc\)](https://energeticafutura.com/blog/cuanta-energia-se-puede-extraer-de-la-radiacion-solar/#:~:text=La energía radiante del Sol&text=La potencia radiante del sol,denomina Constante Solar (Gsc)).
- Energía. (n.d.). *Energía Solar Fotovoltaica*. Retrieved May 26, 2020, from <https://energiasolarfotovoltaica.org/blog>
- Esan Business. (2017). *Fundamentos Financieros*. <https://www.esan.edu.pe/conexion-esan/fundamentos-financieros-el-valor-actual-neto-van#:~:text=VAN %3D 0 el proyecto es,0 el proyecto es rentable>.
- Escudero, L. (2012). *Control Y Optimización*.
- European Comision. (n.d.). *Sistema de información geográfica fotovoltaica*. https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/
- Expansión. (2020). *Energía y Medio ambiente - Emisiones*. <https://datosmacro.expansion.com/energia-y-medio-ambiente/emisiones-co2/ecuador>
- FAO. (n.d.). *Materiales termoaislantes*. Retrieved April 20, 2021, from <http://www.fao.org/3/y5013s/y5013s07.htm>
- Frank P. Incropera, & David P. DeWitt. (1999). *Fundamentos de transferencia de calor*. (Pablo Eduardo Roig Vásquez (Ed.)). https://www.academia.edu/37028342/Fundamentos_de_transferencia_de_calor_Frank_Incropera
- Gerfri. (2016). *¿Qué sistema es mejor para calentar el agua de una piscina?*
- Goñi, I., & Pascual, M. (2013). *Climatización de una piscina cubierta en pamplona*.
- Google Maps. (2021). *No*. <https://www.google.com.ec/maps/@-0.1615789,-78.4845747,19z?hl=es>
- Highpool. (2021). *Medallion - Highpool Piscinas ConSentidos - Highpool Piscinas Consentidos*. <https://www.highpool.com.mx/index.php?q=medallion>
- Hogarsense. (2020). *Termo eléctrico: tipos, sistemas y funcionamiento*. <https://www.hogarsense.es/agua-caliente/termo-electrico>
- Holman, J. P. (1999). *Transferencia de Calor* (8va ed.). https://www.academia.edu/39997616/Transferencia_de_Calor_8va_Edicion_J_P_Holman
- HYUNDAI. (2020). *No Title*.

- https://www.hyundaiherramientas.ec/productos/productos_masinfo.php?secc=productos&id=2337&path=0.2147.2485
- IDIEM. (2021). *Conductividad técnica de materiales*.
https://timomarquez.files.wordpress.com/2013/03/2013-04-01_conductividadtermica.pdf
- Javier, F., & Reguera, R. (2007). *COMPORAMIENTO ENERGÉTICO DE TERMOS ELÉCTRICOS*.
- Jose, A. (2011). Mecánica de fluidos. Impulsión de fluidos. *Mecánica De Fluidos*, 64.
https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/20299/4/tema2_impulsion.pdf
- Jumbo, E. P. (2014). Universidad Nacional De Loja Autor. *Universidad Nacional De Loja*, 62.
http://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/17025/1/TESIS_WILSON_FERNANDO.pdf
- Keenso. (2021). *Válvula de agua*. <https://www.amazon.com/-/es/Válvula-normalmente-cerrado-Electroválvula-Eléctrica/dp/B07VFJ468P>
- Kitton. (2021). *Calefones y calentadores de agua archivos - Kitton Home Center*.
<https://www.kittonhomecenter.com/product-category/construccion-y-acabados/griferia/calefones-y-calentadores-de-agua/>
- Luján Ojeda, A. (2017). *Indices de rentabilidad*. <https://es.slideshare.net/anderssonlujanojeda/indices-de-rentabilidad-van-tir-bc>
- Manual TK-8*. (n.d.).
- Martínez, P. (2010). *Energía Solar Térmica: Técnicas para su Aprovechamiento*.
<https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=fllc3xuVIUYC&oi=fnd&pg=PA1&dq=captacion+de+energia+solar+&ots=arzk5cwIwK&sig=50KMkQeyVT4TcU7zHkxd-RfyQF0#v=onepage&q=captacion+de+energia+solar&f=false>
- Mataix, C. (1986). *Ingenieria - Claudio Mataix - Mecanica De Fluidos Y Maquinas Hidraulicas.Pdf* (pp. 423–435).
- Material mundial. (n.d.). *SUS304 Acero Inoxidable Especificaciones, Equivalencias, Ficha Tecnica, Propiedades - Material Mundial Grados*. Retrieved April 20, 2021, from <https://www.materialmundial.com/sus304-acero-inoxidable/>
- Meteored. (2020). *Tiempo en Loja. Clima a 14 días - Meteored*. https://www.meteored.com.ec/tiempo-en_Loja-America+Sur-Ecuador-Loja--1-20219.html
- MIDUVI. (2020). *Sistemas solares térmicos para agua caliente sanitaria (ACS) - aplicaciones menores a 100 °C*.
- Ministerio de Energía y Minas. (2022). *Tarifas de energía eléctrica 2022 Ecuador*.
[https://www.recursosyenergia.gob.ec/las-tarifas-de-energia-electrica-no-se-incrementaran-en-el-2022/#:~:text=El Directorio de la Agencia,\(¢USD%2FkWh\)](https://www.recursosyenergia.gob.ec/las-tarifas-de-energia-electrica-no-se-incrementaran-en-el-2022/#:~:text=El Directorio de la Agencia,(¢USD%2FkWh))
- Naya, J. M. (2013). *Reistencias eléctricas para piscinas*. <https://www.juliomartineznaya.com/como->

calentar-el-agua-de-una-piscina/

- OLADE. (2017). *Manual de estadística energética*. <https://biblioteca.olade.org/opac-tmpl/Documentos/old0380.pdf>
- Padilla, A. (2014). *No Title*. <https://es.slideshare.net/alexpadilla528/calculo-de-la-cinematica-solar>
- Pereda, J. (2018). *Estudio de emisividad infrarroja de aceros para aplicación de reactores de fusión*.
- Pérez López, E. (2016). *Control de calidad en aguas para consumo humano en la región occidental en Costa Rica*. 29. https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0379-39822016000300003#:~:text=La medida del pH debe,para ser un valor recomendable.
- Pérez Nuevo, J. L., & Sanz González, R. (2012). « *Piscina Inteligente . Automatización Y Control De Instalaciones Deportivas* ».
- Petroecuador. (2017). *Precios de venta a nivel de terminal para las comercializadoras calificadas y autorizadas a nivel nacional*. <https://www.eppetroecuador.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/10/ESTRUCTURA-DE-PRECIOS-OCTUBRE-2017.pdf>
- Placco, C., Saravia, L., & Cadena, C. (2020). *COLECTORES SOLARES PARA AGUA CALIENTE*.
- Precios, T. D. E. C. Y. (n.d.). *1.5 Tabla De Cantidades Y Precios*. 2(1), 88–90.
- PROlimpio. (2022). *Regulador pH*. <https://www.prolimpio.com.uy/producto/regulador-ph-aumentar-ph-agua-de-piscinas/#:~:text=Aplique 750 gramos De pH,1 punto de pH aproximadamente.>
- PrototipadoLAB. (2018). *Sensores: tipos y diferencias*. <http://paolaguimerans.com/openeart/2018/05/05/que-son-los-sensores/>
- Química universal. (2022). *Cloro en tabletas*. <https://quimicauniversal.cl/www/productos/cloro-en-tabletas/>
- Química Universal. (n.d.). *Cloro Granulado*. <https://quimicauniversal.cl/www/productos/cloro-granulado/>
- Reformaster. (2021). *Sistemas de calefacción solar*. https://www.reformaster.es/blog/que-son-los-sistemas-de-calefaccion-solar-tipos-y-caracteristicas/#posibilidades_de_las_tecnologias_modernas
- Rio Solar Smart Energy. (2021). *Proforma sistema de colección solar*.
- Ruiz Guartatanga, D., & Villacís Vásquez, J. (2015). *Diseño, construcción, emplazamiento y monitoreo de un sistema solar para calentamiento de agua para piscina*.
- Schallenberg, J. C., Gonzalo, R., Izquierdo, P., Hernández Rodríguez, C., Unamunzaga, P., Ramón, F., Déniz, G., Díaz, M., Delia, T., Pérez, C., Martel Rodríguez, G., Pardilla, J., Vicente, F., & Ortin, S. (2008). *Energías renovables y eficiencia energética*.
- Schneider Electric. (2015). *Protección de motores*. <https://docplayer.es/12663644-Proteccion-de-motores.html>
- Segundo, Á., Fernando, A., Jorge, G., Jorge, L., Christian, P., & Pedro, R. (2020). *Diseño y construcción de un calentador de agua aprovechando el uso de energía solar y elementos de reciclaje . Design*

and construction of a water heater taking advantage of the use of solar energy and recycling elements .

Siemens. (2020). *Lista de precios*. <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:4fc6aece-4320-44c6-a777-2c418a8a7f24/version:1579213679/pe-di-lista-de-precios-final-2020-moviles-1601.pdf>

Siemens. (2022). *Control y contactores*.

<https://www.electricalautomationnetwork.com/es/siemens/3ru2126-4dj0-3ru21264dj0-siemens-rele-sobrecarga-2025-a-para-proteccion-de-motores-tam-s0-clase-10-ins>

Siigo. (2019). *Indicadores de rentabilidad. Mide la rentabilidad de tu negocio*.

<https://www.siigo.com/blog/indicadores-de-rentabilidad/>

Sun Power. (n.d.). *Ventajas y desventajas del colector solar de tubo de vacío*. <https://es.sunpower-solar.com/Ventajas-y-desventajas-del-colector-solar-de-tubo-de-vacio-y-el-colector-solar-de-placa-plana-id8346663.html>

Tuberías de PVC y polietileno PAD. (n.d.). Retrieved May 17, 2021, from

http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/mgc/osorio_e_fj/capitulo3.pdf

Tutiempo.net. (n.d.). *Estación Loja - Datos registrados en esta estación meteorológica*. Retrieved April 6, 2021, from <https://www.tutiempo.net/Estaciones/Loja/>

VAM INDUSTRY. (2016). *Tuberías, válvulas y accesorios*. 50.

https://ddd.uab.cat/pub/tfg/2016/148700/TFG_VamIndustry_v04.pdf

Varillas, A. E. N. (2012). *MATERIALES DE CONSTRUCCION : Precios Referenciales Enero / 2012*. 283.

Vega, J. (2010). *Universidad nacional de loja*.

VOGT. (n.d.). *Bombas centrífugas normalizadas*. <https://www.vogt.cl/>

Weather Atlas. (2021). *Loja, Ecuador - Información detallada del clima y previsión meteorológica mensual | Weather Atlas*. <https://www.weather-atlas.com/es/ecuador/loja-clima>

Wikipedia. (2020). *Barril equivalente de petróleo*.

[https://es.wikipedia.org/wiki/Barril_equivalente_de_petr%C3%B3leo#:~:text=El barril equivalente de petróleo,9873 litros\) de petróleo crudo](https://es.wikipedia.org/wiki/Barril_equivalente_de_petr%C3%B3leo#:~:text=El%20barril%20equivalente%20de%20petr%C3%B3leo,9873%20litros%20de%20petr%C3%B3leo%20crudo.).

Zabala, R. (2015). *Transporte de fluidos “Tubería.”* <https://es.slideshare.net/RobnelvicZabala/transporte-de-fluidos-tuberia>

Zambrano, C. (n.d.). *2018 Catálogo de Calentadores Solares Sistema Termosifón. “Rio Solar Smart Energy.”*

11 Anexos

Anexo 1. Oficio de aprobación del proyecto de tesis y designación del tutor de tesis.



Universidad
Nacional
de Loja

Facultad
de la Energía, las Industrias y los
Recursos Naturales No Renovables

Of. No. 277 DCIEM-FEIRNNR-UNL
Loja, 31 de mayo de 2022

Sr. Ing.
Cristian Vinicio Ortega Reyes, Mg. Sc.
DOCENTE DE LA CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA
Por correo electrónico. -

De mi consideración:

Cúmpleme comunicar a usted, que de conformidad a lo preceptuado en el art. **136 REGLAMENTO DE REGIMEN ACADÉMICO DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA**, y en virtud del informe favorable sobre la **estructura, pertinencia y coherencia del proyecto** emitido por el docente designado para el efecto; esta Dirección, **aprueba** el proyecto de tesis denominado: **“DISEÑO DE UN SISTEMA HÍBRIDO DE CALENTAMIENTO DE AGUA PARA LA PISCINA TERAPÉUTICA DEL MIES - LOJA”**, presentado por el Sr. Christian Fernando Puma Pilamunga, previo a optar el título de INGENIERO ELECTROMECAÁNICO, en la Carrera de Ingeniería Electromecánica, designando a la vez en calidad de Director al Ing. Cristian Vinicio Ortega Reyes.

Particular que comunico a usted, para los fines legales subsiguientes.

Atentamente,



Ing. Darwin Giovanni Tapia Peralta, Mg. Sc.
DIRECTOR CIEM DE LA FEIRNNR DE LA UNL

DGTP/Vanessa
Adjunto: Proyecto de Tesis
c.c. Postulante
Archivo

Anexo 2. Encuesta realizada al personal encargado del mantenimiento de las instalaciones del MIES - Loja.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

“FACULTAD DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y LOS RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES”

La siguiente encuesta es únicamente con fines educativos, se lleva a cabo para la obtención de información relevante para el proceso de justificación de resultados en la tesis de grado del Sr. Christian Fernando Puma Pilamunga, estudiante de la Universidad Nacional de Loja, carrera de Ingeniería en Electromecánica, cuyo tema es: “DISEÑO DE UN SISTEMA HÍBRIDO DE CALENTAMIENTO DE AGUA PARA LA PISCINA TERAPÉUTICA DEL MIES – LOJA”.

1. ¿Cuántos días por semana se requiere el uso de la piscina de rehabilitación?
Se requiere el uso de 2 días por semana. El número de usuarios es de 16 personas, divididas en 2 grupos, el primer grupo la usa un miércoles y el otro el jueves.
2. Por favor, de una breve descripción del sistema actual de calentamiento de agua con el que cuenta la piscina.
El agua de la piscina es calentada mediante calefones a gas, la bomba principal bombea el agua de la piscina hasta los calefones, pero el sistema es obsoleto. La misma bomba se encarga de la recirculación del fluido cada determinado tiempo.
3. ¿Es eficiente el sistema actual de calentamiento de agua con el que cuenta el centro?
El sistema actual no satisface la demanda requerida.
4. ¿Cuál es la temperatura promedio que se requiere para el uso de las actividades de rehabilitación?
Se requiere de una temperatura dentro de un rango de 28°C - 30°C para las actividades de terapéuticas, rehabilitación y recreación.
5. ¿Cuánto es el promedio de gasto de consumo de combustible mensual que se tiene con el sistema de calentamiento de agua actual?
El gasto mensual es de 5 cilindros de GLP - industrial.


CHRISTIAN F. PUMA P.
C.I.: 1900764141
ENCUESTADOR


C.I.: 1102961791
RESPONSABLE MIES.

Fuente: (El autor).

Anexo 3. Determinación promedio de temperatura de ambiente y agua de red.

Muestra 1 – AMBIENTE.

Hora: 11H00



Hora: 12H00



Hora: 13H00



Hora: 14H00



Hora: 15H00



Muestra 1 – AGUA DE RED.

Hora: 11H00



Hora: 12H00



Hora: 13H00



Hora: 14H00



Hora: 15H00



Muestra 2 – AMBIENTE.

Hora: 11H00



Hora: 12H00



Hora: 13H00



Hora: 14H00



Hora: 15H00



Muestra 2 – AGUA DE RED.

Hora: 11H00



Hora: 12H00



Hora: 13H00



Hora: 14H00



Hora: 15H00



Muestra 1	Ambiente	Agua.de.red	Muestra 2	Ambiente	Agua.de.red
T1(11 horas)	25° C	23° C	T1(11 horas)	21° C	20° C
T2(12 horas)	23° C	22° C	T2(12 horas)	21° C	19° C
T3(13 horas)	22° C	22° C	T3(13 horas)	21° C	19° C
T4(14 horas)	25° C	23° C	T4(14 horas)	21° C	20° C
T5(15 horas)	23° C	22° C	T5(15 horas)	20° C	20° C
PROMEDIO	23.6° C	22.4° C	PROMEDIO	20.8° C	19.6° C

Temperatura de agua de red tomada de artículo realizado por estudiantes de la Universidad Nacional de Loja, titulado "Diseño y construcción de un calentador de agua aprovechando el uso de energía solar y elementos de reciclaje". Aquí, se muestra una temperatura del agua de la red de 19.5 °C

Temperatura prom. agua de red.

$$\frac{[22.4 + 19.6 + 19.5]}{3} = [20.5]$$

Temperatura promedio ambiente del recinto donde se encuentra la piscina.

$$\frac{[23.6 + 20.8 + 18.6]}{3} = [21]$$

Temperatura: 19.5°C agua de red. Dato adicional obtenido de: (Segundo et al., 2020)

Fuente: (El autor).

Anexo 4. Factores de conversión de unidades de volumen.

1 barril americano	5.614583	Pies cúbicos
	42.0	Galones americanos
	158.98	Litros
	0.15898	Metros cúbicos
1 metro cúbico	1000	Litros
	35.3147	Pies cúbicos
	6.2898	Barriles americanos
	264.172	Galones americanos
1 litro	1	Decímetro cúbico

Fuente: (OLADE, 2017)

Anexo 5. Equivalencia en BEP de algunas unidades utilizadas en OLADE.

1 bbl	de petróleo	=	1.0015	bep
1 bbl	de gasolina	=	0.8934	bep
1 bbl	de diesel	=	1.0015	bep
1 bbl	de combustibles pesados	=	1.0304	bep
1 bbl	de GLP	=	0.6701	bep
1 bbl	de kerosene	=	0.9583	bep
10 ³ m ³	de gas natural	=	5.9806	bep
10 ³ kWh	de hidro/geo electricidad	=	0.6196	bep
1 ton	de leña	=	2.5940	bep
1 ton	de carbón vegetal	=	4.9718	bep
1 ton	de carbón mineral	=	5.0439	bep
1 ton	de coque de carbón	=	4.8998	bep
1 ton	de uranio	=	71.2777	bep
1 ton	de etanol	=	0.5980	bep
1 ton	de biodiesel	=	0.9508	bep
1 ton	de bagazo	=	1.3114	bep

Fuente: (OLADE, 2017)

Anexo 6. Densidades de referencia.

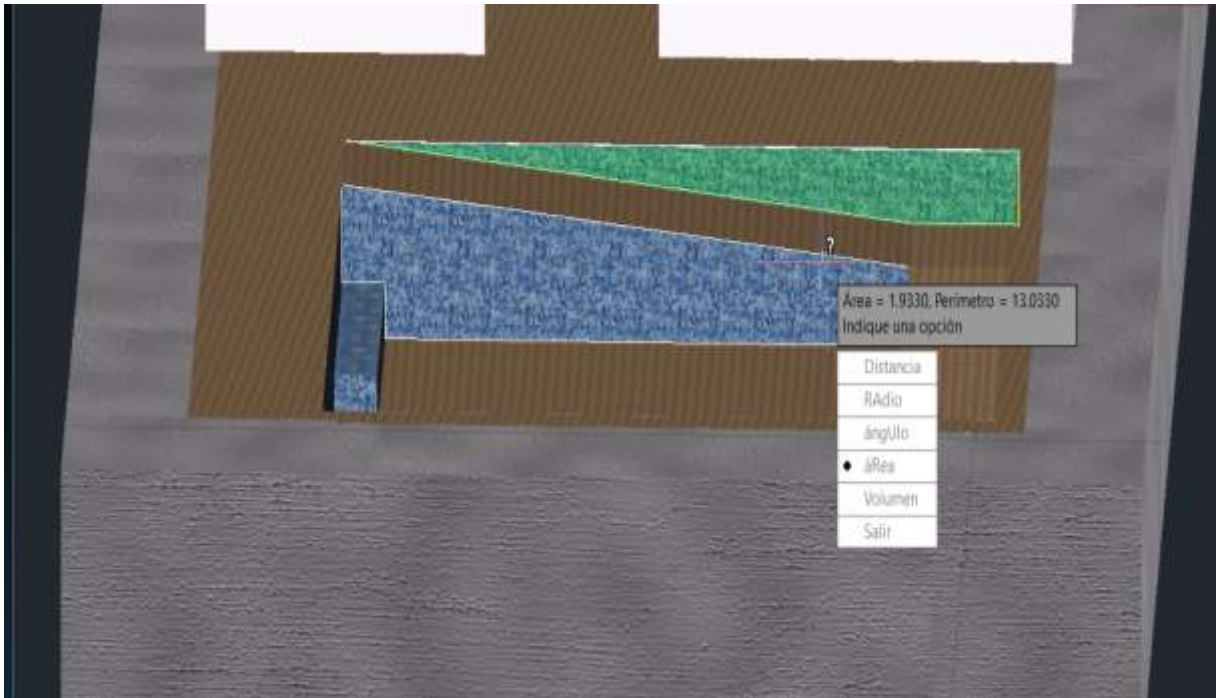
Gas licuado	0.55
Gasolina	0.75
Kerosene	0.82
Diesel Oil	0.88
Fuel Oil	0.94

Fuente: (OLADE, 2017)

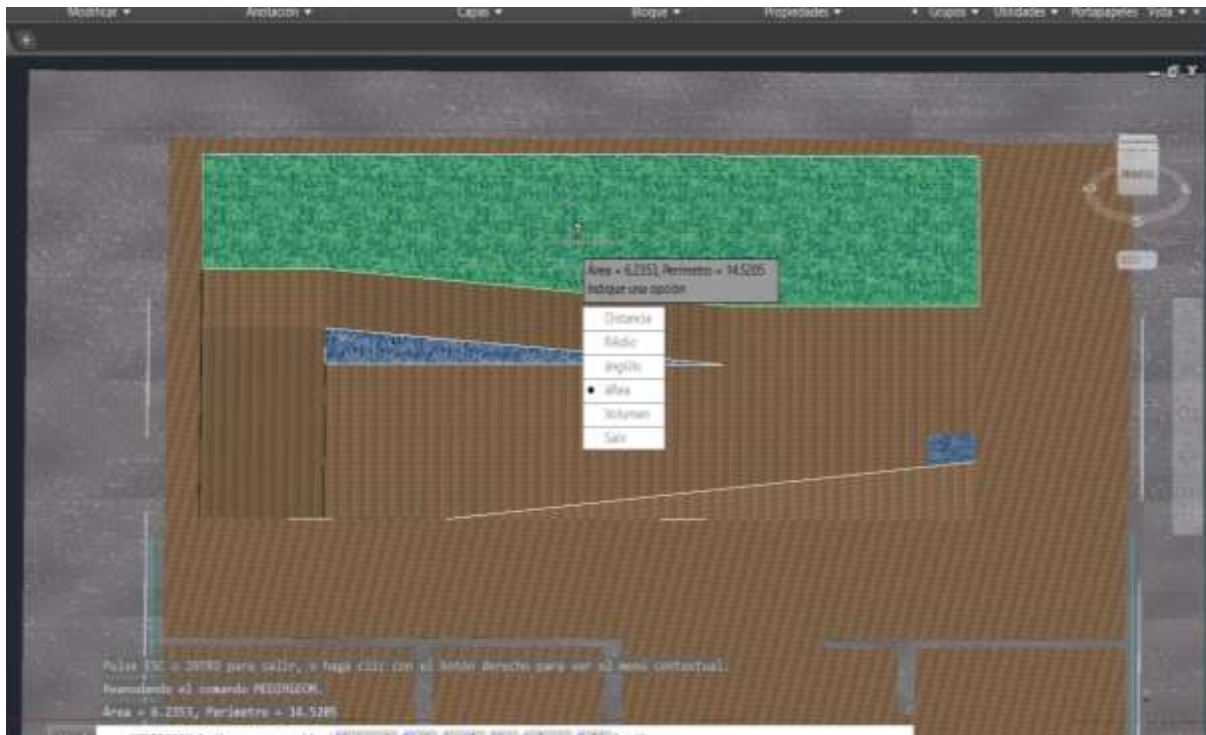
Anexo 7. Áreas en contacto con el agua representado en el software AutoCAD.

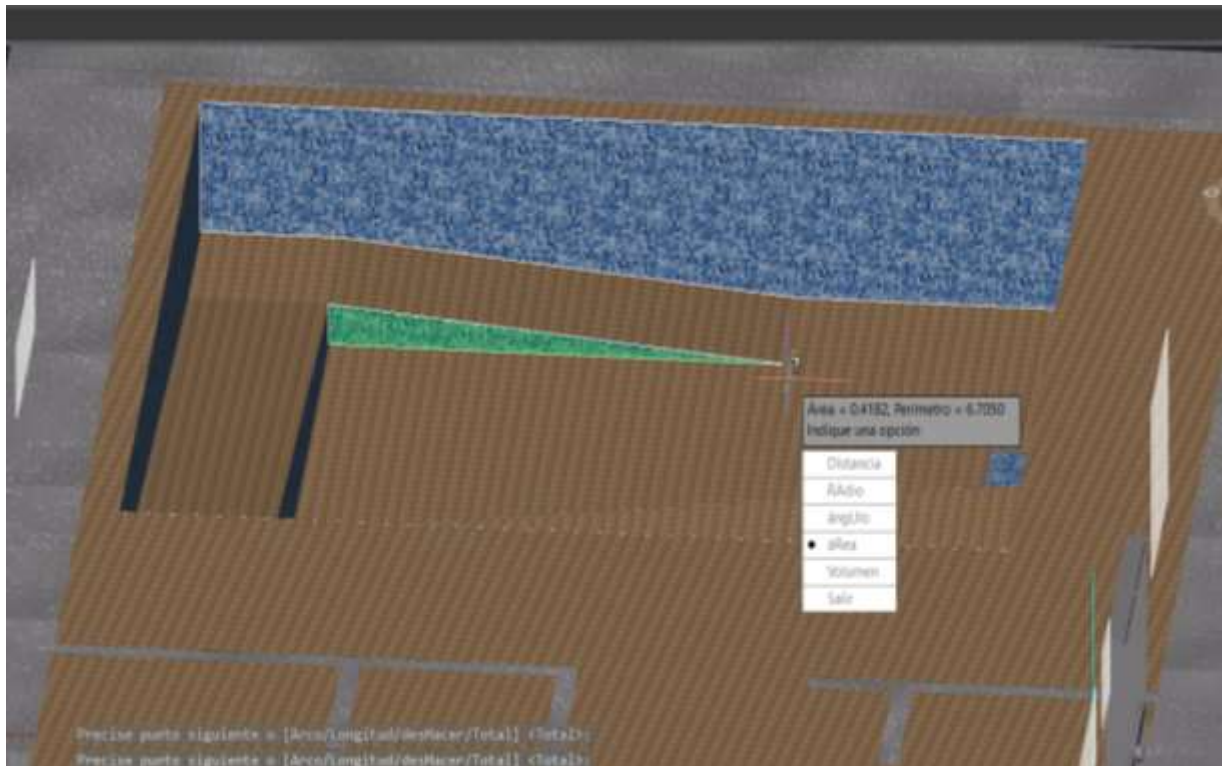
Área sur.



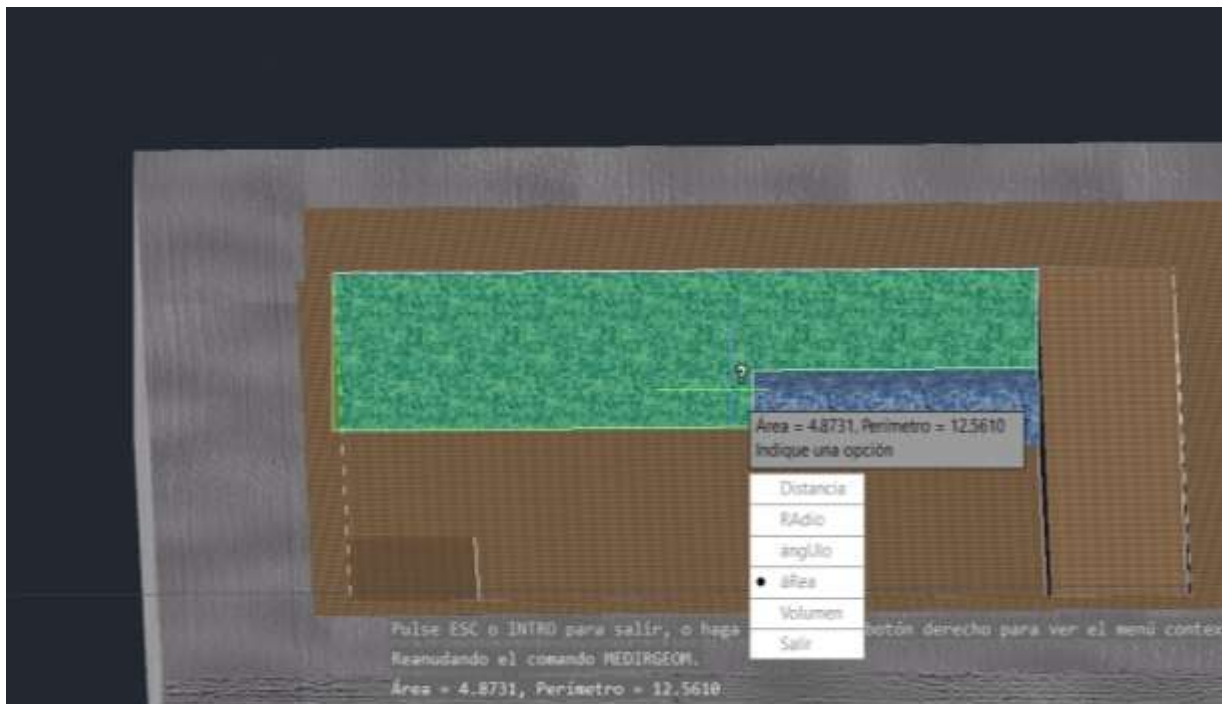


Área norte.

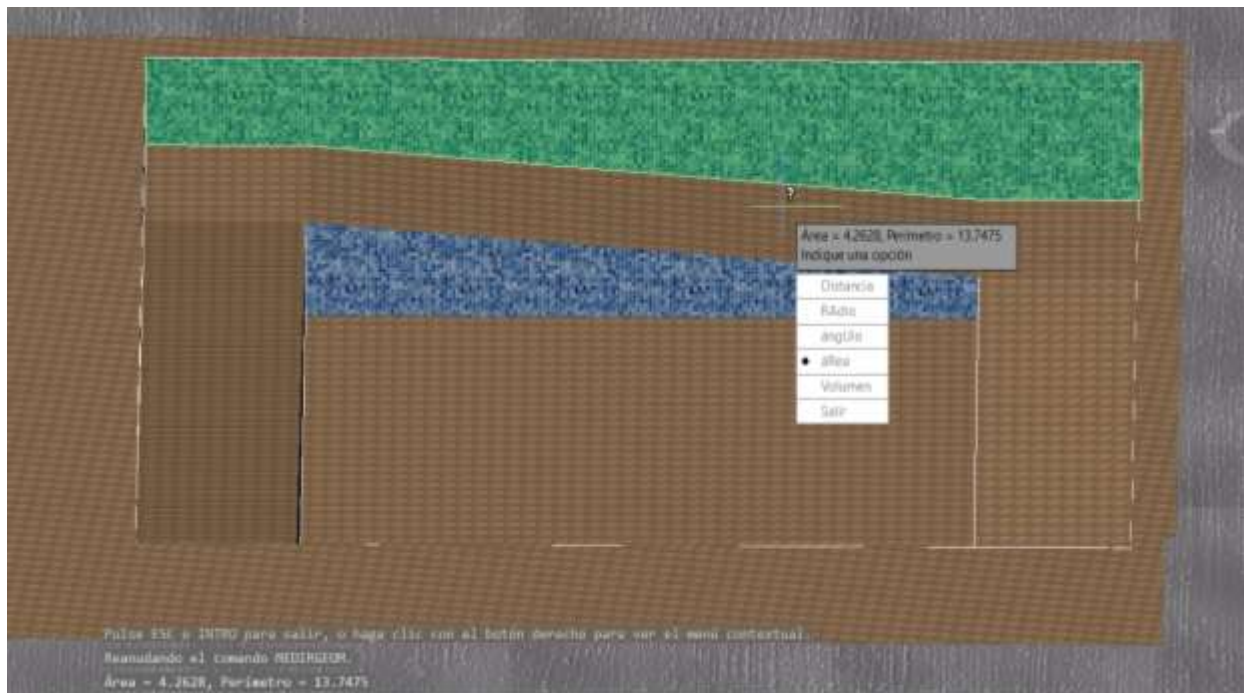
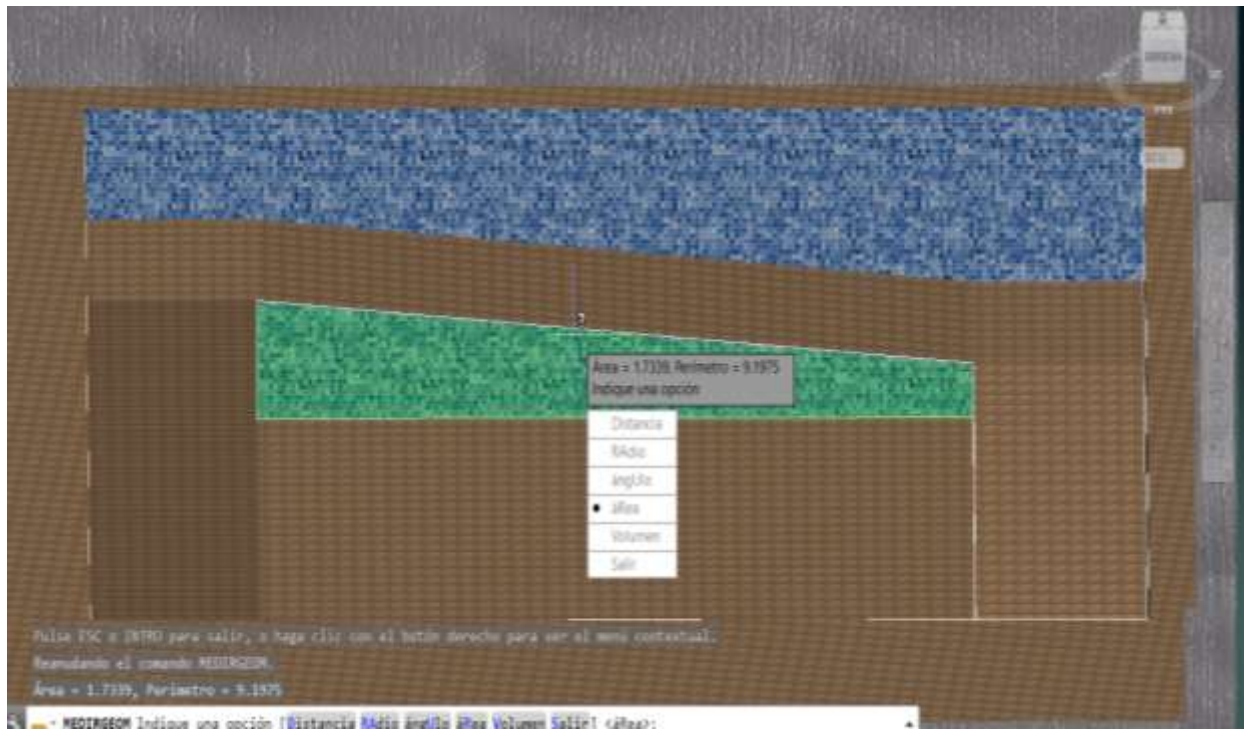




Área este.



Área oeste.



Fuente: (El autor).

Anexo 8. Propiedades de la presión del aire a 1 atm.

TABLA A-15

Propiedades del aire a la presión de 1 atm

Temp., $T, ^\circ\text{C}$	Densidad, $\rho, \text{kg/m}^3$	Calor específico, $c_p, \text{J/kg} \cdot \text{K}$	Conductividad térmica, $k, \text{W/m} \cdot \text{K}$	Difusividad térmica, $\alpha, \text{m}^2/\text{s}^2$	Viscosidad dinámica, $\mu, \text{kg/m} \cdot \text{s}$	Viscosidad cinemática, $\nu, \text{m}^2/\text{s}$	Número de Prandtl, Pr
-150	2.866	983	0.01171	4.158×10^{-6}	8.636×10^{-6}	3.013×10^{-6}	0.7246
-100	2.038	966	0.01582	8.036×10^{-6}	1.189×10^{-6}	5.837×10^{-6}	0.7263
-50	1.582	999	0.01979	1.252×10^{-5}	1.474×10^{-5}	9.319×10^{-6}	0.7440
-40	1.514	1 002	0.02057	1.356×10^{-5}	1.527×10^{-5}	1.008×10^{-5}	0.7436
-30	1.451	1 004	0.02134	1.465×10^{-5}	1.579×10^{-5}	1.087×10^{-5}	0.7425
-20	1.394	1 005	0.02211	1.578×10^{-5}	1.630×10^{-5}	1.169×10^{-5}	0.7408
-10	1.341	1 006	0.02288	1.696×10^{-5}	1.680×10^{-5}	1.252×10^{-5}	0.7387
0	1.292	1 006	0.02364	1.818×10^{-5}	1.729×10^{-5}	1.338×10^{-5}	0.7362
5	1.269	1 006	0.02401	1.880×10^{-5}	1.754×10^{-5}	1.382×10^{-5}	0.7350
10	1.246	1 006	0.02439	1.944×10^{-5}	1.778×10^{-5}	1.426×10^{-5}	0.7336
15	1.225	1 007	0.02476	2.009×10^{-5}	1.802×10^{-5}	1.470×10^{-5}	0.7323
20	1.204	1 007	0.02514	2.074×10^{-5}	1.825×10^{-5}	1.516×10^{-5}	0.7309
25	1.184	1 007	0.02551	2.141×10^{-5}	1.849×10^{-5}	1.562×10^{-5}	0.7296
30	1.164	1 007	0.02588	2.208×10^{-5}	1.872×10^{-5}	1.608×10^{-5}	0.7282
35	1.145	1 007	0.02625	2.277×10^{-5}	1.895×10^{-5}	1.655×10^{-5}	0.7268
40	1.127	1 007	0.02662	2.346×10^{-5}	1.918×10^{-5}	1.702×10^{-5}	0.7255
45	1.109	1 007	0.02699	2.416×10^{-5}	1.941×10^{-5}	1.750×10^{-5}	0.7241
50	1.092	1 007	0.02735	2.487×10^{-5}	1.963×10^{-5}	1.798×10^{-5}	0.7228
60	1.059	1 007	0.02808	2.632×10^{-5}	2.008×10^{-5}	1.896×10^{-5}	0.7202
70	1.028	1 007	0.02881	2.780×10^{-5}	2.052×10^{-5}	1.995×10^{-5}	0.7177
80	0.9994	1 008	0.02953	2.931×10^{-5}	2.096×10^{-5}	2.097×10^{-5}	0.7154
90	0.9718	1 008	0.03024	3.086×10^{-5}	2.139×10^{-5}	2.201×10^{-5}	0.7132
100	0.9458	1 009	0.03095	3.243×10^{-5}	2.181×10^{-5}	2.306×10^{-5}	0.7111
120	0.8977	1 011	0.03235	3.565×10^{-5}	2.264×10^{-5}	2.522×10^{-5}	0.7073
140	0.8542	1 013	0.03374	3.898×10^{-5}	2.345×10^{-5}	2.745×10^{-5}	0.7041
160	0.8148	1 016	0.03511	4.241×10^{-5}	2.420×10^{-5}	2.975×10^{-5}	0.7014
180	0.7788	1 019	0.03646	4.593×10^{-5}	2.504×10^{-5}	3.212×10^{-5}	0.6992
200	0.7459	1 023	0.03779	4.954×10^{-5}	2.577×10^{-5}	3.455×10^{-5}	0.6974
250	0.6746	1 033	0.04104	5.890×10^{-5}	2.760×10^{-5}	4.091×10^{-5}	0.6946
300	0.6158	1 044	0.04418	6.871×10^{-5}	2.934×10^{-5}	4.765×10^{-5}	0.6935
350	0.5664	1 056	0.04721	7.892×10^{-5}	3.101×10^{-5}	5.475×10^{-5}	0.6937
400	0.5243	1 069	0.05015	8.951×10^{-5}	3.261×10^{-5}	6.219×10^{-5}	0.6948
450	0.4880	1 081	0.05298	1.004×10^{-4}	3.415×10^{-5}	6.997×10^{-5}	0.6965
500	0.4565	1 093	0.05572	1.117×10^{-4}	3.563×10^{-5}	7.806×10^{-5}	0.6986
600	0.4042	1 115	0.06093	1.352×10^{-4}	3.846×10^{-5}	9.515×10^{-5}	0.7037
700	0.3627	1 135	0.06581	1.598×10^{-4}	4.111×10^{-5}	1.133×10^{-4}	0.7092
800	0.3289	1 153	0.07037	1.855×10^{-4}	4.362×10^{-5}	1.326×10^{-4}	0.7149
900	0.3008	1 169	0.07465	2.122×10^{-4}	4.600×10^{-5}	1.529×10^{-4}	0.7206
1 000	0.2772	1 184	0.07868	2.398×10^{-4}	4.826×10^{-5}	1.741×10^{-4}	0.7260
1 500	0.1990	1 234	0.09599	3.908×10^{-4}	5.817×10^{-5}	2.922×10^{-4}	0.7478
2 000	0.1553	1 264	0.11113	5.664×10^{-4}	6.630×10^{-5}	4.270×10^{-4}	0.7539

Nota: Para los gases ideales, las propiedades c_p , k , μ y Pr son independientes de la presión. Las propiedades ρ , ν y α a una presión P (en atm) diferente de 1 atm se determinan al multiplicar los valores de ρ , a la temperatura dada, por P y al dividir ν y α entre P .

Fuente: Datos generados basándose en el software EES desarrollado por S. A. Klein y F. L. Alvarado. Fuentes originales: Keenan, Chao, Keyes, Gas Tables, Wiley, 1984, y Thermophysical Properties of Matter, Vol. 3: Thermal Conductivity, Y. S. Touloukian, P. E. Liley, S. C. Saxena, Vol. 11: Viscosity, Y. S. Touloukian, S. C. Saxena y P. Hestermans, IFI/Plenum, NY, 1970, ISBN 0-306067020-8.

Fuente: (Cengel & Ghajar, 2011)

Anexo 9. Propiedades del agua saturada.

TABLA A-9

Propiedades del agua saturada

Temp., T °C	Presión de saturación, P _{sat} , kPa	Densidad, ρ kg/m ³		Entalpía de vaporización, h _{fg} , kJ/kg	Calor específico, c _p , J/kg · K		Conductividad térmica, k W/m · K		Viscosidad dinámica, μ kg/m · s		Número de Prandtl, Pr		Coeficiente de expansión volumétrica, β 1/K
		Líquido	Vapor		Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	
0.01	0.6113	999.8	0.0048	2 501	4 217	1 854	0.561	0.0171	1.792 × 10 ⁻³	0.922 × 10 ⁻⁵	13.5	1.00	-0.068 × 10 ⁻³
5	0.8721	999.9	0.0068	2 490	4 205	1 857	0.571	0.0173	1.519 × 10 ⁻³	0.934 × 10 ⁻⁵	11.2	1.00	0.015 × 10 ⁻³
10	1.2276	999.7	0.0094	2 478	4 194	1 862	0.580	0.0176	1.307 × 10 ⁻³	0.946 × 10 ⁻⁵	9.45	1.00	0.733 × 10 ⁻³
15	1.7051	999.1	0.0128	2 466	4 185	1 863	0.589	0.0179	1.138 × 10 ⁻³	0.959 × 10 ⁻⁵	8.09	1.00	0.138 × 10 ⁻³
20	2.339	998.0	0.0173	2 454	4 182	1 867	0.598	0.0182	1.002 × 10 ⁻³	0.973 × 10 ⁻⁵	7.01	1.00	0.195 × 10 ⁻³
25	3.169	997.0	0.0231	2 442	4 180	1 870	0.607	0.0186	0.891 × 10 ⁻³	0.987 × 10 ⁻⁵	6.14	1.00	0.247 × 10 ⁻³
30	4.246	996.0	0.0304	2 431	4 178	1 875	0.615	0.0189	0.798 × 10 ⁻³	1.001 × 10 ⁻⁵	5.42	1.00	0.294 × 10 ⁻³
35	5.628	994.0	0.0397	2 419	4 178	1 880	0.623	0.0192	0.720 × 10 ⁻³	1.016 × 10 ⁻⁵	4.83	1.00	0.337 × 10 ⁻³
40	7.384	992.1	0.0512	2 407	4 179	1 885	0.631	0.0196	0.653 × 10 ⁻³	1.031 × 10 ⁻⁵	4.32	1.00	0.377 × 10 ⁻³
45	9.593	990.1	0.0655	2 395	4 180	1 892	0.637	0.0200	0.596 × 10 ⁻³	1.046 × 10 ⁻⁵	3.91	1.00	0.415 × 10 ⁻³
50	12.35	988.1	0.0831	2 383	4 181	1 900	0.644	0.0204	0.547 × 10 ⁻³	1.062 × 10 ⁻⁵	3.55	1.00	0.451 × 10 ⁻³
55	15.76	985.2	0.1045	2 371	4 183	1 908	0.649	0.0208	0.504 × 10 ⁻³	1.077 × 10 ⁻⁵	3.25	1.00	0.484 × 10 ⁻³
60	19.94	983.3	0.1304	2 359	4 185	1 916	0.654	0.0212	0.467 × 10 ⁻³	1.093 × 10 ⁻⁵	2.99	1.00	0.517 × 10 ⁻³
65	25.03	980.4	0.1614	2 346	4 187	1 926	0.659	0.0216	0.433 × 10 ⁻³	1.110 × 10 ⁻⁵	2.75	1.00	0.548 × 10 ⁻³
70	31.19	977.5	0.1983	2 334	4 190	1 936	0.663	0.0221	0.404 × 10 ⁻³	1.126 × 10 ⁻⁵	2.55	1.00	0.578 × 10 ⁻³
75	38.58	974.7	0.2421	2 321	4 193	1 948	0.667	0.0225	0.378 × 10 ⁻³	1.142 × 10 ⁻⁵	2.38	1.00	0.607 × 10 ⁻³
80	47.39	971.8	0.2935	2 309	4 197	1 962	0.670	0.0230	0.355 × 10 ⁻³	1.159 × 10 ⁻⁵	2.22	1.00	0.653 × 10 ⁻³
85	57.83	968.1	0.3536	2 296	4 201	1 977	0.673	0.0235	0.333 × 10 ⁻³	1.176 × 10 ⁻⁵	2.08	1.00	0.670 × 10 ⁻³
90	70.14	965.3	0.4235	2 283	4 206	1 993	0.675	0.0240	0.315 × 10 ⁻³	1.193 × 10 ⁻⁵	1.96	1.00	0.702 × 10 ⁻³
95	84.55	961.5	0.5045	2 270	4 212	2 010	0.677	0.0246	0.297 × 10 ⁻³	1.210 × 10 ⁻⁵	1.85	1.00	0.716 × 10 ⁻³
100	101.33	957.9	0.5978	2 257	4 217	2 029	0.679	0.0251	0.282 × 10 ⁻³	1.227 × 10 ⁻⁵	1.75	1.00	0.750 × 10 ⁻³
110	143.27	950.6	0.8263	2 230	4 229	2 071	0.682	0.0262	0.255 × 10 ⁻³	1.261 × 10 ⁻⁵	1.58	1.00	0.798 × 10 ⁻³
120	198.53	943.4	1.121	2 203	4 244	2 120	0.683	0.0275	0.232 × 10 ⁻³	1.296 × 10 ⁻⁵	1.44	1.00	0.858 × 10 ⁻³
130	270.1	934.6	1.496	2 174	4 263	2 177	0.684	0.0288	0.213 × 10 ⁻³	1.330 × 10 ⁻⁵	1.33	1.01	0.913 × 10 ⁻³
140	361.3	921.7	1.965	2 145	4 286	2 244	0.683	0.0301	0.197 × 10 ⁻³	1.365 × 10 ⁻⁵	1.24	1.02	0.970 × 10 ⁻³
150	475.8	916.6	2.546	2 114	4 311	2 314	0.682	0.0316	0.183 × 10 ⁻³	1.399 × 10 ⁻⁵	1.16	1.02	1.025 × 10 ⁻³
160	617.8	907.4	3.256	2 083	4 340	2 420	0.680	0.0331	0.170 × 10 ⁻³	1.434 × 10 ⁻⁵	1.09	1.05	1.145 × 10 ⁻³
170	791.7	897.7	4.119	2 050	4 370	2 490	0.677	0.0347	0.160 × 10 ⁻³	1.468 × 10 ⁻⁵	1.03	1.05	1.178 × 10 ⁻³
180	1 002.1	887.3	5.153	2 015	4 410	2 590	0.673	0.0364	0.150 × 10 ⁻³	1.502 × 10 ⁻⁵	0.983	1.07	1.210 × 10 ⁻³
190	1 254.4	876.4	6.388	1 979	4 460	2 710	0.669	0.0382	0.142 × 10 ⁻³	1.537 × 10 ⁻⁵	0.947	1.09	1.280 × 10 ⁻³
200	1 553.8	864.3	7.852	1 941	4 500	2 840	0.663	0.0401	0.134 × 10 ⁻³	1.571 × 10 ⁻⁵	0.910	1.11	1.350 × 10 ⁻³
220	2 318	840.3	11.60	1 859	4 610	3 110	0.650	0.0442	0.122 × 10 ⁻³	1.641 × 10 ⁻⁵	0.865	1.15	1.520 × 10 ⁻³
240	3 344	813.7	16.73	1 767	4 760	3 520	0.632	0.0487	0.111 × 10 ⁻³	1.712 × 10 ⁻⁵	0.836	1.24	1.720 × 10 ⁻³
260	4 688	783.7	23.69	1 663	4 970	4 070	0.609	0.0540	0.102 × 10 ⁻³	1.788 × 10 ⁻⁵	0.832	1.35	2.000 × 10 ⁻³
280	6 412	750.8	33.15	1 544	5 280	4 835	0.581	0.0605	0.094 × 10 ⁻³	1.870 × 10 ⁻⁵	0.854	1.49	2.380 × 10 ⁻³
300	8 581	713.8	46.15	1 405	5 750	5 980	0.548	0.0695	0.086 × 10 ⁻³	1.965 × 10 ⁻⁵	0.902	1.69	2.950 × 10 ⁻³
320	11 274	667.1	64.57	1 239	6 540	7 900	0.509	0.0836	0.078 × 10 ⁻³	2.084 × 10 ⁻⁵	1.00	1.97	—
340	14 586	610.5	92.62	1 028	8 240	11 870	0.469	0.110	0.070 × 10 ⁻³	2.255 × 10 ⁻⁵	1.23	2.43	—
360	18 651	528.3	144.0	720	14 690	25 800	0.427	0.178	0.060 × 10 ⁻³	2.571 × 10 ⁻⁵	2.06	3.73	—
374.14	22 090	317.0	317.0	0	—	—	—	—	0.043 × 10 ⁻³	4.313 × 10 ⁻⁵	—	—	—

Nota 1: La viscosidad cinemática ν y la difusividad térmica α se pueden calcular a partir de sus definiciones, $\nu = \mu/\rho$ y $\alpha = k/\rho c_p = \nu/Pr$. Las temperaturas de 0.01°C, 100°C y 374.14°C son las temperaturas de los puntos triple, de ebullición y crítico del agua, respectivamente. Las propiedades cuya lista se da arriba (excepto la densidad del vapor) se pueden usar a cualquier presión con error despreciable, excepto a temperaturas cercanas al valor del punto crítico.

Nota 2: La unidad kJ/kg · °C, para el calor específico, es equivalente a kJ/kg · K y la unidad W/m · °C, para la conductividad térmica es equivalente a W/m · K.

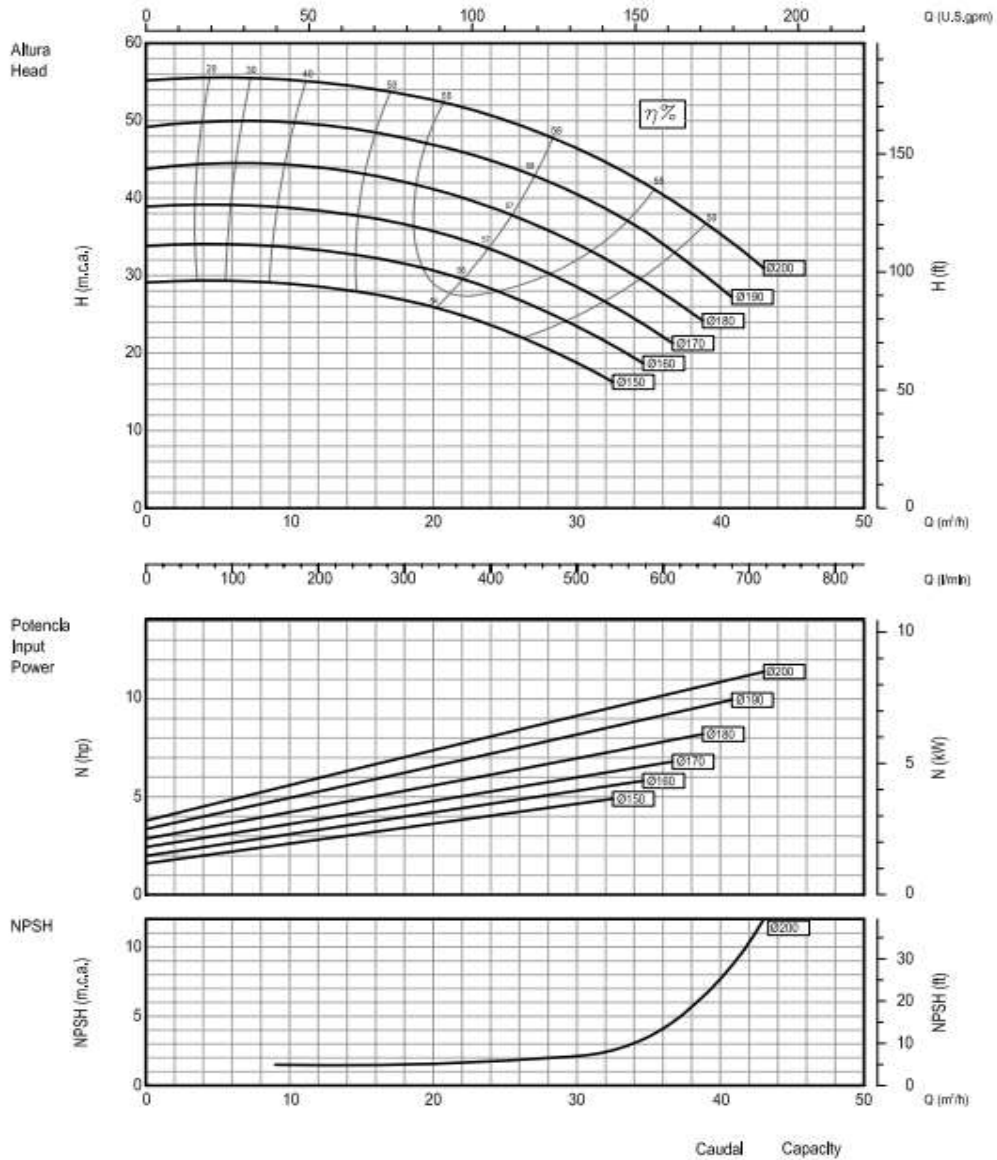
Fuente: Los datos de la viscosidad y la conductividad térmica se tomaron de J. V. Sengers y J. T. R. Watson, *Journal of Physical and Chemical Reference Data* 15 (1986), pp. 1291-1322. Los otros datos se obtuvieron de diversas fuentes o se calcularon.

Fuente: (Cengel & Ghajar, 2011)

Anexo 10. Características de la bomba seleccionada.




Diam. Entrada Salida / Input Output Diam. 2" X 1 1/2"	Velocidad Nominal / Nominal Speed 2900 1/min	Serie NE	Modelo/Type 620
---	--	--------------------	---------------------------



Las curvas características son válidas para viscosidad cinemática=1 mm²/s y densidad= 1000 kg/m³. Tolerancias de las Curvas Características según ISO 9906, Anexo A.
 The performance curves are valid for kinematic viscosity=1mm²/s and density= 1000kg/m³. Performance Tolerance According to ISO 9906, Annex A.
 El fabricante se reserva el derecho de modificar dimensiones y características sin previo aviso.
 All specifications are subject to change without notice.

Fuente: (VOGT, n.d.)

Anexo 11. Proforma de la bomba seleccionada.




COMERCIAL
LUNA

Diana Carlota Luna Jacome

R.U.C 1900524198001

PROFORMA

N° 0002291

Dir: Av. Iván Rieffro s/n y 12 de Febrero (Barrio Norte)
Dir: 072300238
YANTZAZA - ZAMORA CH. 


SEÑOR(ES): Sr. Christian Fernando Puma


DIRECCIÓN: Zamora LUGAR: Yantzaza

R.U.C / C.I. 1900764141 Guía de Remisión: FECHA: 05-Septo 2021

CANT.	DESCRIPCIÓN	V. UNIT	V. TOTAL
1	Bomba Serie NE Modelo 620 Diámetro 180mm Potencia 4.8 HP Punto de funcionamiento 215 l / minuto y 44mca.		350,00

PIXELART Telf: 2301 356
Emisión: del 000001601 al 000002500


 AUTORIZADA
 Original: Adquirente / Copia: Emisor


 FIRMA DEL CLIENTE

SUBTOTAL \$ 350,00

DESCUENTO \$

BASE/I.V.A. 0%

BASE/I.V.A. 12%

I.V.A. 12% 0,00

V. TOTAL \$ 350,00

Fuente: (El autor).

Anexo 13. Proforma por instalación del sistema hidráulico.



DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE REDES ELÉCTRICAS INDUSTRIALES, RESIDENCIALES Y URBANIZACIONES PARA ADQUISICIÓN DE MEDIDORES Y TRANSFORMADORES ELÉCTRICOS

DIRECCION : Vantzaza, calle Jorge Mosquera y 26 de Febrero,
 Cél: +593-993389023 / +593-967491638 / +593-989540462

PROFORMA No. 117
RUC:1900805274001

CLIENTE: Christian Puma
RUC: 1900764141

Lugar y Fecha: Zamora, 03 de septiembre del 2021.

Dirección: Zamora Ch., Zamora

Guia de Remisión:

CANT.	DESCRIPCIÓN	UNID.	V. UNIT.	V. TOTAL
1	Mano de obra e instalación de sistema hidráulico entre los puntos: Piscina - Sistema de colección solar.	U	345	345

OBSERVACIONES:

SUBTOTAL \$	345,00
DESCUENTO \$	-
V/.TARIFA% \$	-
V/.TARIFA12% \$	345,00
IVA 12% \$	41,40
TOTAL \$	386,40

FORMA DE PAGO:

Atentamente,



FRANKLIN JOSE
 TENECELA
 GONZALEZ

Ing. Franklin José Tenecela González

Fuente: (OHM constructora, 2022).

Anexo 14. Proforma por instalación eléctrica y mantenimiento general del sistema.

CONSTRUCTORA ELÉCTRICA

• Diseño y construcción de redes eléctricas industriales, residenciales y urbanizaciones para adquisición de medidores y transformadores eléctricos.

• Diseño y construcción de máquinas industriales y de minería.

• Automatización y mantenimiento de procesos industriales y de minería.

• Construcción de sistemas neumáticos e hidráulicos para bombeo de agua y sistemas contraincendios.

0993389023 / 0967491638 / 0989540462

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE REDES ELÉCTRICAS INDUSTRIALES, RESIDENCIALES Y URBANIZACIONES PARA ADQUISICIÓN DE MEDIDORES Y TRANSFORMADORES ELÉCTRICOS

DIRECCION : Yantzaza, calle Jorge Mosquera y 26 de Febrero, **PROFORMA No. 117**
 Cél: +593-993389023 / +593-967491638 / +593-989540462 **RUC:1900805274001**

CLIENTE: Christian Puma
RUC: 1900764141
Lugar y Fecha: Zamora, 21 de septiembre del 2021.
Dirección: Zamora Ch., Zamora

Guia de Remisión:

CANT.	DESCRIPCIÓN	UNID.	V. UNIT.	V. TOTAL
1	Mantenimiento general del sistema general del sistema automatizado de una piscina: tuberías, colectores, etc.	glb.	90	90
1	Instalación del sistema general de calentamiento de agua	glb.	200	200

OBSERVACIONES:

SUBTOTAL \$	290,00
DESCUENTO \$	-
V/.TARIFA% \$	-
V/.TARIFA12% \$	290,00
IVA 12% \$	34,80
TOTAL \$	324,80

FORMA DE PAGO:

Atentamente,

FRANKLIN JOSE
TENECELA
GONZALEZ

Ing. Franklin José Tenecela González
REPRESENTANTE LEGAL

Fuente: (OHM constructora, 2022).

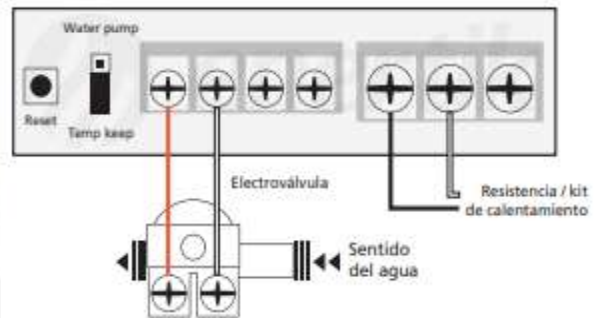
Anexo 15. Guía de configuración de la controladora TK -8A.



BORNERA DE CONEXIÓN



- | | |
|---------------------|----------------------------|
| 1. Botón de reseteo | 3. Kit de calefacción |
| 2. Electroválvula | 4. Sensor de temp. y nivel |



CONEXIÓN DE ELECTROVÁLVULA



CONEXIÓN CABLE DE TEMPERATURA



CONFIGURACIÓN BÁSICA

La configuración del controlador es secuencial, y se accede presionando la tecla **SET** hasta posicionarnos sobre el valor a modificar. Luego, la modificación se efectúa mediante los botones ▲ y ▼.



Una vez realizadas las conexiones en la bornera (como se indicó en el paso anterior), procedemos a conectar el equipo a la red eléctrica 220VCA. Y de así veremos la pantalla:



1 Presionando **SET** dos veces desde inicio, accedemos a la selección del tipo y nivel de agua. Seleccionamos C1 y 100% (recomendado) para mantener el tanque siempre lleno, evitando recalentamiento (especialmente en verano).



2 Presionar **SET** una vez para acceder a los parámetros de temperatura mínima del sistema. Con ▲ y ▼ se selecciona de a 5 grados el valor a partir del cual queremos que se encienda el kit de calefacción. Por debajo del valor programado, se encenderá la resistencia para calentar el agua del tanque hasta el valor indicado. **Rango seleccionable: 30-80°C**



3 Presionando **SET** tres veces desde inicio, accedemos a los parámetros de **Tiempo de mantenimiento (Time keep)** y fijamos su valor en 00.



❏ Presionar **SET** cuatro y cinco veces desde **inicio** para acceder a los parámetros del tiempo de encendido y apagado del llenado programado **WATER LOAD (1)** y **WATER LOAD (2)**. Fijar ambos tiempos en 00:00 si se desea operar en modo automático básico.



❏ Presionar **SET** seis y siete veces desde **inicio** para acceder a los parámetros del tiempo de encendido y apagado de la resistencia de calefacción **HEATING (1)** y **HEATING (2)**. Fijar ambos tiempos en 00:00 si se desea operar en modo automático básico.



❏ Presionar **SET** ocho veces desde **inicio** para visualizar el reloj del controlador

❏ **Configuración de la hora:** Presionar **SET** nueve veces desde **inicio** modificar la hora, y diez veces para los minutos. Usar las teclas **▲** y **▼**. Al definir la hora correcta presionar **SET** para finalizar e iniciar el ciclo del controlador.



Inicio del ciclo de control automático

Una vez configurado el controlador, debemos iniciar el ciclo de control del mismo.

Para eso, haremos los dos últimos pasos a saber:

Inicio del ciclo de control de temperatura automático:

Mantener la tecla "Heating" presionada durante aproximadamente 3 segundos hasta escuchar un bip del equipo. Se encenderá sobre el frente, junto a la visualización de temperatura, la leyenda "Constant temp" indicando que el ciclo ha sido iniciado.

Inicio del ciclo de llenado de agua automático:

Mantener la tecla "Water load" presionada durante aproximadamente 3 segundos hasta escuchar un bip del equipo. Se encenderá el indicador "Constant level" en la esquina inferior derecha del panel de control.



NOTA: el calentador no se enciende si el nivel de agua está por debajo del 50%.

El llenado de agua automático se apaga cuando se logra el 100% del nivel.

Fuente: (Controlador, n.d.)

Anexo 16. Selección de elementos de protección del motor.

Selección Interruptor Electromagnético:

$$P = 4.8 \text{ HP} \rightarrow 3580.8 \text{ W}$$

$$V = 220 \text{ V} / 240 \text{ V}$$

$$I_n = P/V = 3508.8 \text{ W} / 220 \text{ V} = 16.27 \text{ A}$$

Se ha seleccionado el Interruptor Electromagnético de 20 A de la Marca Siemens modelo 5SL6220 – 7MB con un precio estimado de 29 Soles equivalentes a USD 7.54 (Siemens, 2020).

Código (MLFB)	Corriente Nominal (A)	Capacidad de Ruptura en (kA)		Pedido Mínimo (Unidades)	Precio Lista Unit. S/.
		IEC 60898 220V	IEC 60947-2 220V		
Interruptores termomagnéticos monopolares					
5SL6101-7MB	1	15	15	12	22
5SL6102-7MB	2	15	15	12	20
5SL6104-7MB	4	15	15	12	20
5SL6106-7MB	6	15	15	12	18
5SL6110-7MB	10	10	10	12	17
5SL6116-7MR	16	10	10	12	17
5SL6120-7MB	20	10	10	12	17
5SL6125-7MB	25	10	10	12	17
5SL6132-7MB	32	10	10	12	17
5SL6140-7MB	40	15	15	12	20
5SL6150-7MB	50	15	15	12	19
5SL6163-7MB	63	15	15	12	19
Interruptores termomagnéticos bipolares					
5SL6201-7MB	1	15	15	6	63
5SL6202-7MB	2	10	10	6	47
5SL6204-7MB	4	10	10	6	47
5SL6206-7MB	6	10	10	6	40
5SL6210-7MB	10	10	10	6	33
5SL6216-7MB	16	10	10	6	29
5SL6220-7MB	20	10	10	6	29
5SL6225-7MB	25	10	10	6	32
5SL6232-7MB	32	10	10	6	32
5SL6240-7MB	40	15	15	6	35
5SL6250-7MB	50	15	15	6	41
5SL6263-7MB	63	15	15	6	40
Interruptores termomagnéticos tripolares					
5SL6301-7MB	1	15	15	4	90
5SL6302-7MB	2	10	10	4	66
5SL6304-7MB	4	10	10	4	66
5SL6306-7MB	6	10	10	4	66
5SL6310-7MB	10	10	10	4	63
5SL6316-7MB	16	10	10	4	63
5SL6320-7MB	20	10	10	4	63
5SL6325-7MB	25	10	10	4	63
5SL6332-7MB	32	10	10	4	66
5SL6340-7MB	40	15	15	4	70
5SL6350-7MB	50	15	15	4	70
5SL6363-7MB	63	15	15	4	70

Siemens Perú - El precio Lista no incluye IGV vigente - Precios sujetos a cambio sin previo aviso

2.2

Fuente: (Siemens, 2020)

Selección contactor:

P = 3580.8 W

V= 220 V

$$P = 3580.8 \text{ W} \rightarrow [4.8 \text{ HP}]$$

Se ha seleccionado el contactor de la marca Schneider TeSys K con una corriente de operación de 6 A a 16 A en categoría AC – 3, modelo LC1K1610F7 con un precio estimado de 146 Soles equivalentes a USD 38.00 (Schneider Electric, 2015).

Mini contactores tripolares TeSys K



Contadores TeSys K para el comando de motores en aplicaciones básicas de 6 A a 16 A en AC3

Referencia	HP/220V	HP/440V	Amperios		Contactos auxiliares	Precio
			AC3	AC1		
LC1K0610F7	2	3	6	-	INA	106.500
LC1K0610M7	2	3	6	-	INA	106.500
LC1K0602F7	2	3	6	-	1NC	106.500
LC1K0602M7	2	3	6	-	1NC	106.500
LC1K0609F7	3	5	9	20	INA	116.500
LC1K0609M7	3	5	9	20	INA	116.500
LC1K0609F7	3	5	9	20	1NC	116.500
LC1K0609M7	3	5	9	20	1NC	116.500
LC1K1210F7	4	7	12	20	INA	134.000
LC1K1210M7	4	7	12	20	INA	134.000
LC1K1202F7	4	7	12	20	1NC	134.000
LC1K1202M7	4	7	12	20	1NC	134.000
LC1K1610F7	5	8	16	20	INA	146.300
LC1K1610M7	5	8	16	20	INA	146.300
LC1K1602F7	5	8	16	20	1NC	146.300
LC1K1602M7	5	8	16	20	1NC	146.300

Volts Para completar: 24 48 110 220 440
 Voltajes en c.c. (sobre consulta)

Contadores TeSys K para el comando de motores en aplicaciones básicas de 6 A a 12 A en AC3. Circuito de control en DC.



Referencia	HP/220V	HP/440V	Amperios		Contactos auxiliares	Precio
			AC3	AC1		
LP1K0610E0	2	3	6	-	INA	127.200
LP1K0610E0	2	3	6	-	INA	127.200
LP1K0610G0	2	3	6	-	INA	127.200
LP1K0610E0	2	3	6	-	1NC	127.200
LP1K0610E0	2	3	6	-	1NC	127.200
LP1K0610G0	2	3	6	-	1NC	127.200
LP1K0710E0	3	5	9	20	INA	139.800
LP1K0710E0	3	5	9	20	INA	139.800
LP1K0710G0	3	5	9	20	INA	139.800
LP1K0710E0	3	5	9	20	1NC	139.800
LP1K0710E0	3	5	9	20	1NC	139.800
LP1K0710G0	3	5	9	20	1NC	139.800
LP1K1210E0	4	7	12	20	INA	159.000
LP1K1210E0	4	7	12	20	INA	159.000
LP1K1210G0	4	7	12	20	INA	159.000
LP1K1210E0	4	7	12	20	1NC	159.000
LP1K1210E0	4	7	12	20	1NC	159.000
LP1K1210G0	4	7	12	20	1NC	159.000

Volts Para completar: 24 48 110 220
 Voltajes en c.c. (sobre consulta)



Referencia	Volts	Contactos	Precio
CA2KH00T	4NA	Conversione alterna	153.700
CA2KH02F7	4NA	Conversione alterna	153.700
CA2KH02M7	4NA	Conversione alterna	153.700
CA2KH01BF	2NA + 1NC	Conversione alterna	153.700
CA2KH01MF	2NA + 1NC	Conversione alterna	153.700
CA2KH02BF	2NA + 2NC	Conversione alterna	153.700
CA2KH02MF	2NA + 2NC	Conversione alterna	153.700
CA2KH03BD	3NA	Conversione continua	188.700
CA2KH03ED	3NA	Conversione continua	188.700
CA2KH03GD	3NA	Conversione continua	188.700
CA2KH03HD	3NA + 1NC	Conversione continua	188.700
CA2KH03ED	3NA + 1NC	Conversione continua	188.700
CA2KH03GD	3NA + 1NC	Conversione continua	188.700
CA2KH02BD	2NA + 2NC	Conversione continua	188.700
CA2KH02ED	2NA + 2NC	Conversione continua	188.700
CA2KH02GD	2NA + 2NC	Conversione continua	188.700

Precio sujeto a cambio sin previo aviso - Adicional IVA vigente en la Fecha de Publicación - Consultar Condiciones Generales de Venta - www.schneider-electric.com - Febrero de 2015



Fuente: (Schneider Electric, 2015).

Selección Relé térmico o guardamotores:

$$P = 3580.8 \text{ W}$$

$$V = 220 \text{ V} / 240 \text{ V}$$

$$f.s. = 1.25$$

$$I_n = \frac{P}{V} * f_s = \frac{3580.8 \text{ W}}{220 \text{ V}} * 1.25 = 20.33 \text{ A}$$

Se ha seleccionado el relé térmico de la marca Siemens 25 A modelo de serie 3RU21264DJ0 con un precio estimado de USD 79.50 (Siemens, 2022).

Anexo 17. Características de resistencia eléctrica.



RESISTENCIA CON TERMOSTATO PARA TERMOTANQUE ELECTRICO

- Incluye RESISTENCIA CON TERMOSTATO PARA TERMOTANQUE ELECTRICO
- CONEXION AL TANQUE 1 1/4" BSPT (41.13 mm)
- LARGO DE LA RESISTENCIA: 30 CM APROXIMADAMENTE
- COMPATIBLE CON VARIOS MODELOS

TERMOSTATO

- CONTROL DE TEMPERATURA
- 40 C° a 80 C°
- BULBO DE SENSADO EN COBRE
- CONTACTOS NA 20 AMP 220 VCA
- DIMENSIONES 6 x 270 mm
- TERMINALES DE CONEXION FASTON PALA MACHO

Fuente: (Osborn, 2022).

Anexo 18. Certificado de traducción del resumen.

CERTIFICADO DE TRADUCCIÓN

Lic. Marcos David Castillo Ramón
**LICENCIADO EN CIENCIAS DE LA
EDUCACIÓN MENCIÓN INGLÉS**

CERTIFICO:

Haber realizado la traducción de español a inglés del resumen de la tesis titulada: **“DISEÑO DE UN SISTEMA HÍBRIDO DE CALENTAMIENTO DE AGUA PARA LA PISCINA TERAPÉUTICA DEL MIES-LOJA”**, de auditoría de *Christian Fernando Puma Pilamunga*, con cédula de identidad Nro. *1900764141*, egresado de la carrera de Ingeniería Electromecánica de la Universidad Nacional de Loja, trabajo que se encuentra bajo la dirección del Ing. Cristian Vinicio Ortega Reyes, previo a la obtención del título de Ingeniero Electromecánico.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad, facultando al interesado hacer uso del presente en lo que creyere conveniente.

Loja, 21 de septiembre de 2022



Lic. Marcos David Castillo Ramón
**LICENCIADO EN CIENCIAS DE LA
EDUCACIÓN MENCIÓN INGLÉS**

Lic. Marcos David Castillo Ramón
ENGLISH TEACHER
Reg. Senescyt 1031-2020-2197493

Teléfono: 0962931586
Correo Electrónico: mdcastillo096@gmail.com

Anexo 19. Archivos Excel.

Todos los archivos de cálculo referentes a cinemática solar, balance energético de la piscina terapéutica, necesidades energéticas y dimensionamiento hidráulico se encuentran en el CD #01.