



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA,
ELECTRÓNICA Y SISTEMAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA
ELÉCTRICA



EVALUACIÓN ENERGÉTICA DE UN ACUMULADOR TÉRMICO
DE UN SISTEMA DE CALEFACCIÓN MEDIANTE RADIADORES
DE AGUA EN LA EPIME

TESIS

PRESENTADA POR:

JESÚS MILÁN CHAMBI TICONA

RÓMULO HORACIO TORRES ESTOFANERO

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICISTA

PUNO - PERÚ

2024



Reporte de similitud

NOMBRE DEL TRABAJO

EVALUACIÓN ENERGÉTICA DE UN ACUMULADOR TÉRMICO DE UN SISTEMA DE CALEFACCIÓN MEDIANTE RADIADORES DE A

AUTOR

JESÚS MILÁN & RÓMULO HORACIO CHAMBI TICONA & TORRES ESTOFANERO

RECUENTO DE PALABRAS

29393 Words

RECUENTO DE CARACTERES

140721 Characters

RECUENTO DE PÁGINAS

149 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

6.7MB

FECHA DE ENTREGA

Sep 23, 2024 7:28 AM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Sep 23, 2024 7:30 AM GMT-5

● 14% de similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 13% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 9% Base de datos de trabajos entregados
- 1% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 12 palabras)


JOSE MANUEL RAMOS CUTIPA
ING. MECÁNICO ELECTRICISTA
CIP. 78419


M.Sc. Felipe Condori Chambilla
SUBDIRECTOR DE INVESTIGACIÓN
EPIME

Resumen



DEDICATORIA

A mi madre Juana B. Ticona por su amor, apoyo incondicional y sacrificio, los cuales han sido la luz que me guía cada paso para salir adelante. A ti mamá que siempre creíste en mí y me diste las herramientas necesarias para alcanzar mis sueños. Tu sacrificio al darme la oportunidad de estudiar es un regalo que atesoraré siempre. Esta tesis es un homenaje a todo lo que has hecho por mí.

A mi hija Thaisa Yisem por ser siempre fuente de mi inspiración.

A mi padre que desde el cielo me bendice y me da fuerzas para seguir luchando en esta vida.

Jesús Milán Chambi Ticona



DEDICATORIA

A Dios, por haberme guiado por el camino del bien en toda mi vida y estar conmigo pesar de todo, por haberme derramado todas las bendiciones en mi vida.

A mi madre Nelly Estofanero, por haberme dado la vida, alimentado, protegido y vestido con tanto amor. A pesar de las dificultades y de una vida que a veces ha estado llena de desafíos, siempre has estado a mi lado, brindándome apoyo incondicional sin pedir nada a cambio. Tu fortaleza y dedicación en cada etapa de mi vida y hasta el día de hoy no tienen precio son una fuente constante de inspiración y lucha para mí.

A toda mi familia que me han estado brindado su apoyo en la etapa de estudios superiores.

Rómulo Horacio Torres Estofanero



AGRADECIMIENTOS

Queremos expresar nuestra más sincera gratitud a todas las personas que han ayudado a desarrollar esta tesis de alguna manera.

Para empezar, agradecemos a la Universidad Nacional del Altiplano, específicamente a la Facultad de Ingeniería Mecánica Eléctrica, Electrónica y Sistemas, así como a la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica por su dedicación a la educación.

Gracias a José Ramos Cutipa, quien ha sido nuestro asesor de tesis, por su orientación, paciencia y apoyo constante durante todo este proceso. Sus comentarios útiles y recomendaciones han sido esenciales para lograr los objetivos trazados.

Jesús Milán Chambi Ticona

Rómulo Horacio Torres Estofanero



ÍNDICE DE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTOS	
ÍNDICE DE GENERAL	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE FIGURAS	
ÍNDICE DE ANEXOS	
ACRÓNIMOS	
RESUMEN	17
ABSTRACT.....	18
CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN	
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	20
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	21
1.2.1. Problema general	21
1.2.2. Problema específico	21
1.3. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	22
1.3.1. Hipótesis general.....	22
1.3.2. Hipótesis específicas.....	22
1.4. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO	22
1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	24
1.5.1. Objetivo general.....	24
1.5.2. Objetivos específicos	24

CAPÍTULO II



REVISIÓN DE LITERATURA

2.1.	ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	25
2.1.1.	A nivel internacional.....	25
2.1.2.	A nivel nacional.....	31
2.2.	MARCO TEÓRICO.....	31
2.2.1.	Transferencia de energía de calor.....	31
2.2.2.	Transferencia de calor por radiación.....	32
2.2.3.	Transferencia de calor por conducción.....	32
2.2.4.	Calor.....	33
2.2.5.	Frío.....	35
2.2.6.	Primera ley de la termodinámica.....	35
2.2.7.	Balance de energía.....	37
2.2.8.	Cambio de energía de un sistema.....	38
2.2.9.	Mecanismos de transferencia de energía.....	39
2.2.10.	Calefacción.....	44
2.2.10.1.	Tipo de aislamiento de calefacción.....	45
2.2.10.2.	Calefactores eléctricos.....	47
2.2.10.3.	Calefactores por agua caliente.....	47
2.2.10.4.	Calefactores a leña.....	48
2.2.10.5.	Sistemas combinados.....	49
2.3.	COMPONENTES DE UN SISTEMA DE CALEFACCIÓN CON RADIADORES.....	49
2.3.1.	Fuente de energía.....	49
2.3.2.	Distribuidores del sistema.....	50
2.3.3.	Sistemas de almacenamiento de energía térmica.....	54



2.3.4. Almacenamiento térmico	54
2.3.5. Almacenamiento por calor sensible	55
2.3.6. Almacenamiento por calor latente	55
2.3.7. Almacenamiento por reacción química	56

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. TIPO DE DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.....	57
3.1.1. Tipo de investigación	57
3.1.2. Diseño de investigación	57
3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA DE LA INVESTIGACIÓN.....	57
3.2.1. Población	57
3.2.2. Muestra	58
3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	58
3.3.1. Lugar de estudio.....	58
3.3.2. Diseño de muestreo.....	58
3.3.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	59
3.3.4. Procedimiento de recolección de datos.....	59
3.4. EQUIPOS, MATERIALES E INSTRUMENTOS UTILIZADOS	60
3.4.1. Materiales.....	60
3.4.1.1. Tanque térmico para agua	61
3.4.1.2. Terma solar	62
3.4.1.3. Sensor de temperatura.....	63
3.4.1.4. Control lógico programable (PLC)	63
3.4.1.5. Laptop	65
3.4.1.6. Módulo de PLC y sus componentes.....	66



3.4.1.7. Tubería para agua.....	67
3.4.1.8. Electrobomba	68
3.4.2. Condiciones de temperatura interior y exterior	69
3.5. CÁLCULOS DE BALANCE DE ENERGÍA PARA EL ACUMULADOR	69
3.5.1. Cálculo de balance de energía en el acumulador térmico.....	70
3.5.2. Cálculo de la eficiencia térmica del acumulador	91
3.5.3. Cálculo de la capacidad de almacenamiento de la energía térmica	92
3.6. CÁLCULO DE BALANCE DE ENERGÍA CON EL RADIADOR DE	
AGUA	93
3.6.1. Cálculo de balance de energía	94
3.6.2. Cálculo de la eficiencia térmica del sistema de calefacción	107
3.6.3. Cálculo de la ley de enfriamiento de NEWTON	108
CAPÍTULO IV	
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	
4.1. RESULTADOS.....	113
4.1.1. Implementación de un sistema de medición de parámetros	113
4.1.2. Balance de energía	114
4.1.3. Eficiencia térmica y capacidad de almacenamiento de energía térmica.	118
4.1.4. Eficiencia térmica del sistema de calefacción	118
4.2. DISCUSIÓN.....	118
V. CONCLUSIONES.....	120
VI. RECOMENDACIONES.....	122
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	123
ANEXOS.....	126



Área: Control de procesos

Tema: Control

Fecha de Sustentación: 04 de octubre del 2024



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Cantidad de material requerido para equivalente de masa térmica.....	56
Tabla 2 Especificaciones técnicas de tanque térmico	61
Tabla 3 Especificaciones técnicas de terma solar	62
Tabla 4 Especificaciones técnicas de controlador lógico programable	64
Tabla 5 Especificaciones técnicas de electrobomba 1 HP	68
Tabla 6 Resultados de la prueba t para dos muestras, temperatura interior y temperatura exterior	96
Tabla 7 Resistencia térmica superficiales de cerramientos.....	102
Tabla 8 Cálculo del coeficiente global de transferencia de calor por ventanas	103
Tabla 9 Cálculo del coeficiente global de transferencia de calor por el techo	103
Tabla 10 Cálculo del coeficiente global de transferencia de calor por el piso	104
Tabla 11 Cálculo del coeficiente global de transferencia de calor por la pared	104
Tabla 12 Cálculo del coeficiente global de transferencia de calor por la puerta	105
Tabla 13 Cuadro de resultados.....	106
Tabla 14 Datos para calcular la constante k.....	109
Tabla 15 Temperatura en función al tiempo por la ley de Newton	111
Tabla 16 Datos recolectados de módulo de plc el jueves 25 de julio de 2024	114
Tabla 17 Resultados de la prueba t para la muestra de temperatura de entrada y temperatura del acumulador.....	117



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Transferencia de Energía en la papa.	36
Figura 2 Conducción de calor de aire a una lata fría través de la pared de aluminio . 41	41
Figura 3 Sistema monotubular.....	51
Figura 4 Sistema bitubular.....	52
Figura 5 Gráfico de datos de medición obtenidos del PLC.....	60
Figura 6 Diagrama del sistema de calefacción mediante radiadores de agua.....	60
Figura 7 Recipiente de agua	61
Figura 8 Terma solar.....	62
Figura 9 Sensor de temperatura PT-100	63
Figura 10 Controlador lógico programable, Modicon M241, 24 IO relay Ethernet.....	65
Figura 11 Laptop TOSHIBA	66
Figura 12 Módulo de PLC	66
Figura 13 Tubería de polipropileno roscable para agua caliente de 1/2"	67
Figura 14 Electrobomba pedrollo de 1 HP	68
Figura 15 Tanque de acumulación térmica.....	69
Figura 16 Esquema de una tubería simple.....	73
Figura 17 Diagrama de Sankey.....	91
Figura 18 Sistema de calefacción mediante radiador de agua.....	93
Figura 19 Comportamiento de las temperaturas en función al tiempo cuando el sistema está en funcionamiento	95
Figura 20 Balance térmico en el ambiente del laboratorio.....	101
Figura 21 Pendiente para la obtención de la constante "k".....	110



Figura 22	Gráfico de la curva de la temperatura en función al tiempo calculado con la ley de enfriamiento de Newton.....	112
Figura 23	Sensores instalados en diferentes partes del sistema.....	113
Figura 24	Comportamiento de las temperaturas en el acumulador térmico sin carga	116



ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO 1 Temperaturas máximas Puno-norte, centro y sur (Normal, Junio - 2023) tomada de Boletín Regional Puno N° 06 Junio 2023 – SENAMHI.....	126
ANEXO 2 Temperaturas mínimas Puno-norte, centro y sur (Normal, Junio - 2023) tomada de Boletín Regional Puno N° 06 Junio 2023 – SENAMHI.....	127
ANEXO 3 Viscosidad dinámica del agua líquida a varias temperaturas	128
ANEXO 4 Gráfico del sistema de calefacción en el laboratorio de la EPIME	129
ANEXO 5 Comportamiento de las temperaturas en el acumulador térmico con carga	130
ANEXO 6 Gráfico del comportamiento de la temperatura en función al tiempo, sin carga, el día miércoles 31 de julio 2024.	131
ANEXO 7 Gráfico del comportamiento de la temperatura en función al tiempo, sin carga, el día miércoles 01 de agosto 2024.	132
ANEXO 8 Gráfico del comportamiento de la temperatura en función al tiempo, con carga, el día miércoles 20 de agosto 2024.	133
ANEXO 9 Gráfico del comportamiento de la temperatura en función al tiempo, con carga, el día miércoles 22 de agosto 2024.	134
ANEXO 10 Gráfico del comportamiento de la temperatura en función al tiempo, con carga, el día miércoles 23 de agosto 2024.	135
ANEXO 11 Gráfico del comportamiento de la temperatura en función al tiempo, con carga, el día miércoles 24 de agosto 2024.	136
ANEXO 12 Gráfico del comportamiento de la temperatura en función al tiempo, con carga, el día miércoles 25 de agosto 2024.	137



ANEXO 13	Gráfico del comportamiento de la temperatura en función al tiempo, con carga, el día miércoles 26 de agosto 2024.	138
ANEXO 14	Gráfico del comportamiento de la temperatura en función al tiempo, con carga, el día miércoles 27 de agosto 2024.	139
ANEXO 15	Gráfico del comportamiento de la temperatura en función al tiempo, con carga, el día miércoles 31 de agosto 2024.	140
ANEXO 16	Datos del el módulo de control el día miércoles 04 de setiembre 2024	141
ANEXO 17	Gráfico del comportamiento de la temperatura en función al tiempo, con carga, el día miércoles 04 de setiembre 2024.	145
ANEXO 18	Declaración jurada de autenticidad de tesis	146
ANEXO 19	Autorización para el depósito de tesis en el repositorio institucional	148



ACRÓNIMOS

Q_{cedido} :	Energía cedida al sistema
\dot{m} :	Flujo de masa
$C_{p_{agua}}$:	Calor específico de agua
T_{in} :	Temperatura de entrada al acumulador térmico
T_{uot} :	Temperatura de salida de agua del serpentín
η_{acum} :	Eficiencia acumulador
Q_{acu} :	Energía del acumulador
U_{serp} :	Coefficiente global de transmisión
Gr :	Número de Grashof
Nu :	Número de Nusselt
Pr :	Número de Prandtl



RESUMEN

En el presente proyecto de investigación titulado “EVALUACIÓN ENERGÉTICA DE UN ACUMULADOR TÉRMICO DE UN SISTEMA DE CALEFACCIÓN MEDIANTE RADIADORES DE AGUA EN LA EPIME”, ubicado en el laboratorio de control y automatización de la escuela profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica de la UNA-PUNO, se ha realizado el análisis energético de un acumulador térmico de un sistema de calefacción mediante radiadores de agua, además se ha determinar los parámetros del sistema de calefacción, balance de energía térmica, la eficiencia y capacidad de almacenamiento. El objetivo general, fue de realizar un análisis energético al acumulador térmico de un sistema de calefacción mediante radiadores de agua y el balance de energía térmica para la eficiencia y la capacidad de almacenamiento de energía térmica. Se ha utilizado un diseño metodológico experimental, aplicando la recolección de información en tiempo real cuando el sistema de calefacción entra en operatividad y el modo deductivo al obtener conclusiones con el propósito de determinar el comportamiento de la transferencia de calor. Por lo tanto, concluimos que es necesario implementar un sistema de parámetros para evaluar las características y comportamiento de la transferencia de calor, así como también el balance de energía para entender y optimizar el comportamiento de un acumulador. la eficiencia térmica es de 87.37% del acumulador estudiado con una capacidad calorífica de 6102.8 kJ.

Palabras clave: Almacenamiento de calor, Calefacción, Capacidad calorífica, Transferencia de calor.



ABSTRACT

In the present research project entitled “ENERGY EVALUATION OF A THERMAL ACCUMULATOR OF A HEATING SYSTEM USING WATER RADIATORS IN THE EPIME”, located in the control and automation laboratory of the professional school of Electrical Mechanical Engineering of the UNA-PUNO, The energy analysis of a thermal accumulator of a heating system using water radiators has been carried out, and the parameters of the heating system, thermal energy balance, efficiency and storage capacity have also been determined. The general objective was to carry out an energy analysis of the thermal accumulator of a heating system using water radiators and the thermal energy balance for efficiency and thermal energy storage capacity. An experimental methodological design has been used, applying the collection of information in real time when the heating system becomes operational and the deductive mode when obtaining conclusions with the purpose of determining the behavior of heat transfer. Therefore, we conclude that it is necessary to implement a system of parameters to evaluate the characteristics and behavior of heat transfer, as well as the energy balance to understand and optimize the behavior of a storage tank. The thermal efficiency is 87.37% of the studied accumulator with a heat capacity of 6102.8 kJ.

Keywords: Heat storage, heating, heat capacity, heat transfer.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

En las zonas andinas, especialmente en la región de Puno se soportan temperaturas bajas, según SENAMHI las temperaturas mínimas promedio en Puno-Mazo cruz (Normal, junio-2023) ANEXO 6, alcanzó hasta alrededor de -16.8°C , que hace necesario implementar sistemas térmicos que almacenen calor y poder utilizarlo en el momento que se requiera aumentar la temperatura.

Perea Flores (2018) evidenció que “en la última década se ha intensificado el impacto de las bajas temperaturas en nuestro país. Según información difundida por el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (SINAGERD), las heladas y sus fenómenos provocan daños a las personas”. El friaje es un fenómeno y se presenta en las alturas de los andes, provocando hielos persistentes, según SENAMHI suelen iniciar en el mes de abril culminando en el mes de setiembre.

Teniendo en cuenta esta problemática se ha propuesto evaluar un acumulador de calor de un sistema de calefacción mediante radiadores de agua para determinar las características de operatividad con los cuales permita mejorar la acumulación y transferencia de calor, para esto se ha realizado un prototipo el cual está instalada en el laboratorio de Control y Automatización de la escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica.

El objetivo general fue analizar mediante el uso de un PLC y el equipamiento adecuado, un acumulador de calor de un sistema de calefacción mediante radiadores de agua determinando las características de operatividad, los cuales nos permitan mejorar la acumulación, la transferencia de calor, y su aplicación con la finalidad de mejorar la



habitabilidad y confort térmico en viviendas alto andinas. Para lo cual se ha realizado el balance de energía del sistema de almacenamiento de energía y se ha evaluado la eficiencia y la capacidad de almacenamiento de energía térmica.

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las zonas alto andinas de la sierra peruana, debido a su altitud están expuestas a factores climáticos extremos, produciendo situaciones climáticas que afectan a los modos de vida de los pobladores. Las heladas y friaje causan daños no solo materiales sino también a la salud de las personas, ya que incrementan el riesgo de Infecciones Respiratorias Agudas (IRAS) según boletín epidemiológico del Perú (2020).

Durante los años 2004 y 2005 se ha observado una repetición de heladas en las regiones afectadas, como Ayacucho, Huancavelica, Junín, Arequipa, Apurímac, Tacna, Moquegua, Puno, Cajamarca, La Libertad, Huánuco, Pasco y Cusco.

De acuerdo con información de la Oficina General de Epidemiología (OGE) del Ministerio de Salud (Minsa), en el año 2004, las heladas provocaron en todo el país más de dos millones de casos de infecciones respiratorias agudas (IRA) no neumónicas en niños menores de cinco años, así como más de 31 mil casos de neumonía en este mismo grupo poblacional.

La intensidad de las bajas temperaturas y heladas a obligado en muchas ocasiones al estado peruano a declarar en estado de emergencia por friaje en nuestro país.

En nuestra región de Puno, las familias del sector rural son las que más sufren con el intenso frío que va por debajo de los cero grados y que es concurrente en todo el altiplano. Según el servicio nacional de meteorología (Senamhi), el distrito de Mazocruz



registró -20,8 grados en la temporada de invierno. El intenso frío por debajo de los cero grados es recurrente en todo el altiplano puneño.

Alvarado y Vallejo (2015), señala que “las heladas en las zonas altoandinas agravan la vida de sus habitantes debido a la falta de tecnologías útiles para el día a día. Además, las viviendas son muy rudimentarias y no se han adoptado principios arquitectónicos mínimos para hacerlas más térmicas. Los espacios públicos cerrados están mal diseñados y no hay calefacción en absoluto. También se observa que las personas viven muy aisladas, no solo físicamente, sino en todos los aspectos; la colaboración entre vecinos ha disminuido y la desconfianza entre ellos ha aumentado”.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. Problema general

¿En qué medida beneficiaría evaluar el acumulador de energía térmica de un sistema de calefacción para los ambientes de las zonas alto andinas de nuestra región de Puno en las temporadas de invierno?

1.2.2. Problema específico

- ¿Cómo verificaremos el balance de energía del sistema de almacenamiento de energía térmica?
- ¿En qué medida se evaluará la eficiencia térmica y la capacidad de almacenamiento de la energía térmica?
- ¿Cuál será la eficiencia térmica del sistema de calefacción mediante radiadores de agua?



1.3. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1. Hipótesis general

Mediante la implementación de un sistema de medición de parámetros en un acumulador térmico de un sistema de calefacción mediante radiadores de agua se podrá evaluar las características que permitan definir su operación óptima.

1.3.2. Hipótesis específicas

- Es posible determinar el balance de energía del sistema de almacenamiento de energía térmica con la implementación de un sistema de parámetros térmicos en el sistema de calefacción mediante radiadores de agua.
- Es posible evaluar la eficiencia térmica y la capacidad de almacenamiento de energía térmica de un sistema de calefacción mediante radiadores de agua con la implementación de un sistema de parámetros térmicos.
- Es posible evaluar la eficiencia térmica del sistema de calefacción mediante radiadores de agua con la implementación de un sistema de parámetros térmicos.

1.4. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO

Las zonas andinas, soportan temperaturas bajas, de hasta alrededor de -16.8 según SENAMHI, y hace necesario implementar sistemas térmicos que almacenen calor.

La región Puno se encuentra ubicada en el Altiplano entre los 3 812 y 5 500 msnm, por lo que muchos de la población sufren las consecuencias por las bajas temperaturas en los meses de mayo, junio, julio y agosto. Durante este espacio de tiempo las temperaturas disminuyen considerablemente durante la noche, alrededor de 3°C en promedio, y en



ciertos lugares a veces a temperaturas más bajas como los -16.8°C , por ejemplo, podemos mencionar la población de Mazocruz, ubicado a 4500 msnm, ocasionando problemas serios de salud en su población.

Frente a este comportamiento de la temperatura, mucha de la población adoptan ciertas medidas para contrarrestar este problema, en los lugares donde se cuenta con el servicio eléctrico utilizan por ejemplo sistemas de calefacción por radiadores eléctricos, estufas, incrementando el gasto económico de las familias que lo usan; en otras zonas se viene instalando los muros trombe, el cual son sistemas que utilizan la energía solar para poder hacer que aumente la temperatura en un ambiente con el fin de mitigar este problema.

Sin embargo, factores como la mala ubicación del muro, materiales que no pueden almacenar el calor, o la poca radiación solar que alcanza en el muro por su inclinación han cuestionado su utilización.

Teniendo en cuenta esta problemática se hace necesario implementar sistemas térmicos de almacenamiento de calor mediante radiadores de agua, adecuadas a las zonas alto andinas de la Región con técnicas no convencionales, utilizando energías renovables, utilizando espacios adecuados, permitiendo mejorar la calidad de vida, económica, ambiental entre otras.

Los sistemas de calefacción son uno de los principales consumidores de energía en edificios, especialmente en zonas con climas fríos. Mejorar el rendimiento del sistema o el acumulador térmico puede tener un impacto significativo en la reducción del consumo energético, lo que se traduce en: ahorros económicos en facturas de energía, menor dependencia de fuentes de energía externa, reducción de emisiones contaminantes, mayor eficiencia energética y sostenibilidad.



El acumulador juega un rol fundamental en la gestión del calor generado, almacenándolo y distribuyéndolo de manera eficiente. A través de una evaluación energética, se pueden detectar oportunidades de mejora para optimizar el rendimiento del sistema, asegurando que el calor almacenado se utilice de forma efectiva y reduciendo al mínimo las pérdidas de calor.

1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1. Objetivo general

Evaluar energéticamente un acumulador térmico de un sistema de calefacción mediante radiadores de agua con un sistema de adquisición de parámetros térmicos que permitirá analizar las características de operación.

1.5.2. Objetivos específicos

- Verificar el balance de energía del sistema de almacenamiento de energía del acumulador térmico.
- Evaluar la eficiencia térmica y capacidad de almacenamiento de energía térmica del acumulador térmico.
- Evaluar la eficiencia térmica del sistema de calefacción mediante radiadores de agua.



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Para presentar nuestras tesis de investigación, citamos investigaciones relacionadas a nuestro proyecto de investigación, en las diferentes universidades del Perú y el mundo.

2.1.1. A nivel internacional

En España, Daniel et al. (2006), en la investigación titulada “**Estudio sobre el sistema de almacenamiento de agua caliente sanitaria en un sistema solar térmico**”, investigó un sistema solar térmica para dar suministro de agua caliente sanitaria a un edificio. El sistema de almacenamiento de calor que se utilizó fue un material de cambio de fase más conocido como PCM y la investigación de transferencia de calor de los PMC. Cabe señalar que uno de los problemas de la sociedad actual es la necesidad de energía, al igual como en la industria, y para cubrir esta necesidad actualmente estamos utilizando electricidad o combustibles fósiles, pero en ellos se pueden encontrar otras energías para la demanda doméstica, como las Energías Renovables, como la Energía Solar térmica que se utiliza para producir agua caliente mediante el uso de colectores. El uso de un acumulador de calor como material de cambio de fase permite reducir las medidas de acumulación y la capacidad de almacenamiento. Actualmente la limitación radica en la transferencia de calor por convección en el depósito, se ha analizado el sistema de aletas para mejorarlo. Los resultados llevados a cabo en esta investigación buscan una mejor alternativa a las instalaciones solares con



módulos de PCM con aletas y mejoras en el almacenamiento de energía y la transferencia de calor a partir de su prueba de agua para el uso de disipadores.

En Chile, Domancic (2008), en su tesis titulada “**Diseño de un sistema de calefacción solar para un edificio público**”. Planteó un modelo térmico en el cuál buscaban representar su comportamiento térmico general del edificio. Lo primero que hicieron fue mejorar la calefacción del edificio, pero la alta inversión inicial implicó que no fuera una solución directa, en base al modelo desarrollado, dimensionaron el sistema de calefacción solar. El sol se hace en un sistema auxiliar de aporte, por lo que puede mantener una agradable temperatura de invierno a 95% a las 8:30 y las 18:00 horas. El resultado del sistema solar es un captador solar plano de 60m² que es instalado en la cubierta norte del edificio y un captador tipo muro trombe de 14.5m² ubicado en la fachada norte. La redundancia corresponde al 10% de la energía de calefacción. Finalmente crearon un modelo térmico del edificio con el sistema solar dimensionado y con las mejoras térmicas que lo acompañan, dando como resultado una capacidad de calefacción en invierno de 95% sin necesidad de protección auxiliar gracias al aporte de mejoras térmicas que no permiten pérdidas de calor elevadas en casas y edificios.

Por otra parte en Argentina, Esteves y Gelardi (2010), en su investigación titulada “**Relación entre la ganancia solar y la calefacción auxiliar para dos tipos de envolvente formal edilicia**”. Han evaluado la conservación de energía en los edificios la cual se da a través de envolventes. La superficie de la envolvente depende del área que la compone, y las pérdidas de calor en los espacios son el resultado de la combinación entre la superficie y la conductancia térmica del revestimiento. La eficiencia energética desempeña un papel crucial en el



aprovechamiento de los recursos. Se analiza el caso de dos tipos de envolventes con superficies cubiertas similares, representativas de dos diseños distintos: uno de estilo chalet moderno y otro racional. Además, se comparan los costos de dos métodos de instalación de aislamiento térmico en muros: el Sistema Iggam Weber R y un sistema artesanal. También se exploran las posibilidades de implementar estas tecnologías si el Impuesto al Valor Agregado (IVA) no se aplicara a la incorporación de aislamiento térmico y al consumo de gas en estos edificios más eficientes. Se concluye que la combinación de aislamiento térmico con calefacción auxiliar por tiro balanceado es la opción más rentable, con un periodo de amortización aproximado de 20 años, que se reduciría en unos 4 años si se pudiera deducir el IVA. La forma de la envolvente es igualmente crucial, ya que influye en los costos de añadir aislamiento térmico. Para una envolvente de diseño racional, el costo es de \$61 por metro cuadrado de superficie cubierta, mientras que para una envolvente de una vivienda tipo chalet, el costo asciende a \$116 por metro cuadrado de superficie cubierta.

En La Habana, Cuba, Ferrer (2015), en la investigación titulada **“Dimensionamiento de un sistema térmico solar mediante simulación y su validación energética”**, se destaca el uso de la energía solar térmica como una de las tecnologías más viables en diversos usos domésticos e industriales. El sistema térmico solares es reconocido como el sistema de energía renovable más utilizado en la producción de agua caliente para saneamiento y cocina para diferentes objetos. Este sistema se instala en casas, hospitales, hoteles, campamentos, etc. Entre las ventajas más destacables de los sistemas solares térmicos solares con modalidad termo sifónico, se encuentra su funcionamiento. Solo es necesario la tasa de radiación solar como fuente de energía. Existen diferentes métodos de



dimensionamiento que van desde cálculos simples hasta software complejo. El método FCHARD es un cálculo confiable, basando en una base de datos con promedios mensuales. Sus aplicaciones incluyen la identificación de variables adimensionales de un sistema de calefacción solar y el uso de simulaciones informáticas de su funcionamiento. Se llevó a cabo una evaluación de la instalación solar construida para validar los resultados obtenidos en la simulación. La comparación se realizó midiendo el porcentaje de aportación energética solar obtenido en las simulaciones y comparándolo con los resultados de las pruebas realizadas con carga real. Se presentó el esquema de la instalación, junto con el equipo utilizado en las pruebas. Los resultados se registraron en archivos y gráficos con datos horarios, diarios y mensuales. El estudio concluyó con un análisis integral anual que permitió definir el rendimiento de la instalación solar durante el período de operación.

En el caso de España, Domínguez et al. (n.d.), en la investigación titulada: **“La acumulación de frío con materiales de cambio de fase. microencapsulación”**, nos propone que la acumulación de calor o frío es importante porque nos permite aprovechar nuevas fuentes de calor. Los PCM pueden almacenar mucha energía térmica a una temperatura determinada por su cambio de fase o estado. Son el material ideal para la acumulación y son los más adecuados ya que no requieren que el recipiente trabaje bajo presión. El uso de PCM activo, es decir, temperaturas de cambio de fase superiores a 0 °C, podría ser interesante y colaborativo en el desarrollo de nuevos dispositivos de aire acondicionado. El objetivo de este estudio fue analizar las posibilidades que ofrece PCM para aumentar la eficiencia energética en la construcción, climatización y cogeneración. El estudio considera que los PCM, con su capacidad de almacenar



grandes cantidades de calor en un pequeño volumen, son de gran interés en el campo de la eficiencia energética térmica, en la construcción, la climatización y la cogeneración eléctrica y especialmente en el de las Energías Renovables. En su trabajo ha intentado dar una visión general y tomar como punto de partida una discusión general. El tema es actual y prueba de ello es que se pueden encontrar referencias recientes así como problemas técnicos que al final lo hacen económico. El trabajo concluye que la acumulación de calor utilizada por PCM reduce el espacio, lo que permite compensar las cargas de producción y beneficiarse de los precios de la electricidad. Con la acumulación de calor con PCM, se puede evitar el uso de ciertos tipos de instalaciones de sistemas de refrigeración mecánica. La cogeneración combinada con el almacenamiento térmico podría ser un nuevo sistema rentable en un gran número de aplicaciones.

Según, Bautista et al. (2016), en la investigación titulada: **“Implementación de un sistema de calefacción solar térmico: análisis energético y económico”** del centro de investigaciones Ópticas y Energías de la Universidad Privada Boliviana, han abordado el uso de sistemas de calefacción para temporadas de frío generalmente eléctricos que consiste en una resistencia eléctrica y proponen como una alternativa al utilizar energía solar como una fuente de energía para que pueda permitir reducir el consumo de la energía eléctrica. Los sistemas de calefacción solar térmica están generalmente compuestos por colectores solares térmicos, tanque e intercambiador de calor. Se realizó un análisis energético y económico de un sistema de calefacción solar térmico de tubos de vacío para un ambiente donde los resultados que obtuvieron fue una eficiencia térmica de calefacción solar de 36.8%. La baja eficiencia es por las pérdidas de calor que existen en el colector solar térmico, en las tuberías y la baja



potencia del ventilador. Se compara el funcionamiento de este sistema con un sistema de calefacción eléctrica de 4 KW de capacidad eléctrica para aire acondicionado en el mismo ambiente, donde se estima un ahorro de energía eléctrica de 23.4 KWh/mes con calefacción térmica.

En la tesis de Chiné (2018) titulada “**Sistema de control y monitorización energética de caldera**”, trabajo de grado de la **Escuela Politécnica Superior de la Universidad de Lleida - España**, tuvo como objetivo realizar el “monitorización y el control energético de un sistema de calefacción situado en una sala de oficinas, para facilitar el proceso” utilizando un autómata programable con el cual pretende interactuar con una aplicación móvil en su plataforma Android, para tener un mejor control en tiempo real obteniendo de los sensores de caudal y temperatura. Como conclusión queda clara la gran aplicación del PLC / HMI en el mundo de la automatización y el control.

Román (2019), en su trabajo de fin de master del departamento de Ingeniería Energética de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de la Universidad de Sevilla, con título, **Modelado y simulación de sistemas de almacenamiento térmico estratificado**, tuvo como objetivo de este trabajo era el modelado y análisis de un sistema de almacenamiento térmico basado en un tanque termoclina aplicado a unas condiciones de funcionamiento reales durante largos periodos de tiempo, concluyendo que en los sistemas de almacenamiento energía tienen mayor flexibilidad en la operación y disponibilidad sobre todo en los sistemas de (ACS).



2.1.2. A nivel nacional

Salluca y Mamani (2021), En el proyecto de investigación titulada; **“Diseño de un sistema de acumulación térmica y controladores para aplicaciones de calefacción con termas solares, en la región altoandina – Puno”**. El objetivo fue diseñar un acumulador térmico controlado con materiales de cambio de fase (PCM) para su uso en sistemas de calefacción de ambientes en la región de Puno. Para obtener y comparar los resultados, se empleó la herramienta SIMULINK de Matlab, modelando matemáticamente el sistema y desarrollando las funciones de transferencia tanto para un tanque con PCM como para otro con agua. Los resultados obtenidos mostraron que el tanque con PCM tardó tres horas en alcanzar la temperatura de operación, mientras que el tanque con agua lo hizo en solo una hora. Sin embargo, el tanque con PCM pudo mantener la temperatura de confort durante cinco horas y cuarenta minutos, mientras que el tanque con agua solo logró mantenerla durante treinta y ocho minutos. Con base en estos resultados, concluyeron que el diseño del tanque acumulador con PCM, controlando sus parámetros de operación, es adecuado para su aplicación en sistemas de calefacción de ambientes en la región de Puno.

2.2. MARCO TEÓRICO

En esta parte del proyecto de investigación, compilamos información y bases teóricas para poder percibir y realizar las operaciones y cálculos necesarios en este presente proyecto, las bases teóricas requeridas para nuestro interés son: transferencias de calor, flujo másico y otras disciplinas paralelas a este proyecto.

2.2.1. Transferencia de energía de calor

Aunque se enfocan en sistemas en equilibrio, las leyes de la Termodinámica abordan la transferencia de energía. En consecuencia, son capaces



de calcular la cantidad de energía necesaria para trasladar un sistema de un estado de equilibrio a otro, pero no son capaces de anticipar la velocidad con la que estos cambios pueden ocurrir. La primera y la segunda ley se complementan con la transferencia de calor, que brinda los métodos de análisis que se pueden emplear para estimar esta velocidad de transmisión. Ejemplo: La temperatura de una barra de acero en agua caliente.

La termodinámica predice las temperaturas finales después de que los dos sistemas hayan llegado al estado de equilibrio, así como la cantidad de energía que se transfiere entre los dos estados de equilibrio inicial y final. La velocidad de transferencia térmica del agua a la barra y la temperatura del agua en función del tiempo se pueden predecir con la transferencia de calor.

La convección, la radiación y la conducción son métodos para transferir calor.

2.2.2. Transferencia de calor por radiación

La transferencia de calor por radiación implica un mecanismo físico distinto, basado en la propagación de energía electromagnética. Para analizar este tipo de transferencia, se utiliza el concepto de radiador ideal o cuerpo negro, que emite energía a una tasa que es proporcional a la cuarta potencia de su temperatura absoluta.

2.2.3. Transferencia de calor por conducción

La transferencia de calor por conducción es la forma más común de transferencia de calor y es cuando dos cuerpos entran en contacto con diferentes temperaturas, la transferencia por conducción se realiza media el moviendo de masa o flujo.



Se observa que la tasa de conducción de calor por la ecuación (1).

$$q = kA \frac{(T_1 - T_2)}{(r_2 - r_1)} \quad (1)$$

Donde:

q = calor por conducción (W)

k = conductividad térmica $\left(\frac{W}{mK}\right)$

A = área (m²)

$T_1 = T_2$ = temperatura (K)

$r_1 = r_2$ = radio (m)

2.2.4. Calor

El calor es la energía que se transmite debido a las variaciones de temperatura entre dos sistemas (o entre un sistema y sus alrededores). Por lo tanto, una interacción de energía solo produce calor si ocurre a una temperatura diferente. Como resultado, se concluye que no puede haber transferencia de calor entre dos sistemas con temperaturas idénticas.

El concepto de calor en termodinámica se refiere específicamente a la transferencia de energía. Sin embargo, en la práctica, se utilizan diversas expresiones relacionadas con el calor, como flujo de calor, adición de calor, rechazo de calor, absorción de calor, remoción de calor, ganancia de calor, pérdida de calor, almacenamiento de calor, generación de calor, calentamiento eléctrico, calentamiento por resistencia, calentamiento por fricción, calentamiento por gas y calor de reacción. Aunque estas expresiones no se ajustan estrictamente al



significado termodinámico, generalmente se interpretan correctamente en contexto. En términos termodinámicos, la adición de calor se refiere a la transferencia de calor hacia un sistema, mientras que el rechazo de calor implica la transferencia de calor hacia el exterior. La razón por la que se prefiere utilizar el término "calor" en lugar de "energía térmica" radica en su mayor simplicidad y facilidad de comprensión, ya que requiere menos tiempo y esfuerzo para expresarlo, escribirlo y entenderlo.

En termodinámica, el calor se define como energía en transición que cruza la frontera de un sistema. Por lo tanto, el término calor se utiliza específicamente para describir la transferencia de energía entre sistemas.

Un proceso adiabático ocurre cuando no hay transferencia de calor. Adiabático significa "no pasar". Y un proceso puede ser adiabático de dos maneras. Primero, cuando el sistema está tan bien aislado que solo un pequeño porcentaje cruza la frontera. El segundo es cuando el sistema y sus alrededores tienen temperaturas idénticas y no hay diferencias de temperatura, por lo que no hay transferencia de calor.

“Hay que diferenciar entre un proceso adiabático y uno isotérmico”:
(Yunus A. & Michael A., 2006).

“El calor es el proceso de intercambio de energía térmica que se transfiere entre dos sistemas o un sistema y sus alrededores, debido a una diferencia de temperatura. También se denomina calor a la energía en tránsito que se reconoce solo cuando se cruza la frontera de un sistema termodinámico. El término calor por tanto se debe de entender como transferencia de calor y solo ocurre cuando hay diferencia de temperatura y en dirección de mayor a menor. De ello se deduce



que no hay transferencia de calor entre dos sistemas que se encuentran a la misma temperatura entonces están en equilibrio térmico”. (Berrio Huarahuara & Hanco Mamani, 2017).

2.2.5. Frío

Según Salinas (2020) “el frío es la ausencia de calor”, el concepto de frío se relaciona con la baja temperatura y la sensación que percibe el cuerpo humano al sentir calor o frío. Esta sensación se basa en la transferencia de calor entre el cuerpo y el entorno. Cuando sentimos que un objeto está caliente, ocurre porque su temperatura es mayor que la de nuestra piel. En este caso, recibimos calor del objeto. Por otro lado, cuando sentimos que un objeto está frío, es porque nuestra temperatura corporal es mayor que la del objeto. En este caso, le transmitimos calor al objeto.

2.2.6. Primera ley de la termodinámica

La energía total, el trabajo y el calor son solo algunas de las muchas formas de energía y no se ha hecho ningún esfuerzo por relacionarlas entre sí en un proceso. El principio de conservación de la energía, también conocido como la primera ley de la termodinámica. Presenta una base sólida para el análisis de las interacciones entre las diversas formas de energía. a partir de los resultados del experimento. Según la primera ley de la termodinámica, la energía solo puede cambiar de forma y no se puede crear ni destruir durante un proceso. Por lo tanto, incluso la cantidad más pequeña de energía debe mantenerse durante un proceso.

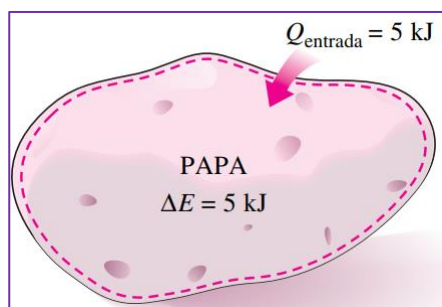
Cuando se encontramos en un edificio de una altura considera y soltamos un ladrillo, podemos deducir que el ladrillo poseía una energía potencial y parte de esta energía se transforma en cinética cuando cae el ladrillo.

“Una consecuencia muy importante de la primera ley de la termodinámica es la existencia y definición de la propiedad de energía total. Considerando que el trabajo neto es el mismo para todos los procesos adiabáticos de un sistema cerrado entre dos estados específicos, el valor del trabajo de un sistema cerrado entre dos estados específicos, el valor del trabajo neto debe depender solo de los estados finales del sistema y por lo tanto debe corresponder al cambio en una propiedad del sistema; esta propiedad es la energía total. Tenemos que darnos cuenta que la primera ley no hace referencia al valor de la energía total de un sistema cerrado en un estado, sino que establece el cambio de la energía total durante un proceso diabático debe ser igual al trabajo neto realizado. En consecuencia, se puede asignar cualquier valor arbitrario conveniente a la energía total en un estado específico para servirnos como un punto de referencia”. (Yunus A. & Michael A., 2006).

La conservación de la energía está implícita en el enunciado de la primera ley. A pesar de que la primera ley se basa en la existencia de la propiedad energética total. A menudo se considera que la primera ley de la termodinámica estableció el principio de conservación de la energía. La relación de la primera ley de la termodinámica se ilustrará a continuación.

Figura 1

Transferencia de Energía en la papa.



Nota: tomada de (Yunus A. & Michael A., 2006, p 71)



Algunos procesos implican transferencia de calor, pero no interacciones de trabajo. Un buen ejemplo de cómo la transferencia de calor aumenta la energía es la papa cocida en el horno. Si se ignora la transferencia de masa, que es la pérdida de humedad de la papa. La cantidad de transferencia de calor de la papa es igual a la cantidad de energía total que aumenta. En otras palabras, si se transfieren 5kJ de calor a la papa, su energía aumentará también en 5kJ.

2.2.7. Balance de energía

Es una expresión del principio de conservación de energía. La diferencia entre la energía total que entra y la energía total que sale del sistema durante un proceso es el cambio neto, o aumento o disminución, en la energía total del sistema durante el proceso.

$$E_{entrada} - E_{salida} = \Delta E_{sistema} \quad (2)$$

Donde:

$E_{entrada}$: Energía total que entra al sistema

E_{salida} : Energía total que sale del sistema

$\Delta E_{sistema}$: Cambio de energía total del sistema

El balance de energía en relación se aplica a cualquier tipo de sistema que experimente cualquier tipo de proceso. La comprensión de las diversas formas de energía y cómo se transfiere es necesaria para utilizar esta relación para resolver problemas de ingeniería.

2.2.8. Cambio de energía de un sistema

“Para calcular el cambio de energía de un sistema durante un proceso se requiere evaluar la energía del sistema al principio y al final del proceso y encontrar su diferencia”. (Yunus A. & Michael A., 2006).

$$\Delta E_{sistema} = E_{final} - E_{inicial} = E_2 - E_1 \quad (3)$$

Donde:

$\Delta E_{sistema}$: Cambio de energía de un sistema

E_{final} : Energía final de un sistema

$E_{inicial}$: Energía inicial de un sistema

Observamos que la energía es una propiedad y su valor no cambia hasta que cambie el estado del sistema. Por lo tanto, si el estado no cambia durante el proceso, el cambio de energía del sistema es cero. Además, es factible que la energía pueda manifestarse en múltiples formas: interna (sensible, latente, química y nuclear), cinética, potencial, eléctrica y magnética. Todas estas formas forman la energía total E de un sistema. En sistemas comprensibles simples sin efectos eléctricos, magnéticos y de tensión superficial, el cambio en la energía total del sistema durante un proceso es la suma de los cambios en sus energías internas, cinéticas y potenciales, y se expresa de la siguiente manera.

$$\Delta U = m(u_2 - u_1) \quad (4)$$

$$\Delta EC = \frac{1}{2} m(V_2^2 - V_1^2) \quad (5)$$

$$\Delta EP = mg(z_2 - z_1) \quad (6)$$

Donde:



- ΔU : cambio de energía interna
- ΔEC : cambio de energía cinética
- ΔEP : cambio de energía potencial

Los valores de las energías internas específicas u_1 y u_2 se obtienen directamente de las tablas de propiedades o de las relaciones de propiedades termodinámicas cuando se especifican los estados inicial y final.

La mayoría de los sistemas que se encuentran en la práctica son estacionarios, lo que significa que no están involucrados en cambios de velocidad o elevación durante un proceso. Por lo tanto, los cambios en la energía cinética y el potencial son cero para sistemas estacionarios. ($\Delta EC = \Delta EP = 0$), y de la relación de cambio de energía total en la ecuación (7).

$$\Delta E = \Delta U + \Delta EC + \Delta EP \quad (7)$$

$$\Delta EP = mg(z_2 - z_1) \quad (8)$$

Incluso si solo una forma de energía de un sistema cambia mientras que las demás permanecen sin cambios, la energía del sistema cambiará durante un proceso.

2.2.9. Mecanismos de transferencia de energía

La energía puede transferirse hacia o desde un sistema en tres formas diferentes: calor, trabajo y flujo másico. Los límites del sistema cuando se cruzan indican la influencia recíproca de energía, que representa la energía que gana o pierde un sistema durante un procesamiento. Las transferencias de calor y trabajo son las únicas dos formas de influencia recíproca de la energía relacionadas con una masa fija o sistema cerrado.



Transmisión de calor: Q , La ganancia de calor, o transferencia de calor hacia un sistema, aumenta la energía de las moléculas y, por lo tanto, la del sistema. La pérdida de calor, o transferencia de calor desde un sistema, reduce la energía del sistema, ya que la energía transferida como calor proviene de la energía de las moléculas del sistema.

Trabajo transferido, W El trabajo es una interacción de energía que no es causada por una diferencia de nivel térmico entre un sistema y sus alrededores. Las interacciones de trabajo incluyen un embolo ascendente, un eje rotatorio y un alambre eléctrico que atraviesa la frontera del sistema. La transferencia de trabajo a un sistema (trabajado sobre un sistema) aumenta la energía del sistema, mientras que la transferencia de trabajo desde un sistema (trabajado por un sistema) la reduce. Esto se debe a que la energía transferida como trabajo proviene de la energía que ya existe en el sistema. Los compresores, las bombas y los mezcladores consumen trabajo, mientras que los motores de automóviles y las turbinas hidráulicas, de vapor o de gas generan trabajo.

Flujo de masa másico, m Un método adicional de transferencia de energía es el flujo que entra y sale del sistema. Debido a que la masa lleva consigo energía, cuando la masa ingresa a un sistema, aumenta su energía. De manera similar, la energía disminuye cuando una cantidad de masa sale del sistema porque la masa que sale lleva consigo algo. Por ejemplo, una interacción de masa reduce el contenido de energía del tanque de agua caliente (el volumen de control) cuando una cantidad específica de agua caliente sale de un calentador y es reemplazada por agua fría en la misma cantidad.

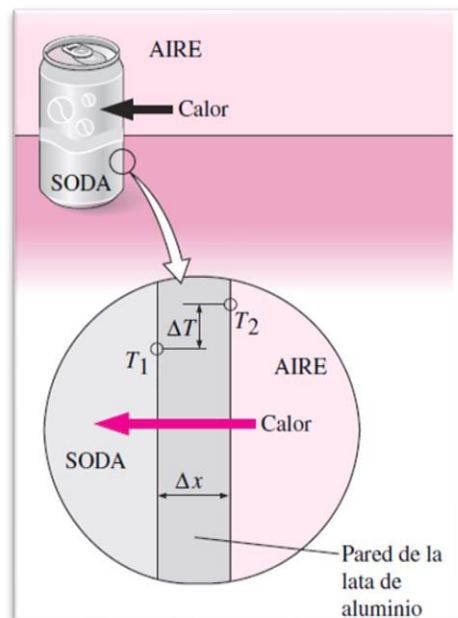
El balance de energía se puede expresar de manera más explícita porque la energía puede ser transferida en las tres formas de calor, trabajo y masa, y su transferencia neta es igual a la diferencia entre las cantidades transferidas hacia adentro y hacia fuera.

El calor podemos transferir de tres formas distintas: conducción, convección y radiación.

La transferencia de energía de las partículas más energéticas de una sustancia a las partículas menos energéticas cercanas se conoce como conducción. En sólidos, líquidos y gases, la conducción se debe a las colisiones de moléculas durante su movimiento aleatorio. En sólidos, la conducción se debe a la vibración de las moléculas en una red y al transporte de energía por electrones libres.

Figura 2

Conducción de calor de aire a una lata fría través de la pared de aluminio



Nota: tomada de Yunus y Michael (2006)

Por ejemplo, la transferencia de calor de una bebida fría a través de la lata de aluminio eleva la temperatura del ambiente cuando se encuentra en un ambiente caliente.

La tasa de conducción de calor Q_{cond} por una capa de espesor constante Δx es proporcional a la diferencia de temperatura ΔT en la capa y el área a normal a la dirección de transferencia de calor, mientras que es inversamente proporcional al espesor de la capa. Por lo tanto, (Yunus A. & Michael A., 2006).

$$\dot{Q}_{cond} = k_t A \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad (9)$$

“Donde el constante de proporcionalidad k_t es la conductividad térmica del material, la cual es una medida de la capacidad del material para conducir calor. Materiales como el cobre y la plata, que son buenos conductores eléctricos, también lo son para calor y por ende tiene valores altos de k_t . El hule, la madera y el polietileno son malos conductores del calor y el cual tienen valores bajos de k_t ”. (Yunus A. & Michael A., 2006).

En el caso límite de $\Delta x \rightarrow 0$, la ecuación anterior se reduce a la forma diferencial.

$$\dot{Q}_{cond} = -k_t A \frac{dT}{dx} \quad (10)$$

La ley de Fourier de conducción de calor demuestra que la tasa de conducción de calor en una dirección es proporcional al gradiente de temperatura en esa misma dirección. El calor se mueve en la dirección de la temperatura decreciente a medida que la temperatura disminuye a medida que aumenta x , y el



gradiente de temperatura se vuelve negativo. Por esta razón, se agrega un signo negativo a la ecuación para que transfiera calor en la dirección x positiva.

Una medida de la energía cinética de las moléculas es la temperatura. Esta energía proviene del movimiento aleatorio de las moléculas en un líquido o gas, así como de sus movimientos de rotación y vibración. Cuando dos moléculas tienen energías cinéticas diferentes chocan, parte de esta energía proviene de la molécula más energética (mayor temperatura), de forma muy similar a cuando dos bolas elásticas de igual masa chocan a diferentes velocidades: La bola más lenta recibe parte de la energía cinética de la bola más rápida.

La conducción de calor en los sólidos se debe a la combinación de dos fenómenos: las vibraciones periódicas de las moléculas en la red cristalina, que generan ondas de calor, y el movimiento de electrones libres que transportan energía. La conductividad térmica de un sólido es el resultado de la suma de estas dos contribuciones. La conductividad térmica de los metales puros se debe principalmente a la contribución de la red cristalina, que a su vez depende de la disposición de las moléculas. Por ejemplo, el diamante, un sólido cristalino altamente ordenado, tiene una conductividad térmica mucho mayor que la de los metales puros, debido a su estructura molecular ordenada.

La convección es un proceso de transferencia de energía que ocurre entre una superficie sólida y un fluido (líquido o gas) en movimiento. Este proceso combina la conducción y el movimiento del fluido, y la velocidad del fluido es clave para determinar la tasa de transferencia de calor. A mayor velocidad del fluido, mayor es la transferencia de calor por convección. Si no hay movimiento de fluido, la transferencia de calor se debe únicamente a la conducción. Sin

embargo, cuando hay movimiento de fluido, la transferencia de calor se incrementa, pero también se vuelve más compleja de calcular debido a la interacción entre la superficie sólida y el fluido en movimiento.

La radiación es una forma de transferencia de energía que se produce cuando la materia emite ondas magnéticas debido a cambios en la configuración electrónica de las moléculas. A diferencia de la conducción y la convección, la radiación no requiere la presencia de un medio para transferir energía. Esta forma de transferencia es la más rápida, ya que se propaga a la velocidad de la luz, y no se ve afectada por la presencia de un vacío. De hecho, la radiación es el medio por el cual la energía del sol llega a la Tierra, viajando a través del espacio vacío.

2.2.10. Calefacción

“Es un sistema que tiene como función elevar la temperatura de un ambiente ya sea un edificio, una oficina o un almacén que requiera aumentar la temperatura de espacios helados. Siendo el objetivo central regular la pérdida de calor del cuerpo humano durante las épocas más frías del año, calentando el ambiente con el fin de establecer una igualdad térmica entre el cuerpo y el ambiente que le rodea para así obtener el máximo bienestar fisiológico y térmico.

Desde hace mucho el hombre ha tenido la necesidad de variar el clima de un ambiente ya sea para confort de sí mismo o para casos industriales, utilizando distintas fuentes de energía los cuales se disponían en grandes cantidades y costos bajos, los cuales ahora son escasas y costos cada vez más elevadas. De esta manera se da más importancia a la eficiencia energética”. Salinas (2020).

Dentro de un idóneo sistema de calefacción se deben cumplir con ciertas condiciones:



- La temperatura ambiente razonable dentro del espacio calentado debe ser uniforme, tanto vertical como horizontalmente, y la temperatura debe mantenerse entre 20 y 30°C durante el funcionamiento, con una variación mayor o menor de 1°C.
- La temperatura sensitiva de la calefacción debe ser regulable dentro de límites precisos y tener una respuesta rápida con mínima inercia.
- La temperatura razonable del sistema de calefacción debe poder regularse dentro de ciertos límites, esta regulación debe tener la menor inercia posible, es decir, debe conseguirse una respuesta rápida.
- El sistema de calefacción no debe dañar el aire del espacio a calentar, es decir, no debe producir polvo, olores, gases, vapores o ruidos desagradables.

Los sistemas de calefacción deben ser económicos de instalar, operar y mantener.

2.2.10.1. Tipo de aislamiento de calefacción

“La calefacción es una forma práctica de lograr un calentamiento continuo y controlable para que la sensación de calidez y comodidad del calor se pueda sentir en el ambiente de vida, especialmente en invierno cuando el calor se reduce significativamente.”. Salluca y Mamani (2021).

Se tiene los siguientes sistemas más usuales.

- Sistemas de agua caliente
- Sistemas de aire caliente
- Sistemas por vapor de agua
- Sistemas por fluido térmico



- Calefacción eléctrica
- Sistemas de energía solar
- Bombas de calor
- Sistemas combinados

“Hay muchas alternativas a la hora de elegir un sistema de calefacción, antes de realizarlo, hay algunas cosas a considerar”:
Appelhans y Perring (2019)

Disponibilidad de combustible: Se debe elegir un sistema de calefacción que funcione con un combustible que se disponga en la zona, además esta deberá de ser de un costo bajo y amigable con el medio ambiente.

Si se elige un sistema de gas natural, analice la ubicación de la casa en relación con la red de distribución.

- Zona climática: si la zona es fría será necesario un sistema para mantener el calor constante, y si la zona es calurosa será más beneficioso un sistema de calefacción alterno o puntual. La necesidad de la vivienda y sus habitantes: se debe tener en cuenta el espacio disponible, el número de horas trabajadas en la vivienda y la edad de los miembros de la familia.
- Costos directos e indirectos: para analizar y comparar precios se deben tener en cuenta los costos económicos (precios de los combustibles seleccionados y consumo estimado), los costos de uso, el mantenimiento posterior que requerirá el sistema, los costos de inversión inicial y los beneficios que se dan a posteriori. porque



si técnicamente un producto es más eficiente, su aporte energético puede ser mayor.

2.2.10.2. Calefactores eléctricos

- Estufas a cuarzo y lumínicas en general: El calor que desprenden es muy fuerte, pero local y con un alto consumo de energía eléctrica, se recomiendan solo para calefacción local.
- Radiadores de aceite portátiles: funcionan a través de resistencias que calientan el aceite dentro del dispositivo. Disponen de un termostato para regular el consumo energético y la producción de calor. Se pueden trasladar de un ambiente a otro con mucha facilidad, por lo que son ideales para viviendas de pocos habitantes, pero el caudal de energía térmica que aportan es bajo y debido a su generación indirecta de calor, por lo que se propagan más lentamente al ambiente debido a que el interior El aceite es lento para generar calor.
- Vitro convectores: Son una buena alternativa ya que combinan un elemento decorativo con una eficiencia energética aceptable. Son transportables, se pueden fijar a la pared cubriendo todas las alternativas y no tienen ventiladores ruidosos.

2.2.10.3. Calefactores por agua caliente

- Radiadores: el agua caliente del sistema pasa a través de las tuberías a los radiadores y el agua circula dentro de ellos, esto permite una alta tasa de calentamiento. Actualmente, los radiadores que reúnen mejores condiciones de fiabilidad y coste son los de



aluminio, siendo su lugar idóneo tanto en construcciones nuevas como en viviendas existentes.

- Zócalos calefactores: se utilizan para la calefacción central de agua y son uno de los sistemas más innovadores. Para instalarlo, se requieren pequeños orificios para atravesar un tubo delgado y levantar los tacos existentes. Son silenciosos, no se secan y brindan un calor agradable, pero en general son costosos tanto de instalar como de operar.
- Piso radiante: la tubería instalada debajo del piso, piso de baldosas o cualquier otro material, a través de la cual fluye el agua de 0 o 50 grados generada en el sistema. El calor se distribuye uniformemente por toda la casa, irradiando desde el suelo hasta una altura de 2-3 m. Se instalan dispositivos de control manual o automático para que la temperatura se pueda ajustar para cada habitación. Un punto a favor es que no hay chimenea a la vista, lo que beneficia a la decoración. Se recomienda su instalación en obra nueva. Sus desventajas son el alto costo tanto de la instalación como de los suministros operativos y la posibilidad de filtraciones en el piso debido a roturas.

2.2.10.4. Calefactores a leña

La calefacción a leña es un sistema que sólo funciona si disponemos de nuestro propio combustible, ya un bajo costo, ya que la eficiencia es en la mayoría de los casos muy baja y la quema y disposición de residuos sólidos contaminan el medio ambiente. Los resultados de



calentamiento, evaporación de humo y retención dependerán de la construcción y el diseño de la chimenea.

La calefacción a leña se podría dar en la región de puno puesto que en las zonas rurales se quema bastante leña o bosta de animales, con un diseño adecuado de las chimeneas este tipo de calefacción serian viables, ya que hay muchas familias que no cuentan con recursos para poder adquirir cualquier sistema de calefacción antes mencionadas.

2.2.10.5. Sistemas combinados

Con la creciente oferta de productos basados en energías renovables, principalmente la energía solar, y el aumento del precio de la electricidad y el gas natural, es posible ver una gran aceptación en el mercado de estos productos, como termotanques y paneles solares. En el caso de los acumuladores de agua caliente solar, han ganado popularidad no solo para calentar ACS sino también como complemento a sistemas convencionales como acumuladores de agua caliente a gas/eléctricos, gas y calderas.

Este escenario abre un panorama mucho más amplio para esta categoría de productos, ya que se puede ofrecer como una alternativa a la calefacción en las combinaciones mencionadas.

2.3. COMPONENTES DE UN SISTEMA DE CALEFACCIÓN CON RADIADORES

2.3.1. Fuente de energía

“La energía solar es energía renovable, obtenida del aprovechamiento de la radiación electromagnética del sol. La radiación solar que llega a la Tierra se



utiliza a través de varias tecnologías que se han desarrollado. Varios sensores, como células fotovoltaicas, helióstatos y sensores térmicos, actualmente pueden aprovechar el calor y la luz solar para producir energía eléctrica o térmica. Es una de las energías conocidas como renovables o limpias que puede ayudar a resolver algunos de los problemas más importantes que enfrenta la humanidad en la actualidad". Berrios y Hancco (2017).

Una caldera es un aparato interno donde el combustible se quema y el calor liberado se transmite al agua, calentando el agua. Este componente es responsable de calentar el agua para satisfacer las necesidades de calefacción, así como la parte correspondiente con el agua caliente sanitaria porque es necesario.

Las calderas pueden ser diseñadas para quemar diferentes tipos de combustibles como los derivados de petróleo, gas natural entre otros. En los sistemas combinados las calderas se usan para el caso en el que el aporte solar o eléctrico sea nulo. La potencia que nos debe dar la caldera será la potencia total disipada en los radiadores, es decir, todas las pérdidas de calor de las estancias de la casa, además de las pérdidas eléctricas que se producen en las tuberías.

$$\text{Potencia caldera} = (Q_{\text{radiadores}} + Q_{\text{tuberías}} + Q_{\text{acs}}) \cdot 1,25 \quad (11)$$

“La calefacción es una forma práctica de lograr un calentamiento continuo y controlable para que la sensación de calidez y comodidad del calor se pueda sentir en el ambiente de vida, especialmente en invierno cuando el calor se reduce significativamente.”. Salluca y Mamani (2021).

2.3.2. Distribuidores del sistema

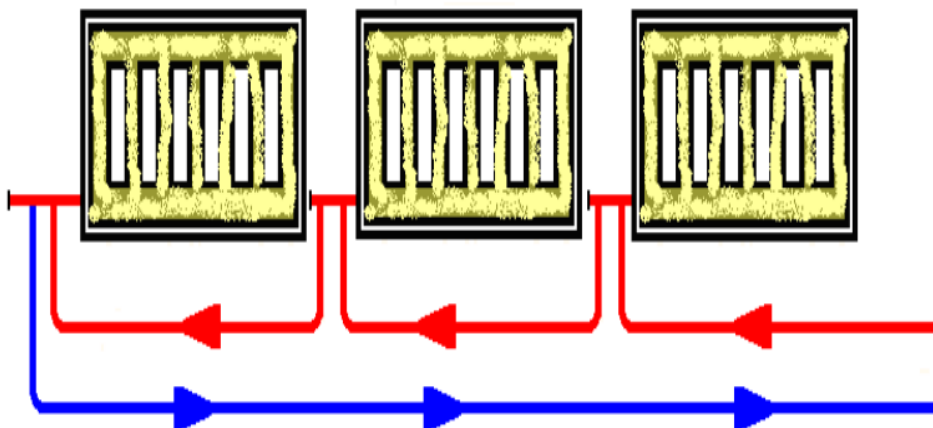
“El sistema consiste esencialmente en un bucle simple que inserta emisores a lo largo de su camino. Los emisores están conectados a "bucles" donde

se conectan al bucle simple en un punto, donde se ubica una válvula doble que permite la conexión y regulación de las tuberías de entrada y salida. Las tuberías son normalmente de diámetro constante. Es adecuado para pequeñas instalaciones. No se recomienda colocar más de siete radiadores en el mismo anillo.

En un sistema mono tubo, los radiadores (o emisores) se colocan en serie, es decir, el flujo de retorno del primer radiador actúa como el flujo del segundo radiador y el flujo de retorno del radiador trasero actúa a su vez como el flujo del tercer radiador, y así sucesivamente. Consecutivamente hasta que regrese a la fuente, el mismo flujo de agua a través del primer radiador continuará hasta la última parte, debido a que es un circuito en serie, el agua caliente proveniente de la bomba de circulación debe pasar por todas las tuberías, por lo que la sección transversal no puede ser reducido en el circuito hidráulico, montándose todas las tuberías con el mismo diámetro”. Fernández y Ramos (2011).

Figura 3

Sistema monotubular



Nota: tomada de Fernández y Ramos (2011)

“En este sistema bitubulares, el agua que ha pasado por el radiador no será reutilizada como en un sistema monotubo, sino que será recogida por una red paralela para ser redirigida a la caldera. En este sistema, el número de radiadores no está limitado. Es adecuado para grandes instalaciones.

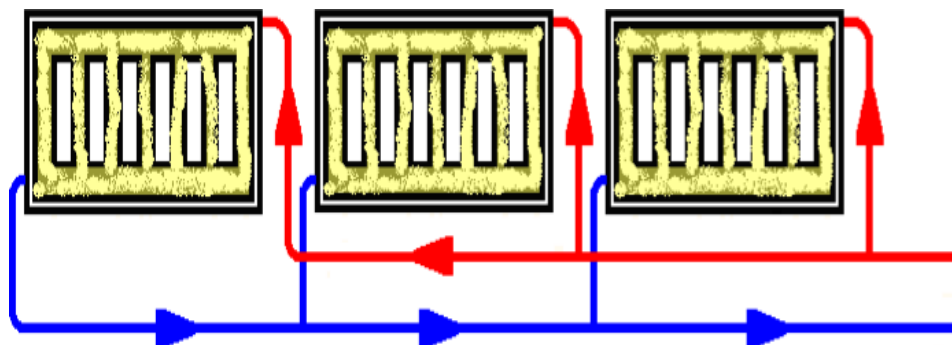
Un sistema de dos tubos coloca radiadores (calentadores) en paralelo, y cada disipador recibe el agua necesaria, distribuyendo el resto del agua a los demás radiadores. Una instalación bitubo es un sistema de distribución el cual consiste en la utilización de dos tubos, uno de ida y otro de retorno donde se conectan los emisores.

Los radiadores se conectan siempre de tal manera que el agua entre por la parte superior y salga por la parte inferior. La temperatura del agua de entrada de cada radiador en este tipo de instalación es prácticamente constante. Este es un sistema mejor, pero es más caro porque necesita dos tuberías más.

Para viviendas con no más de cuatro radiadores se utiliza un sistema unitario; superando este número de emisores, se utiliza siempre un sistema bitubo”. Fernández y Ramos (2011).

Figura 4

Sistema bitubular



Nota: tomada de Fernández y Ramos (2011)



Un radiador es un intercambiador de calor cuyo trabajo es transferir calor a las estancias que desea calentar en su hogar o local.

Cuando un radiador tiene la función contraria, la extracción de calor de una habitación se denomina radiador. En un radiador, la mayor parte del calor se intercambia por convección. La producción de calor de un radiador depende de la diferencia de temperatura entre su superficie y su entorno, así como de la cantidad de superficie en contacto con este medio.

Cuanto mayor sea la superficie de intercambio y mayor sea la diferencia de temperatura, mayor será el intercambio.

Parte del calor transferido por radiación desde el radiador a través de su superficie, a una temperatura superior a la de las superficies de la base, les cede calor. Otra parte de la transferencia se debe a la convección que, al calentar el aire cercano a través de las aletas, sube y crea circulación de aire.

El agua caliente entra al radiador por un extremo y sale por el otro, con una diferencia de temperatura de unos 10 a 20 grados. La cantidad de calor transferido será el producto del flujo de agua a través del radiador y la diferencia de temperatura entre la entrada y la salida.

En la construcción de los radiadores los materiales más utilizados en el mercado son:

- Hierro fundido
- Chapa de Acero
- Aluminio (fundido a presión o extrusionado)

La energía emitida por los radiadores está dada por la siguiente expresión.



$$Q_{\text{rad}} = m_{\text{rad}} \cdot C_{p,\text{f.rad}} (T_{\text{in.rad}} - T_{\text{uot.rad}}) \eta_{\text{rad}} \quad (12)$$

Dónde:

- Q_{rad} : Energía emitida por los radiadores.
- m_{rad} : Flujo de masa.
- $C_{p,\text{f.rad}}$: Calor específico de fluido.
- $T_{\text{in.rad}}$: Temperatura de entrada del fluido al radiador.
- $T_{\text{uot.rad}}$: Temperatura de salida de fluido.
- η_{rad} : Eficiencia del radiador.

2.3.3. Sistemas de almacenamiento de energía térmica

Dado que la energía térmica requerida para un material de transición de fase es alta, en comparación con la energía requerida para elevar su temperatura por este mismo elemento, buscamos capitalizar este potencial para usarlo en el almacenamiento de calor. El material utilizado para este fin se conoce como "material de cambio de fase" o "PCM", que corresponde a sus siglas en inglés (phase change material)". Appelhans y Perrig (2019).

2.3.4. Almacenamiento térmico

Actualmente se están estudiando tres opciones de almacenamiento de energía térmica.

- Por calor sensible: utilizando (agua, rocas, entre otros) por aumento o descenso de la temperatura del material acumulador.
- Por calor latente: (hielo, parafinas, sales hidratadas, entre otros) aprovechando la entalpia asociada a un cambio de fase.
- Por reacción química (zeolita + agua, reacciones, entre otros), aprovechando en calor puesto en juego en la reacción.



- Actualmente se están estudiando tres opciones de almacenamiento de energía térmica.

2.3.5. Almacenamiento por calor sensible

“El calor se almacena en la mayoría de las aplicaciones en baños de agua o hielo como calor perceptible. El agua tiene muchas ventajas como material de almacenamiento (barato, fácilmente disponible, no tóxico y también tiene buenas propiedades físicas, como la capacidad de almacenar calor y alta conductividad térmica), por lo que a menudo se usa en sistemas de almacenamiento centralizado en los sistemas de calefacción o en sistemas solares como fluido de transferencia de calor. Pero el almacenamiento de energía térmica en forma de calor detectado también tiene ciertas desventajas porque a medida que aumenta la temperatura con la cantidad de calor almacenado, aumenta la pérdida de energía. Así, para evitar grandes pérdidas de calor, el contenedor del material de almacenamiento de calor debe tener un aislamiento adecuado para reducir la transmisión y con ella la pérdida de energía, aumentando el costo del almacenamiento de energía térmica”. Ramírez (2009).

2.3.6. Almacenamiento por calor latente

“Otra posibilidad de almacenar calor es en forma de calor latente. Es la cantidad de energía almacenada en un material cuando cambia su estructura molecular, fase o estado de hidratación. El cambio de fase puede ser entre fase sólida y líquida o entre fase líquida y gaseosa. Pero también puede ser un cambio en la estructura sólida, como pasar de una estructura cristalina a una amorfa; o introduzca la cantidad de agua absorbida en un material. Dado que el volumen de un material aumenta mucho más cuando se pasa de líquido a gas, la transición

líquida/gas normalmente no se utiliza para el almacenamiento de calor latente”.

Ramírez (2009).

En tabla (1) se comparan la capacidad de almacenamiento térmico en diferentes sustancias. Para una energía almacenada =1000MJ o 278KWh, con cambio de T= 15°C.

Tabla 1

Cantidad de material requerido para equivalente de masa térmica

Material	Masa (kg)	Masa Relativa	Volumen (m³)	Volumen Relativo
Grava	67,000	22	30	10
Agua	16,000	5,3	16	5,3
Material de cambio de fase orgánico	5,300	1,8	6,6	2,2
Material de cambio de fase inorgánico	4,350	1,5	2,7	0,9
Hielo	3,000	1,0	3	1,0

Nota: comparación de almacenamiento de varias sustancias. Ramírez (2009)

2.3.7. Almacenamiento por reacción química

Una reacción termoquímica tiene la capacidad de acumular energía dependiendo de la reacción.

“Uno de ellos es el uso de sales, como el sulfato de sodio y el agua. La sal se puede deshidratar por el calor solar. Esto almacena energía térmica y esta energía se puede recuperar agregando vapor a la sal. El concepto funciona en teoría y en el laboratorio, pero hay problemas con la corrosión y el arrastre de aire cuando la sal deshidratada se almacena al vacío. Estas reacciones se combinan con el efecto bomba de calor”. Ramírez (2009).



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. TIPO DE DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

En este apartado presentamos el tipo de investigación, así también como el diseño metodológico planteado.

3.1.1. Tipo de investigación

El enfoque de nuestra investigación es de un tipo experimental

3.1.2. Diseño de investigación

El diseño de nuestra investigación es experimental, porque realizamos la recolección de información en tiempo real que provienen del sistema de acumulación térmica cuando el sistema de calefacción entra en operatividad y el modo deductivo al obtener conclusiones para determinar el comportamiento de la transferencia de calor del sistema de acumulación térmica hacia el sistema de calefacción.

3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA DE LA INVESTIGACIÓN

3.2.1. Población

Ñaupas et al. (2018), explican como el conjunto de unidades de estudio que tienen las características necesarias para ser consideradas como tales. Estas unidades pueden ser individuos, grupos de objetos, hechos o fenómenos que cumplen con los requisitos de investigación. No obstante, para este trabajo de la investigación está definido por la información que se obtiene del sistema y por las características que presenta la tesis durante un periodo de tiempo desde el 16 julio al 06 de setiembre del 2024.



3.2.2. Muestra

Ñaupas et al. (2018), explican que la muestra es como una porción de la población que por lo tanto tienen características necesarias para la investigación, es suficientemente clara para que no haya confusión alguna. En ese entender la muestra para la investigación ha sido la recolección de datos registrada durante un periodo desde el 16 julio al 06 de setiembre del 2024. Tomando una muestra el día jueves 25 de julio de 2024 y 04 de setiembre de 2024. Días que presentaron variabilidad climatológica y permitió analizar y recopilar datos del sistema de acumulación térmica para un sistema de calefacción mediante radiadores de agua.

3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.3.1. Lugar de estudio

En la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica, específicamente en el laboratorio de Control y automatización es donde se instaló un sistema de acumulación térmica para un sistema de calefacción mediante radiadores de agua, donde también se recolectó datos cuando entro en operatidad el sistema.

3.3.2. Diseño de muestreo

Para poder definir las características de operación y eficiencia del sistema de acumulación térmica para un sistema de calefacción mediante radiadores de agua, es de suma importancia la recolección de datos y las variables que intervienen en el sistema, por lo que el experimento consiste en analizar el sistema de acumulación de calor que transfiere al sistema de calefacción y de controlar el sistema de acumulación del sistema de calefacción, midiendo diversos parámetros para luego analizar e interpretar la información que nos proporciona el experimento.

3.3.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

La recolección de datos se realizó en el laboratorio de control y automatización, los cuales se realizan con sensores de temperatura los cuales están debidamente instalados en el sistema y conectados al módulo del PLC, adecuadamente programado para la recolección de datos.

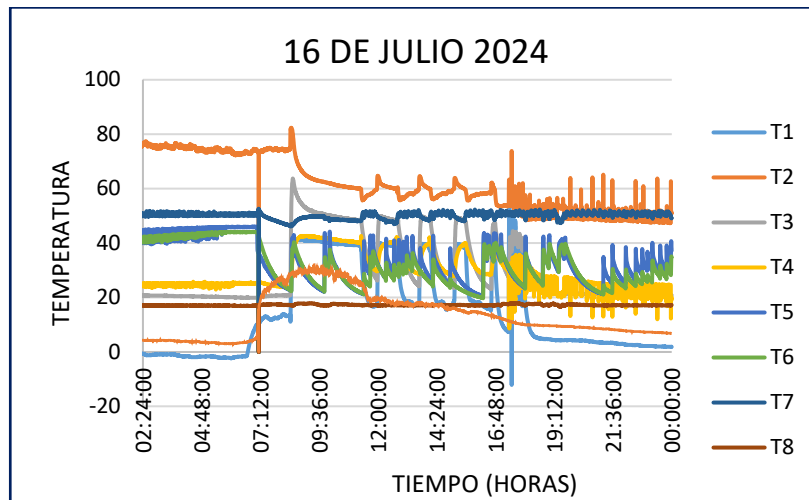
3.3.4. Procedimiento de recolección de datos

Para el procedimiento se siguieron los pasos siguientes:

- Se buscó información teórica y práctica de formas de cómo realizar un análisis adecuado en el acumulador de calor.
- Adquirimos los materiales y equipos para poder realizar el respectivo montaje de los sensores y equipos en los diferentes puntos del acumulador de calor y en el sistema de calefacción mediante radiadores de agua que se tiene en el laboratorio de control y automatización de la escuela profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica.
- Para obtener datos y poder recolectarlos, se utilizó un controlador lógico programable donde se realizó la programación para cada uno de los sensores para interactuar con el sistema, sensor de temperatura, electrobomba y módulo PLC.
- Una vez recibida la señal, empezará a calentar el agua del acumulador poco a poco. Como modelo de ello podemos apreciar en la figura (5) donde se puede comparar los diferentes valores de temperaturas medidos (temperatura ambiente, temperatura exterior, temperatura en la entrada y salida del radiador, temperatura de salida de acumulador térmico, entre otros) respecto al tiempo.

Figura 5

Gráfico de datos de medición obtenidos del PLC



Nota: gráfico de datos obtenidos del día 16 de julio 2024 en el laboratorio de control y automatización de la temperatura en función al tiempo.

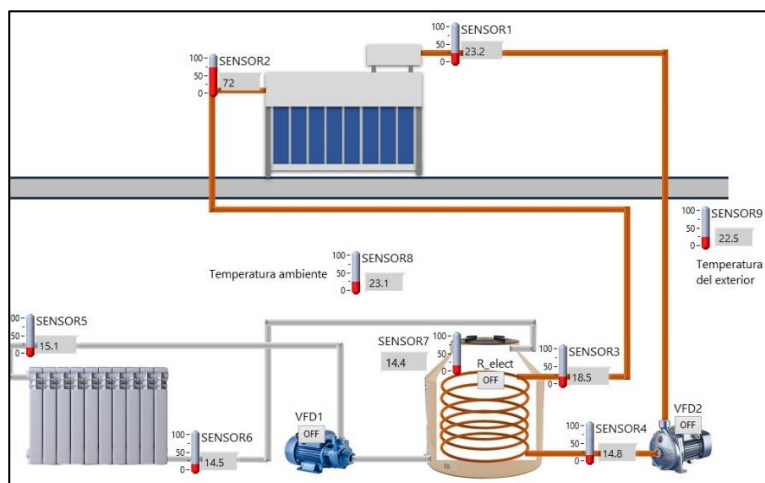
3.4. EQUIPOS, MATERIALES E INSTRUMENTOS UTILIZADOS

3.4.1. Materiales

Para la evaluación energética de un acumulador térmico de un sistema de calefacción mediante radiadores de agua, mostramos primeramente el diagrama del sistema de calefacción, para luego detallar los materiales que utilizamos.

Figura 6

Diagrama del sistema de calefacción mediante radiadores de agua



Nota: en la figura se muestra los diferentes componentes del sistema de calefacción mediante radiadores

3.4.1.1. Tanque térmico para agua

Tanque de plástico de polietileno de alta densidad con una capacidad de 250 litros, resistente a productos químicos con cierre tapa.

Tabla 2

Especificaciones técnicas de tanque térmico

Datos generales del tanque	
-Peso	: 8 Kg
-Dimensiones	: 83 x 70 x70 cm
-Material	: Polietileno
-Tipo	: Tanque
-Capacidad total (L)	: 250

Nota: datos obtenidos de catálogo del fabricante

Figura 7

Recipiente de agua



Nota: tanque instalado en el sistema de calefacción mediante radiadores de agua en el laboratorio de control y automatización

3.4.1.2. Terma solar

El rendimiento de la terma solar depende de los factores climáticos y de los hábitos de uso por los usuarios.

Tabla 3

Especificaciones técnicas de terma solar

Datos generales de terma solar	
-Capacidad	: 160 L
-Cantidad de tubo	: 12
-Área de absorción	: 1.13 m ²
-Diámetro del tanque	: 460 mm
-Tanque interno: acero inoxidable de grado alimenticio SUS304-2B	0.5mm espesor
-Tanque externo: acero inoxidable SUS304 de alta calidad	0.4mm espesor
-Tubo de vacío: revestimiento selectivo de tres capas Cu/SS-ALN	
Soporte: acero inoxidable SUS 304 en forma de 1.5mm, para instalación en techos inclinados y planos.	
-Prueba de fugas: tanque sumergido en agua con prueba de presión de 0.5 bar	
-Conector: todas las conexiones son de 3/4" npt.	

Nota: datos obtenidos de catálogo del fabricante

Figura 8

Terma solar



Nota: terma solar instalado en el sistema de calefacción mediante radiadores de agua

3.4.1.3. Sensor de temperatura

Se han utilizado sensores PT 100, estos son un tipo de detector de temperatura RTD (detector de temperatura por resistencia). Las características que tiene el PT100 es que están fabricados de platino con resistencia de 100 ohmios a una temperatura de 0°C, este es el tipo más común de sensor RTD.

Figura 9

Sensor de temperatura PT-100



Nota: sensor instalado en diferentes partes del sistema de calefacción mediante radiadores de agua

3.4.1.4. Control lógico programable (PLC)

El controlador lógico programable (PLC), son dispositivos comúnmente usados en la automatización industriales y mineras. Un PLC controla la lógica de funcionamiento de las plantas, máquinas y proceso industriales, donde procesan y reciben señales digitales y analógicas y pueden aplicar estrategias de control.

Tabla 4

Especificaciones técnicas de controlador lógico programable

Datos generales de controlar lógico programable	
-Tipo de producto	: Autómata programable
-Tensión de alimentación	: 220V AC
-De pie conducto	: 14, entrada discreta 8 entrada rápida acorde a la IEC 61131-2 tipo 1
-Tipo de salida digital	: Relé transistor
-Número de salidas discretas	: 6 relé : 4 transistor de 4 salida rápida
-Tensión de salida	: 5...125 V CC para salida de relé : 5...250 V CA para salida de relé : 24V CC para salida transistor : 2 A para salida de relé – tipo de cable: Q4...Q9
-Montado en la pared del conducto	: 0.1 A para salida rápida (modo PTO) – tipo de cable: TR0...TR3 : 0.5 A para salida transistor – tipo de cable: TR0...TR3
Complementario	
-Número de E/S digitales	: 24
-Número de E/S del módulo de expansión	: 7 – tipo de cable: local : 14 – tipo de cable: remoto
-Límites de tensión alimentación	: 85...264 V
-Frecuencia de red	: 50/60 Hz
-Entrada lógica	: Recep. O fuent.
-Tensión de entrada digital	: 24 V
-Tipo de voltaje entrada discreto	: CC
-Estado de tensión 1 garantizado	: ≥ 15 V para entrada
-Estado de tensión 0 garantizado	: ≤ 5 V para entrada
-Corriente de entrada discreta	: 50 mA para entrada
-Tapa de conexiones trasero	: 4.7 kOhm para entrada
-Tiempo respuesta	: 50 μ s turn-on, I0...I13 terminales para entrada

Nota: datos obtenidos de catálogo del fabricante de controlador lógico programable,

Modicon M241,24 IO relay Ethernet

El módulo de PLC (controlador lógico programable), es una unidad funcional que se puede conectar a un PLC para expandir sus capacidades y mejorar su flexibilidad, permitiendo una mayor eficiencia y productividad en la automatización. Tiene módulos de entrada, de salida, de comunicación Ethernet, de procesamiento de señales y control de movimiento.

Figura 10

Controlador lógico programable, Modicon M241, 24 IO relay Ethernet



Nota: controlador lógico programable instalado para interactuar con el sistema

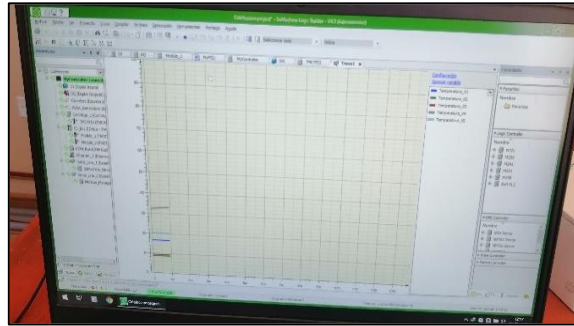
El controlador lógico programable Modicon M241, es un dispositivo de automatización producido por Schneider Electric, que presenta algunas características y especificaciones.

3.4.1.5. Laptop

Se utilizó para poder monitorear el sistema de calefacción y el acumulador térmico mediante el PLC y así poder recolectar datos, con sistema Windows Core i7, marca TOSHIBA.

Figura 11

Laptop TOSHIBA



Nota. laptop para el monitoreo del controlador lógico programable.

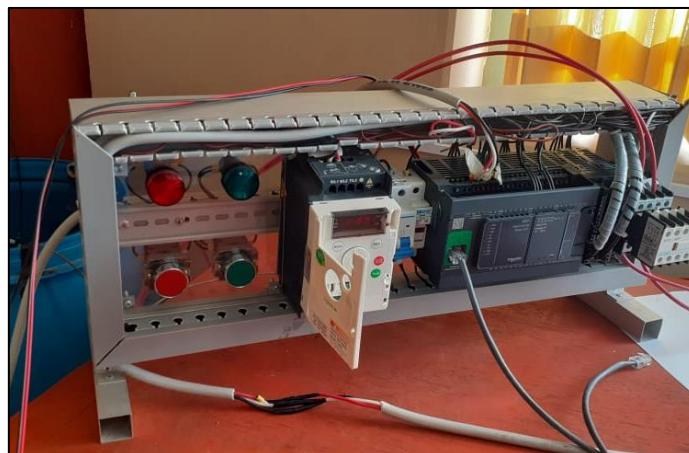
3.4.1.6. Módulo de PLC y sus componentes

Nuestro módulo es el controlador de todo el sistema de calefacción donde se instaló los componentes que mencionamos a continuación.

- Contactor
- Cables
- Temporizadores
- Termomagnéticos
- Variador de velocidad

Figura 12

Módulo de PLC



Nota: módulo de control del sistema de calefacción mediante radiadores de agua

El módulo de PLC nos permitió conectar sensores al PLC, mediante su modelo de entrada y salida. Mediante su módulo de función específica podemos controlar la temperatura de los diferentes puntos donde está ubicado e instalado nuestros sensores y obtener datos en tiempo real para su mejor evaluación energética.

3.4.1.7. Tubería para agua

Las tuberías que se utilizaron son tuberías que están destinadas a la conducción de agua caliente y agua fría, con rosca clase 10 de polipropileno, que son ideales para uso en vivienda, gracias a sus capas tienen una alta resistencia química y a corrientes parasitas y galvánicas, baja pérdida de cargas, aislación acústica y una baja conductividad térmica el cual aplicamos en nuestro proyecto.

Figura 13

Tubería de polipropileno roscable para agua caliente de 1/2"



Nota: tomada de <https://inyectoplast.com.pe/wp-content/uploads/2023/12/Tubos-PPH.webp>

La tubería de polipropileno (PPR), son tuberías fabricadas con polipropileno, se utiliza comúnmente en suministros de agua. Son muy ligeras y fáciles manejar y tiene una variedad de aplicaciones.

3.4.1.8. Electrobomba

El uso de la electrobomba es indispensable para hacer circular el agua en el sistema. Todos los componentes en contacto con el líquido a bombear son de acero inoxidable para de esa forma garantizar la higiene total y una alta resistencia a la corrosión.

Tabla 5

Especificaciones técnicas de electrobomba 1 HP

Datos generales de electrobomba de 1 HP	
Q máx.	: 20-200 L/min
H máx.	: 36 m
Voltaje	: 220 V
Frecuencia	: 60 Hz.
Potencia	: 0.75 Kw
Potencia	: 1 HP
Corriente nominal	: 5 A
Protección	: IP X4
I.CL.	: F

Nota: tomada de <https://pedrolloperu.pe/wp-content/uploads/2023/10/al-red-670.pdf>

Figura 14

Electrobomba pedrollo de 1 HP



Nota: electrobomba centrífuga de 1 HP, instalada en el sistema de calefacción mediante radiadores de agua

La electrobomba centrífuga que se utilizó es de 1HP, para impulsar el flujo de agua mediante la acción centrífuga, una ventaja que tiene es de alta eficiencia y fácil mantenimiento además de ser compacta y ligera.

3.4.2. Condiciones de temperatura interior y exterior

Temperatura interior

La temperatura del interior del ambiente (laboratorio de control y automatización), fue medida a una temperatura de 15°C en promedio.

Temperatura exterior

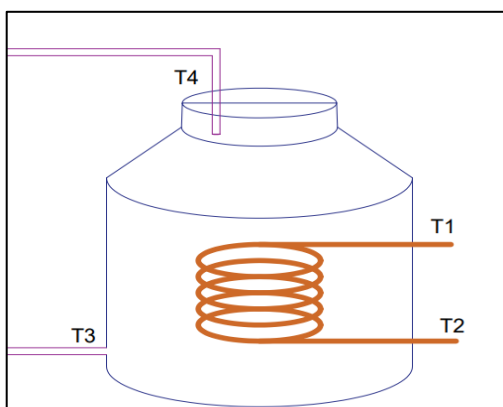
Las condiciones de temperatura exterior mínima promedio en Puno es de -0.2°C y temperatura exterior máxima 15.3°C, recurrimos a los datos del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), durante el mes de junio 2023.

3.5. CÁLCULOS DE BALANCE DE ENERGÍA PARA EL ACUMULADOR

El cálculo que realizaremos con datos recopilados en el módulo, cuando el sistema entra en operación y existe transferencia de calor.

Figura 15

Tanque de acumulación térmica



Nota: modelo del acumulador térmico estudiado en la investigación



3.5.1. Cálculo de balance de energía en el acumulador térmico

El balance de energía térmica en nuestro sistema está dado por la siguiente ecuación

$$Q_{cedido} = Q_{absorbido} + Q_{perdidas} + Q_{no\ identificadas} \quad (13)$$

Para calcular el balance de energía del acumulador térmico realizamos algunas condiciones y adquirimos datos que recolectamos en el sistema.

Condiciones:

- Conducción de calor en estado estacionario $\left(\frac{dE_{vc}}{dt} = 0\right)$
- No hay generación de trabajo $(\dot{W}_{vc} = 0)$
- La energía cinética se considera nula $\left(\frac{V_e^2}{2} = 0\right)$
- La energía potencial se considera nula $(gZ_e = 0)$
- Conductividad térmica constante
- El proceso es continuo y estable

Datos proporcionados:

- \dot{m} , es el flujo másico de agua caliente $\left(\frac{kg}{s}\right) = 0.0147$ (prueba realizada en laboratorio)
- C_p del agua $\left(\frac{kJ}{kg^{\circ}C}\right) = 4.18$
- T_1 , es la temperatura promedio de entrada = $54^{\circ}C$
- T_2 , es la temperatura promedio de salida = $22.3^{\circ}C$
- Material del intercambiador: cobre
- Tiempo de operación (Horas): 1



Empezaremos con la ecuación (12). Para calcular el calor cedido del agua caliente

$$\dot{Q} = \dot{m}C_p(T_2 - T_1) \quad (14)$$

$$\dot{Q}_{cedido} = \dot{m}C_p(T_2 - T_1)$$

$$\dot{Q}_{cedido} = 1940 \text{ W}$$

$$\dot{Q}_{cedido} = 1.940 \text{ KW}$$

$$\dot{Q}_{cedido} = 1.940 \text{ KW}$$

Calculamos el calor absorbido en el acumulador del balance de energía del acumulador térmico.

Datos proporcionados:

- m, cantidad de masa de agua en el acumulador (kg)=200 kg (dato de laboratorio)
- C_p del agua ($\frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}}$) = 4.18
- T_2 , es la temperatura de inicio del acumulador = 30.8°C
- T_3 , es la temperatura final del acumulador = 38.1°C
- Material del intercambiador: cobre
- Tiempo de operación (Horas): 1 hora

$$Q = mC_p(T_3 - T_2) \quad (15)$$

$$Q_{\text{absorbido}} = mC_p(T_3 - T_2)$$

$$Q_{\text{absorbido}} = 6102.8 \text{ kJ}$$



La energía absorbida dividimos por 3600 segundos.

$$Q_{\text{absorbido}} = 6102.8 \text{ kJ}$$

$$\dot{Q}_{\text{absorbido}} = \frac{6102.8 \text{ kJ}}{3600 \text{ s}}$$

$$\dot{Q}_{\text{absorbido}} = 1.695 \text{ kW}$$

Ahora calculamos las pérdidas de energía. Estas pérdidas de energía son debidas a la transferencia de calor del serpentín al acumulador de calor y al ambiente en el acumulador.

$$Q_{\text{perdida}} = Q_{\text{serpentin}} + Q_{\text{acumulador}} + Q_{\text{suplibre}} \quad (16)$$

Usamos la ecuación de Newton para calcular la transferencia de calor, para calcular el calor perdido por el serpentín.

$$\dot{Q} = U \cdot A \cdot \Delta T \quad (17)$$

Donde U es el coeficiente global de transferencia de calor, A es el área de transferencia de calor y ΔT es la diferencia de temperatura.

Calculamos el área de transferencia de calor del serpentín.

Datos proporcionados:

- Diámetro interior del serpentín (m) = 0.025
- Longitud(m) = 11.30
- Material del intercambiador: cobre

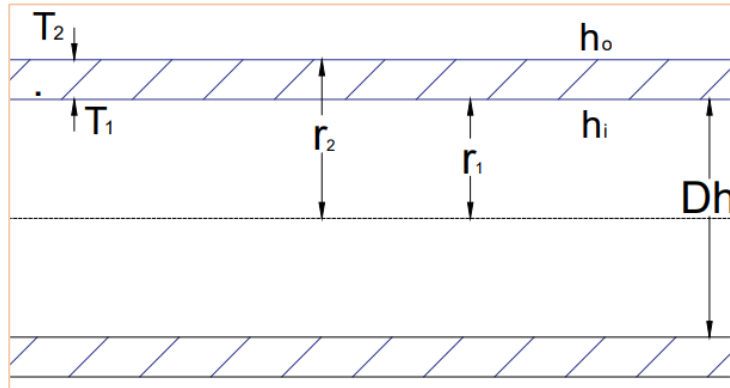
$$A = \pi \times \text{Diametro} \times \text{Longitud} \quad (18)$$

$$A = \pi \times 0.0254 \times 11.30$$

$$A = 0.8875 \text{ m}^2$$

Figura 16

Esquema de una tubería simple



Nota: características del serpentín de cobre en el acumulador de calor

Calculamos el coeficiente global de transferencia de calor (U), para el serpentín, donde está dada por la siguiente ecuación.

$$U_{\text{serp}} = \frac{1}{\frac{r_2}{r_1 h_i} + r_2 \left[\frac{\ln \frac{r_2}{r_1}}{k_{\text{serp.}}} \right] + \frac{1}{h_0}} \quad (19)$$

Donde:

- U_{serp} = Coeficiente global de transferencia
- h_i = Coeficiente de transmisión convectivo interno del serpentín
- h_0 = Coeficiente de transmisión convectivo externo del serpentín
- r_1 = Radio interno del serpentín
- r_2 = Radio externo del serpentín

Antes de calcular el coeficiente global de transferencia de calor (U), hallamos primeramente el coeficiente de transmisión convectivo interno del serpentín (h_i) con la ecuación (19)



$$h_i = \frac{N_u \cdot K}{L} \quad (20)$$

Donde:

- N_u = Número de Nusselt
- h_i = Coeficiente de transmisión
- K = Conductividad térmica del fluido
- L = Longitud del serpentín (m)

Y para calcular el coeficiente de transmisión convectivo interno del serpentín (h_i), necesariamente tenemos que calcular en número de Nusselt (N_u), el cual está dada la siguiente fórmula:

$$N_u = 0.023 Re^{0.8} Pr^{0.3} \quad (21)$$

Donde:

- Número de Reynold = Re
- Número de Prandtl = Pr

Y para calcular el número de Reynold (Re), mediante la siguiente fórmula.

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot D}{\mu} \quad (22)$$

Donde:

- Re : número de Reynolds (adimensional)
- ρ : densidad del fluido ($\frac{kg}{m^3}$)
- v : velocidad del fluido ($\frac{m}{s}$)
- D : diámetro interior de la tubería (m)



- μ : viscosidad dinámica (Pa. s)

Reemplazamos datos a la ecuación (18), para calcular el número de Reynolds

Datos:

- $\rho = 998.2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
- $v = 0.12 \frac{\text{m}}{\text{s}}$
- $D = 0.025 \text{ m}$
- $\mu = 0.001 \text{ Pa. s}$

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot D}{\mu}$$

$$Re = 2994.6$$

Ahora calculamos el número de Prandtl (Pr), mediante la siguiente fórmula.

$$Pr = \frac{C_p \cdot \mu}{k} \quad (23)$$

Donde:

- Pr: número de Prandtl (adimensional)
- C_p : capacidad térmica específica ($\frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}}$)
- μ : viscosidad dinámica (Pa. s)
- K : conductividad térmica del agua ($\frac{\text{W}}{\text{m}^\circ\text{C}}$)

Reemplazamos datos a la ecuación (19), para calcular el número de Prandtl



Datos:

- $C_p = 4.18 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}}\right)$
- $\mu = 0.001 \text{ Pa}\cdot\text{s}$
- $k = 0.58 \left(\frac{\text{W}}{\text{m}\cdot^\circ\text{C}}\right)$

$$\text{Pr} = \frac{C_p \cdot \mu}{k}$$

$$\text{Pr} = 7.21$$

Ya obtenidos el número de Reynolds (Re), y el número de Prandtl (Pr), podemos calcular el valor del número de Nusselt (Nu), según la ecuación (18)

Datos:

- $\text{Re} = 2994.6$
- $\text{Pr} = 7.21$

$$N_u = 0.023\text{Re}^{0.8}\text{Pr}^{0.3}$$

$$N_u = 25.13$$

Con el valor obtenido del número de Nusselt (Nu), podemos reemplazar en la ecuación (20), para calcular el valor del coeficiente de transmisión convectivo interno del serpentín (h_i).

Datos:

- $N_u = 25.13$
- $k = 0.58 \left(\frac{\text{W}}{\text{m}\cdot^\circ\text{C}}\right)$
- $L = 11.30 \text{ m}$



$$h_i = \frac{N_u \cdot k}{L}$$

$$h_i = 1.2898 \left(\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \right)$$

De la misma forma también calcularemos el coeficiente de transmisión convectivo externo del serpentín (h_0) con la ecuación (24)

$$h_0 = \frac{N_u \cdot K}{D_h} \quad (24)$$

Donde:

- h_0 = Coeficiente de transmisión convectivo externo
- N_u = Número de Nussetl (convección natural)
- K = Conductividad térmica del fluido
- D_h = Longitud característica del sistema

Calculamos el número de Nussetl (Nu), en el tanque por convección natural, para este caso, donde el número de Nussetl está dada por la ecuación (25)

$$N_u = 0.59(Gr \cdot Pr)^{\frac{1}{4}} \quad (25)$$

Donde:

- N_u = Número de Nussetl
- Gr = Número de Grashof
- Pr = Número de Prandtl

La convección de calor en el exterior del serpentín es de tipo natural, por lo que el número de Nusselt dependerá mucho del número de Grashof (Gr).



$$Gr = \frac{g\rho^2\beta\Delta TL^3}{\mu^2} \quad (26)$$

Donde:

- Gr: número de Grashof (adimensional)
- L: longitud característica del sistema (m)
- g: aceleración debido a la gravedad ($\frac{m}{s^2}$)
- ν : viscosidad cinética del agua ($\frac{m^2}{s}$)
- β : coeficiente de expansión térmica del agua ($\frac{1}{K}$)
- ΔT : diferencia de temperatura entre el fluido y la superficie ($^{\circ}K$)

Datos:

- L: 0.0254 m
- g: $9.81(\frac{m}{s^2})$
- ν_{agua} : $1.002 \times 10^{-6}(\frac{m^2}{s})$
- β_{agua} : $\frac{1}{303.95}(\frac{1}{K})$
- ΔT : $327.15^{\circ}K - 303.95^{\circ}K$ ó $(54^{\circ}C - 30.8^{\circ}C)$

Proseguimos a calcular con la ecuación (26) el número de Grashof (Gr).

$$Gr = \frac{g\beta\Delta TL^3}{\nu^2}$$

$$Gr = 11.64 \times 10^6$$

Calculamos de número de Nusselt (Nu), en el tanque (convección natural), para el caso en que el $GrPr = Ra =$ Número de Rayleigh $< 10^9$, flujo laminar.



Donde:

$$Gr = 11.64 \times 10^6$$

$$Pr = 7.21$$

Reemplazamos nuestros datos adquirimos en los anteriores para calcular el número de Nusselt

$$Nu = 0.59(GrPr)^{\frac{1}{4}}$$

$$Nu = 0.59(11.64 \times 10^6 \times 7.21)^{\frac{1}{4}}$$

$$Nu = 56.4708$$

Con el valor obtenido del número de Nusselt (Nu), podemos reemplazar en la ecuación (24), para calcular el valor del coeficiente de transmisión convectivo externo del serpentín (h_0).

Datos:

- $k_{agua}: 0.58 \frac{W}{m \cdot ^\circ C}$
- $D_h: 11.30 \text{ m}$

Calculamos h_0 .

$$h_0 = \frac{Nu \times K}{D_h}$$

$$h_0 = 2.8985 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

Ya calculados el coeficiente de transmisión convectivo interno del serpentín (h_i) y el coeficiente de transmisión convectivo externo del serpentín

(h_0). Ahora procedemos a calculamos el coeficiente global de transferencia de calor (U), para el serpentín, donde está dada por la ecuación (16), ya anteriormente mencionada.

Datos:

- $h_i = 1.2898 \left(\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \right)$
- $h_0 = 2.8985 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$
- $r_1 = 0.0125 \text{ m}$
- $r_2 = 0.01377 \text{ m}$
- $K_{cobre} = 380 \frac{W}{m \cdot ^\circ C}$

Cálculo del coeficiente global de transferencia de calor (U), en el serpentín con la ecuación (19).

$$U_{serp} = \frac{1}{\frac{r_2}{r_1 h_i} + r_2 \left[\frac{\ln \frac{r_2}{r_1}}{k_{serp.}} \right] + \frac{1}{h_0}}$$

$$U_{serp} = 0.8339 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

Calculamos las pérdidas generadas por el serpentín con la ecuación (17), donde se tienen los siguientes datos:

Datos:

- $U_{serp} = 0.8339 \left(\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \right)$
- $A = 0.8875 \text{ m}^2$
- $\Delta T = 44.92^\circ C - 36.40^\circ C$ (Temperaturas promedio T7- T3)



Se tiene que:

$$\dot{Q}_{serpentin} = U_{serp} \cdot A \cdot \Delta T$$

$$\dot{Q}_{serpentin} = 23.46 \text{ W}$$

Ahora calculamos la transferencia de calor del acumulador con la ecuación de Newton para calcular la transferencia de calor, para calcular el calor perdido por el acumulador con la ecuación (17)

$$\dot{Q}_{acumulador} = U_{acumulador} \cdot A \cdot \Delta T$$

Para calcular el coeficiente global de transferencia de calor (U) de un acumulador de agua, necesitamos considerar las resistencias térmicas de los siguientes componentes:

- Resistencia térmica del agua (R_{agua})
- Resistencia térmica del material del tanque (R_{mat})
- Resistencia térmica de la superficie exterior del tanque ($R_{exterior}$)

La resistencia térmica total (R_{total}) es la suma de estas resistencias:

$$R_{total} = R_{agua} + R_{mat} + R_{exterior} \quad (27)$$

El coeficiente global de transferencia de calor (U) se puede calcular como:

$$U_{acumulador} = \frac{1}{R_{total}} \quad (28)$$

A continuación, realizamos los cálculos para cada resistencia térmica:

Resistencia térmica del agua (R_{agua})



$$R_{\text{agua}} = \frac{V}{K \cdot A} \quad (29)$$

Donde:

- $V =$ volumen de agua (0.2 m^3)
- $k =$ conductividad térmica del agua ($0.58 \frac{\text{W}}{\text{m}^\circ\text{C}}$)
- $A =$ área de transferencia de calor (m^2)
- Datos proporcionados para calcular el área:
- Diámetro del acumulador (m) = 0.6875
- Longitud(m) = 0.54
- Material del intercambiador: polietileno

$$A = 2\pi \cdot \text{Diámetro} \cdot \text{Longitud} \quad (30)$$

$$A_{\text{lateral}} = 2\pi \cdot \text{Diámetro} \cdot \text{Longitud}$$

$$A = 1.1663 \text{ m}^2$$

$$A = \pi \cdot \left(\frac{D}{2}\right)^2 \quad (31)$$

$$A_{\text{base}} = \pi \cdot \left(\frac{D}{2}\right)^2$$

$$A = 0.3712 \text{ m}^2$$

Datos proporcionados para calcular el área:

$$A_{\text{total}} = A_{\text{lateral}} + A_{\text{base}}$$

$$A_{\text{total}} = 1.5375 \text{ m}^2$$

Entonces la resistencia del agua es de:



$$R_{\text{agua}} = \frac{V}{K \cdot A}$$

$$R_{\text{agua}} = 0.2242 \frac{\text{m}^2\text{°C}}{\text{W}}$$

Resistencia térmica del material del tanque ($R_{\text{acumulador}}$):

Donde:

- e = espesor del material-acumulador (0.002 m)
- k = conductividad térmica del material ($0.5 \frac{\text{W}}{\text{m}^{\circ}\text{C}}$)
- A = área de transferencia de calor (m^2)

Datos proporcionados para calcular el área:

- Diámetro del acumulador (m) = 0.6875
- Longitud(m) = 0.54
- $A_{\text{total}} = 1.5375\text{m}^2$
- Material del intercambiador: polietileno

Entonces la resistencia del agua es de:

$$R_{\text{acumulador}} = \frac{e}{K \cdot A} \quad (32)$$

$$R_{\text{acumulador}} = 0.0026 \frac{\text{m}^2\text{°C}}{\text{W}}$$

Resistencia térmica de la superficie exterior del tanque (R_{exterior})

$$R_{\text{exterior}} = \frac{1}{h \cdot A} \quad (33)$$

Donde:



- h = coeficiente de transferencia de calor por convección natural $\left(\frac{W}{m^2\text{°C}}\right)$
- A = área de transferencia de calor del acumulador(m^2)

Datos proporcionados para calcular el área:

- Diámetro del acumulador (m) = 0.6875
- Longitud(m) = 0.54
- $A_{total} = 1.5375m^2$
- Material del intercambiador: polietileno

Datos proporcionados para calcular el coeficiente de transferencia de calor por convección natural mediante la siguiente ecuación.

$$h = 0.54 \left(\frac{\Delta T}{L}\right)^{\frac{1}{3}} \quad (34)$$

Donde:

- h = coeficiente de transferencia de calor por convección natural $\left(\frac{W}{m^2\text{°C}}\right)$
- ΔT = diferencia de temperatura entre la superficie y el fluido (°C)
- L = longitud característica de la superficie (m)

Datos:

- $\Delta T = T_7 - T_{amb} = 30.8\text{°C} - 15\text{°C} = 15.8\text{°C}$
- $L = 0.54$ m

Entonces la resistencia de la superficie exterior es de:

$$h = 0.54 \left(\frac{\Delta T}{L}\right)^{\frac{1}{3}}$$



$$h = 1.6640 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

Calculados el coeficiente de transferencia de calor por convección natural (h), y el área (A) procedemos a resolver la ecuación (27), la resistencia térmica de la superficie exterior del tanque (R_{exterior}).

Datos:

- $h = 1.6640 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$
- $A_{\text{total}} = 1.5375 m^2$

Resistencia térmica de la superficie exterior del tanque (R_{exterior}).

$$R_{\text{exterior}} = \frac{1}{h \cdot A}$$

$$R_{\text{exterior}} = 0.3909 \frac{m^2 \cdot ^\circ C}{W}$$

Ahora, calculamos la resistencia térmica total con la ecuación (24)

Datos:

- $R_{\text{agua}} = 0.2242 \frac{m^2 \cdot ^\circ C}{W}$
- $R_{\text{mat}} = 0.0026 \frac{m^2 \cdot ^\circ C}{W}$
- $R_{\text{exterior}} = 0.3909 \frac{m^2 \cdot ^\circ C}{W}$

$$R_{\text{total}} = R_{\text{agua}} + R_{\text{mat}} + R_{\text{exterior}}$$

$$R_{\text{total}} = 0.6177 \frac{m^2 \cdot ^\circ C}{W}$$



Finalmente, calculamos el coeficiente global de transferencia de calor reemplazando en la ecuación (28).

$$U_{\text{acumulador}} = \frac{1}{R_{\text{total}}}$$

$$U_{\text{acumulador}} = 1.6189 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

Ahora, calculamos la transferencia de calor del acumulador térmico al ambiente, sin antes calcular en área del tanque con la ecuación (14).

Donde:

- $U_{\text{acumulador}} = 1.6189 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$
- $A_{\text{total}} = 1.5375 m^2$
- $\Delta T = T_7 - T_{\text{amb}} = 30.8^\circ C - 15^\circ C = 15.8^\circ C$

Se tiene que:

$$\dot{Q}_{\text{acumulador}} = U_{\text{acumulador}} \cdot A \cdot \Delta T$$

$$\dot{Q}_{\text{acumulador}} = 39.33 W$$

Ahora calculamos la transferencia de calor por convección de la parte superficial libre con la ecuación de Newton para calcular la transferencia de calor, para calcular el calor perdido por el acumulador con la ecuación (14).

$$Q = h \cdot A \cdot \Delta T \quad (35)$$

$$\dot{Q}_{\text{conv,sup}} = h_{\text{conv}} \cdot A_{\text{sup}} \cdot \Delta T$$

$$\dot{Q}_{\text{conv,sup}} = h_{\text{conv}} \cdot A_{\text{sup}} \cdot (T_{\text{agua}} - T_{\text{aire}})$$



Para calcular el coeficiente de convección en la superficial libre (h_{conv}) de un acumulador de agua, primeramente, tenemos que el calcular el número de Nussetl (Nu), por convección natural, para este caso, donde el número de Nussetl está dada por la ecuación (25)

$$N_u = 0.59(Gr. Pr)^{\frac{1}{4}}$$

Donde:

- N_u = Número de Nussetl
- Gr = Número de Grashof
- Pr = Número de Prandtl

La convección de calor en la superficie libre es de tipo natural, por lo que el número de Nusselt dependerá mucho del número de Grashof (Gr).

$$Gr = \frac{D^3 g \rho^2 \beta \Delta T}{\mu^2} \quad (36)$$

Donde:

- Gr: número de Grashof (adimensional)
- D: diámetro característico del acumulador (m)
- g : aceleración debido a la gravedad ($\frac{m}{s^2}$)
- ν_{aire} : viscosidad cinemática del aire ($\frac{m^2}{s}$)
- β : coeficiente de expansión térmica del aire ($\frac{1}{K}$)
- ΔT : diferencia de temperatura entre el fluido y la superficie ($^{\circ}C$)
- α_{aire} : difusividad térmica del aire

Datos:



- $D: 0.6875 \text{ m}$
- $g: 9.81 \left(\frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)$
- $v_{\text{aire}}: 15.89 \times 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$
- $\beta_{\text{aire}}: \frac{1}{288.15} \left(\frac{1}{\text{K}}\right)$
- $\mu_{\text{aire}}: 1.81 \text{ (Pa.s)}$
- $T_{\text{agua}}: 30.8^\circ\text{C} + 273.15 = 303.95^\circ\text{K}$
- $T_{\text{aire}}: 15^\circ\text{C} + 273.15 = 288.15^\circ\text{K}$
- $\alpha_{\text{aire}}: 22.4 \times 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$

Proseguimos a calcular la ecuación (22) número de Grashof (Gr).

$$\text{Gr} = \frac{g\beta\Delta TL^3}{\nu^2} \quad (37)$$

$$\text{Gr} = \frac{g\beta\Delta TL^3}{\nu^2}$$

$$\text{Gr} = 6.91 \times 10^8$$

$$\text{Pr} = \frac{\nu}{\alpha}$$

$$\text{Pr} = 0.71$$

Calculamos de número de Nusselt (Nu), en el tanque (convección natural), para el caso en que el $GrPr = Ra =$ Número de Rayleigh $< 10^9$, flujo laminar.

Donde:

- $\text{Gr} = 6.91 \times 10^8$
- $\text{Pr} = 0.71$



Reemplazamos nuestros datos adquirimos en las ecuaciones (25) para calcular el número de Nusselt.

$$Nu = 0.59(GrPr)^{\frac{1}{4}}$$

$$Nu = 0.59(6.91 \times 10^8 \times 0.71)^{\frac{1}{4}}$$

$$Nu = 87.8084$$

Con el valor obtenido del número de Nusselt (Nu), podemos reemplazar en la ecuación (24), para calcular el valor del coeficiente de transmisión convectivo de la superficie libre (h).

Datos:

- $Nu = 87.8084$
- $k_{aire}: 0.026 \frac{W}{m \cdot ^\circ C}$
- $D_h: 0.6875 \text{ m}$

Calculamos h .

$$h = \frac{Nu \times k_{aire}}{D_h}$$

$$h = 3.32 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

Ahora calculamos la transferencia de calor por convección de la parte superficial libre con la ecuación (35) para calcular la transferencia de calor.

Datos:

- $h = 3.32 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$



- $A_{sup} = 0.3712\text{m}^2$
- $T_{agua} = 30.8^\circ\text{C}$
- $T_{aire} = 15^\circ\text{C}$

$$\dot{Q}_{conv,sup} = h_{conv} \cdot A_{sup} \cdot (T_{agua} - T_{aire})$$

$$\dot{Q}_{conv,sup} = 19.47 \text{ w}$$

Ahora, sumamos las pérdidas de energía en la ecuación (16).

Donde:

- $\dot{Q}_{serpentin} = 23.46 \text{ W}$
- $\dot{Q}_{acumulador} = 39.33 \text{ W}$
- $\dot{Q}_{conv,sup} = 19.47 \text{ W}$

Se tiene que:

$$\dot{Q}_{perdida} = \dot{Q}_{serpentin} + \dot{Q}_{acumulador} + \dot{Q}_{conv,sup}$$

$$\dot{Q}_{perdida} = 82.26 \text{ W}$$

Finalmente, con todos los datos que tenemos, calculamos el balance de energía con la ecuación (13), del balance de energía térmica en nuestro sistema.

Donde:

- $\dot{Q}_{cedido} = 1.940 \text{ kW}$
- $\dot{Q}_{absorbido} = 1.695 \text{ kW}$
- $\dot{Q}_{perdida} = 0.082 \text{ kW}$

Se tiene que:

$$\dot{Q}_{cedido} = \dot{Q}_{absorbido} + \dot{Q}_{perdida} + \dot{Q}_{no\ identificadas}$$

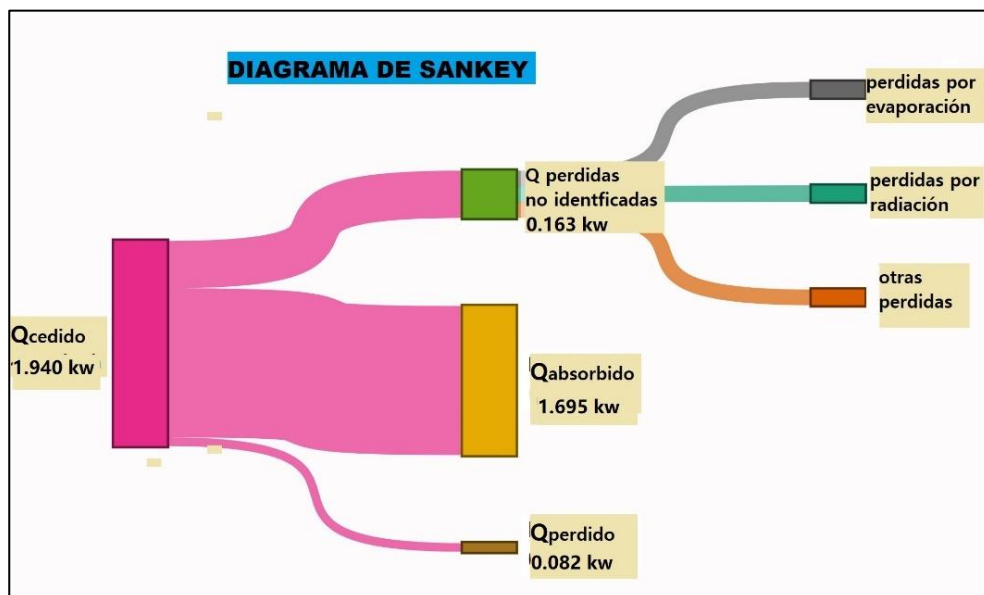
$$1.940\text{ kW} = 1.695\text{ kW} + 0.082\text{ kW} + \dot{Q}_{no\ identificadas}$$

$$1.940\text{ kW} = 1.777\text{ kW} + \dot{Q}_{no\ identificadas}$$

Finalmente, realizamos la representación en el diagrama de Sankey la magnitud de flujo de la energía térmica para visualizar y analizar los flujos de energía térmica permitiendo identificar oportunidades de mejora y optimización.

Figura 17

Diagrama de Sankey



Nota: representación gráfica del balance de flujo de energía térmica del sistema de nuestros resultados

3.5.2. Cálculo de la eficiencia térmica del acumulador

Con todos los datos que calculamos el balance de energía, procedemos a calcular la eficiencia después de una hora según la ecuación (38).

$$\text{Eficiencia} = \frac{\text{Energía térmica almacenada}}{\text{Energía térmica suministrada}} * 100 \quad (38)$$

La energía térmica acumulada almacenada es el calor absorbido por el agua del acumulador que es de 1.695 kW durante una hora. Mientras la energía térmica suministrada es el calor cedido al acumulador es de 1.940 kW. Hallamos la eficiencia del acumulador durante una hora.

$$\text{Eficiencia} = \frac{1.695 \text{ kW}}{1.940 \text{ kW}} * 100\%$$

$$\text{Eficiencia} = 87.37\%$$

3.5.3. Cálculo de la capacidad de almacenamiento de la energía térmica

Cuando hablamos de capacidad de almacenamiento de energía térmica del acumulador de agua, nos referimos a la cantidad de energía que el agua puede almacenar en el acumulador al cambiar su temperatura. Esta capacidad depende del volumen de agua, la capacidad calorífica específica del agua, y la diferencia de temperatura. La fórmula para la capacidad de almacenamiento de energía térmica es:

$$Q_{almacenado} = m \cdot C_p \cdot \Delta T \quad (39)$$

Donde:

- $Q_{almacenado}$ = es la energía térmica almacenada (kJ)
- m: es la masa del agua en el acumulado (kg)
- C_p : es la capacidad calorífica específica del agua ($\frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C}$)
- ΔT : es la diferencia de temperatura del agua ($^\circ C$)

Se tiene que:

- m: 200 (kg)

- $C_p: 4.18 \left(\frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C}\right)$
- $\Delta T: 38.1-30.8(^{\circ}C)$

Reemplazando los valores, obtenemos el valor de la capacidad de almacenamiento de energía térmica

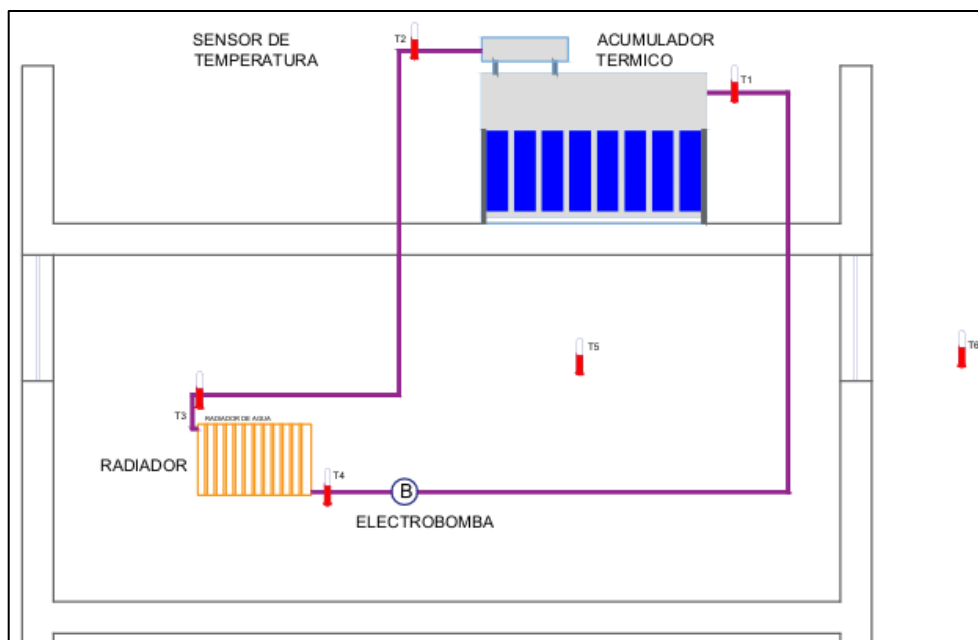
$$Q_{almacenado} = 6102.8 \text{ kJ}$$

3.6. CÁLCULO DE BALANCE DE ENERGÍA CON EL RADIADOR DE AGUA

Para realizar el cálculo de balance de energía, presentamos la figura (18), teniendo en cuenta datos del módulo de control durante la operación del sistema de calefacción. Realizamos este cálculo con la ecuación (33) de balance de energía.

Figura 18

Sistema de calefacción mediante radiador de agua



Nota: sistema de calefacción mediante radiador de agua implementada en el laboratorio de control y automatización de la EPIME



Teniendo en cuenta datos del módulo de control durante la operación del sistema de calefacción. Realizamos este cálculo con la ecuación (33) de balance de energía.

$$E + G/C = S + A \quad (40)$$

Donde:

- E = es la energía térmica entregada al sistema
- G/C = es la energía generada o consumida dependiendo del caso
- S = es la energía térmica de salida
- A = es la energía térmica acumulada
- T_1 : temperatura del tanque acumulador ($^{\circ}\text{C}$)
- T_2 : temperatura a la entrada del radiador ($^{\circ}\text{C}$)
- T_3 : temperatura a la salida del radiador ($^{\circ}\text{C}$)
- T_{amb} : temperatura del ambiente ($^{\circ}\text{C}$)

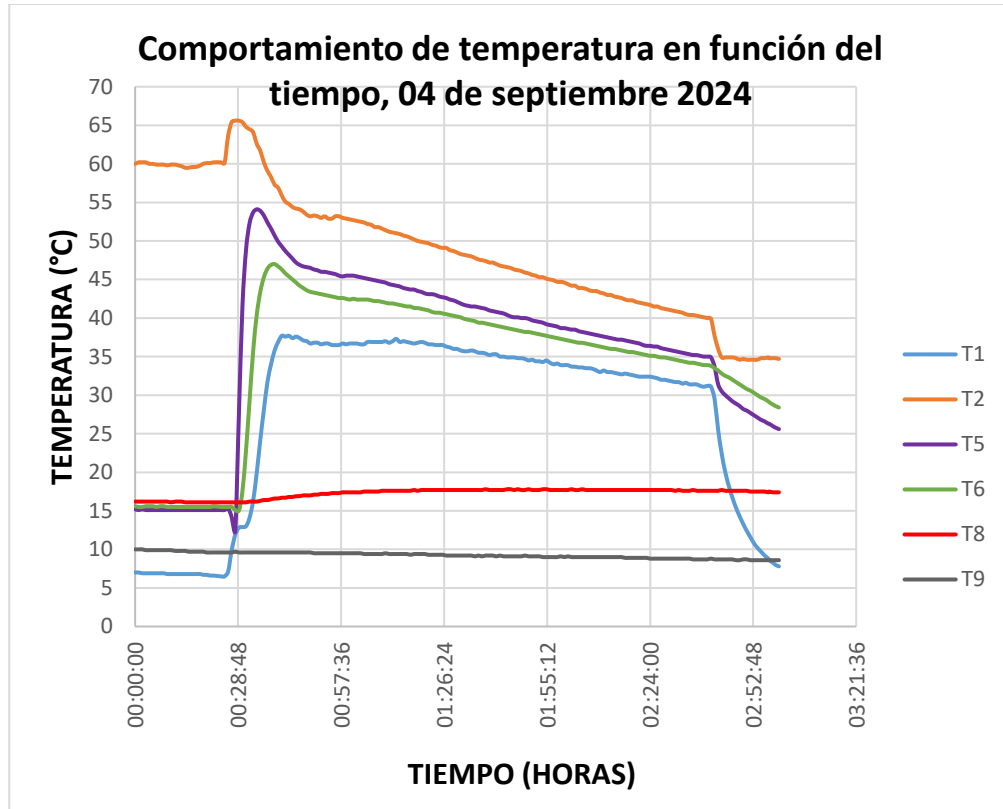
3.6.1. Cálculo de balance de energía

Para realizar el cálculo de balance energía, necesitamos calcular la energía térmica entregada al sistema, la energía térmica de salida y la energía acumulada.

La muestra tomada para este balance se energía térmica se realizó durante el tiempo de funcionamiento del sistema de calefacción, el día 04 de setiembre del 2024, desde las 00:40 a.m. hasta las 02:40 am. El cual se muestra en la figura 19, el gráfico del comportamiento de las temperaturas en función al tiempo y los datos recolectados por el módulo de control se detalla en el ANEXO 16, el cual no aporta datos para realizar los diferentes cálculos que contengan temperatura.

Figura 19

Comportamiento de las temperaturas en función al tiempo cuando el sistema está en funcionamiento



Nota: en el gráfico se muestra el comportamiento de la temperatura en diferentes puntos del sistema de calefacción evaluado

Donde:

- T1: temperatura ingreso de la terma solar por recirculación
- T2: temperatura de salida de la terma solar
- T5: temperatura en la entrada del radiador
- T6: temperatura en la salida del radiador
- T7: temperatura en el ambiente
- T8: temperatura en el exterior

Para la muestra evaluada se realizó la prueba t de student con variables independientes de temperatura de entrada y la temperatura del acumulador.

Prueba de hipótesis:

- $H_0: \mu_i - \mu_e = 0$ (las medias son iguales, no hay diferencia significativa entre la temperatura interior del ambiente y la temperatura exterior)
- $H_1: \mu_i - \mu_e \neq 0$ (las medias son diferentes, si hay diferencia significativa entre la temperatura interior del ambiente y la temperatura exterior)

Nivel de significancia:

- $\alpha = 0.05$

Tabla 6

Resultados de la prueba t para dos muestras, temperatura interior y temperatura exterior

Prueba t para dos muestras	T interior	T exterior
Media	44.92	36.40
Varianza	19.79	3.64
Muestra (n)	61	61
ΔT	8.51	
Varianza agrupada	11.71	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	120	
Estadístico t	13.73739982	
$P(T \leq t)$ una cola	1.10247E-26	
Valor crítico de t (una cola)	1.657650899	
$P(T \leq t)$ dos colas	2.20495E-26	
Valor crítico de t (dos colas)	1.979930405	

CONCLUSIÓN: existe una diferencia significativa entre la temperatura interior del ambiente y la temperatura exterior. La prueba t indica que es muy improbable que la temperatura interior y la temperatura exterior tengan la misma media. Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula H_0 .

Nota: prueba t para dos muestras, temperatura interior y temperatura exterior calculados en Excel mediante análisis de datos.



Calculamos la energía térmica del acumulador térmico, reemplazando los valores registrados en el módulo de control, y obtuvimos la energía térmica mediante la ecuación (41).

$$E = mC_p\Delta T. \quad (41)$$

Donde:

- E = es la energía térmica entregada al sistema (kWh)
- m : es la masa del agua en el acumulador (kg)
- C_p : es la capacidad calorífica del agua ($\frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C}$)
- ΔT : es la diferencia de temperatura del agua ($^\circ C$)

Los datos recolectados en el laboratorio para calcular la energía acumulada por el tanque a las 00:40 am.

Donde:

- m : 160 (kg).
- C_p : 4.18 ($\frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C}$)
- ΔT : $T_2 = 56.9 - 40(^\circ C)$ (temperatura al inicio y el final)

$$E = mC_p\Delta T$$

$$E = 11302.72 \text{ kJ}$$

Dividimos entre 3600 segundos, por lo tanto, nuestro valor es:

$$\dot{E} = 3.139 \text{ kW}$$



La transferencia de calor de entregada se realizó durante dos horas por lo cual multiplicaremos por 2 horas.

$$\dot{E} = 3.139 \text{ kW} * 2\text{h}$$

$$\dot{E} = 6.278 \text{ kWh}$$

Calculamos la energía térmica acumulado, reemplazando los valores registrados en el módulo de control, y obtuvimos la energía térmica mediante la ecuación

$$\dot{A} = \dot{m}C_p\Delta T. \quad (42)$$

Donde:

- \dot{A} = es la energía térmica acumulada por unidad de tiempo (kW)
- \dot{m} : flujo masico del agua en el radiador ($\frac{kg}{s}$)
- C_p : es la capacidad calorífica del agua ($\frac{kJ}{kg.^{\circ}C}$)
- ΔT : es la diferencia de temperatura del agua ($^{\circ}C$)

Los datos recolectados en el laboratorio para calcular la tasa de energía térmica acumulada por el radiador.

Donde:

- \dot{m} : 0.0439 ($\frac{kg}{s}$)
- C_p : 4.18 ($\frac{kJ}{kg.^{\circ}C}$)
- ΔT : T5-T6 = 41.12 – 39.17 ($^{\circ}C$) (temperatura promedio)

$$\dot{A} = \dot{m}C_p\Delta T$$



$$\dot{A} = 0.358 \text{ kW}$$

La transferencia de calor del acumulado se realizó durante dos horas por lo cual multiplicaremos por 2 horas.

$$\dot{A} = 0.358 \text{ kW} * 2\text{h}$$

$$\dot{A} = 0.716 \text{ kWh}$$

Los datos recolectados en el laboratorio para calcular la tasa de energía térmica de las pérdidas en la tubería.

Perdidas de la tubería antes del ingreso al radiador.

Donde:

- \dot{m} : $0.0439 \left(\frac{\text{kg}}{\text{s}}\right)$
- C_p : $4.18 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot^\circ\text{C}}\right)$
- ΔT : $T_2 - T_5 = 48.5 - 42.1 \text{ (}^\circ\text{C)}$ (Temperaturas promedio)

$$\dot{Q}_{tub1} = \dot{m}C_p\Delta T \quad (43)$$

$$\dot{Q}_{tub1} = 1.134 \text{ kW}$$

Perdidas de la tubería después de salir del radiador.

- \dot{m} : $0.0439 \left(\frac{\text{kg}}{\text{s}}\right)$
- C_p : $4.18 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot^\circ\text{C}}\right)$
- ΔT : $T_6 - T_1 = 39.17 - 34.90 \text{ (}^\circ\text{C)}$ (Temperaturas promedio)

$$\dot{Q}_{tub2} = \dot{m}C_p\Delta T$$



$$\dot{Q}_{tub2} = 0.784 \text{ kW}$$

Entonces la pérdida total de las tuberías del sistema de calefacción mediante radiadores de agua es:

$$\dot{Q}_{total \text{ de tub}} = \dot{Q}_{tub1} + \dot{Q}_{tub2} \quad (44)$$

$$\dot{Q}_{total \text{ de tub}} = 1.134 \text{ kW} + 0.784 \text{ kW}$$

$$\dot{Q}_{total \text{ de tub}} = 1.918 \text{ kW}$$

La transferencia de calor por pérdidas en la tubería, se realizó durante dos horas, por lo cual multiplicaremos por 2 horas.

$$\dot{S}_1 = 1.918 \text{ kW} * 2\text{h}$$

$$\dot{S}_1 = 3.836 \text{ kWh}$$

Para calcular las pérdidas en el ambiente por transmitancia térmica del ambiente de laboratorio control, calculamos la energía térmica mediante la ecuación (17).

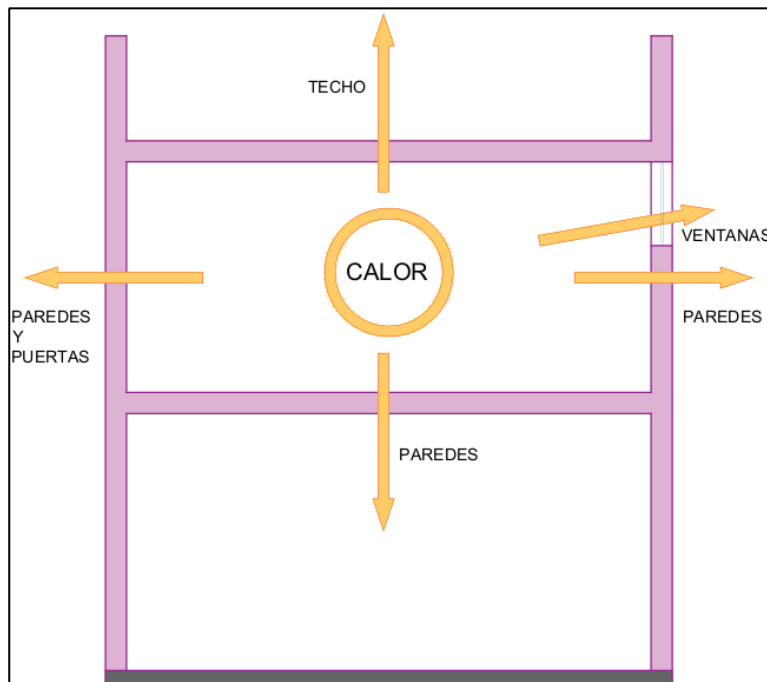
$$\dot{Q}_{perd \text{ amb}} = U \cdot A \cdot \Delta T$$

Donde:

- $\dot{Q}_{perd \text{ amb}}$: calor perdido del ambiente por unidad de tiempo (W)
- U : es el coeficiente global de transferencia ($\frac{W}{m^2 \cdot C}$)
- A: área del ambiente (m^2)
- ΔT : es la diferencia de temperatura del agua ($^{\circ}C$)

Figura 20

Balace térmico en el ambiente del laboratorio



Nota: en el gráfico se observa las diferentes pérdidas de calor por los componentes de ambiente del laboratorio de control y automatización

Para calcular en coeficiente global de transmisión de calor (U), debemos calcular la resistencia de cada material que componen el ambiente con la siguiente ecuación.

$$U = \frac{1}{R_{si} + \frac{e_{mat1}}{k_{mat1}} + \frac{e_{mat2}}{k_{mat2}} + \frac{e_{mat3}}{k_{mat3}} + R_{se}} \quad (45)$$

Por lo tanto, calculamos la resistencia de cada material que compone el ambiente con la siguiente ecuación.

$$R = \frac{e_{mat}}{k_{mat}} \quad (46)$$

Donde:

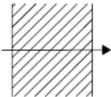
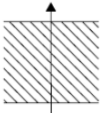
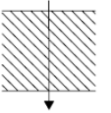
- R_{si} : resistencia térmica superficial interior ($\frac{m^{\circ}C}{W}$)
- R_{se} : resistencia térmica superficial exterior ($\frac{m^{\circ}C}{W}$)

- R: resistencia del material ($\frac{m^{\circ}C}{W}$)
- e_{mat} : espesor del material (m^2)
- k_{mat} : conductividad térmica del material ($\frac{W}{m^{\circ}C}$)

Con los valores de la resistencia térmica superficial exterior e interior, realizamos cálculos con la tabla (7), del Ministerio de Fomento Secretaría de Estado de Infraestructuras, Transporte y Vivienda Dirección General de Arquitectura, Vivienda y Suelo de España.

Tabla 7

Resistencia térmica superficiales de cerramientos

Posición del cerramiento y sentido del flujo de calor		Resistencia térmica superficial exterior, en $m^2 K/W$ (Rse)	Resistencia térmica superficial interior, en $m^2 K/W$ (Rsi)
Cerramientos verticales o con pendientes sobre la horizontal $>60^{\circ}$ y flujo horizontal.		0.04	0.13
Cerramientos verticales o con pendientes sobre la horizontal $\leq 60^{\circ}$ y flujo horizontal (techo).		0.04	0.10
Cerramientos verticales o con pendientes sobre la horizontal $>60^{\circ}$ y flujo descendente (suelo).		0.04	0.17

Nota: tomada del documento de apoyo al documento básico DB-HE Ahorro de energía del código técnico de la edificación de España

Por lo tanto, calculamos las resistencias térmicas para cada material que compone el área del laboratorio de control y automatización.

Tabla 8

Cálculo del coeficiente global de transferencia de calor por ventanas

N°	Material	Espesor $e = m$	Conductividad térmica $k = \frac{W}{m^{\circ}C}$	Resistencia calculada $R = \frac{m^{\circ}C}{W}$
	Resistencia			
1	superficial exterior			0.04
2	Vidrio	0.0055	1.00	0.0055
	Resistencia			
3	superficial interior			0.13
Resistencia total				0.1755
Coeficiente global de transferencia de calor		$U=1/R$	5.70	$\frac{W}{m^2^{\circ}C}$

Nota: en la tabla se muestra el cálculo del coeficiente global en función a la resistencia del material

El coeficiente de transferencia de calor global de las ventanas del laboratorio de control y automatización es de $5.70 \frac{W}{m^2^{\circ}C}$.

Tabla 9

Cálculo del coeficiente global de transferencia de calor por el techo

N°	Material	Espesor $e = m$	Conductividad térmica $k = \frac{W}{m^{\circ}C}$	Resistencia calculada $R = \frac{m^{\circ}C}{W}$
	Resistencia superficial			
1	exterior			0.040
2	Concreto	0.2	0.11	0.028
	Ladrillo común con			
3	hueco	0.1	0.39	0.130
	Revoque de cemento y			
4	arena (escutado 30 mm)	0.03	0.88	0.014
	Resistencia superficial			
5	exterior			0.10
Resistencia total				0.312
Coeficiente global de transferencia de calor		$U=1/R$	3.21	$\frac{W}{m^2^{\circ}C}$

Nota: en la tabla se muestra el cálculo del coeficiente global en función a la resistencia del material

El coeficiente de transferencia de calor global del techo del laboratorio de control y automatización es de $3.21 \frac{W}{m^2\text{°C}}$.

Tabla 10

Cálculo del coeficiente global de transferencia de calor por el piso

N°	Material	Espesor $e=m$	Conductividad térmica $k = \frac{W}{m^{\circ}C}$	Resistencia calculada $R = \frac{m^{\circ}C}{W}$
1	Resistencia superficial exterior (lamina de aire)			0.040
2	Mortero de cemento	0.05	0.88	0.057
3	Concreto	0.02	0.11	0.182
4	Ladrillo común con hueco	0.1	0.71	0.141
5	Revoque de cemento y arena (escutado 30 mm)	0.03	0.39	0.077
6	Resistencia superficial exterior			0.170
	Resistencia total			0.666
	Coficiente global de transferencia de calor	$U=1/R$	1.50	$\frac{W}{m^2\text{°C}}$

Nota: en la tabla se muestra el cálculo del coeficiente global en función a la resistencia del material

El coeficiente de transferencia de calor global del piso del laboratorio de control y automatización es de $1.50 \frac{W}{m^2\text{°C}}$.

Tabla 11

Cálculo del coeficiente global de transferencia de calor por la pared

N°	Material	Espesor $e=m$	Conductividad térmica $k = \frac{W}{m^{\circ}C}$	Resistencia calculada $R = \frac{m^{\circ}C}{W}$
1	Resistencia superficial exterior			0.130
2	Ladrillo para fachada	0.2	0.71	0.280

N°	Material	Espesor $e=m$	Conductividad térmica $k = \frac{W}{m^{\circ}C}$	Resistencia calculada $R = \frac{m^{\circ}C}{W}$
3	Revoque de cemento y arena (escutado 30 mm)	0.03	0.88	0.034
4	Revoque de cemento y arena (escutado 30 mm)	0.03	0.88	0.034
5	Resistencia superficial interior (lamina de aire)			0.040
Resistencia total				0.518
Coeficiente global de transferencia de calor		$U=1/R$	1.93	$\frac{W}{m^2^{\circ}C}$

Nota: en la tabla se muestra el cálculo del coeficiente global en función a la resistencia del material

El coeficiente de transferencia de calor global de la pared del laboratorio de control y automatización es de $1.93 \frac{W}{m^2^{\circ}C}$.

Calculamos el coeficiente global (U), en la puerta del laboratorio de control y automatización.

Tabla 12

Cálculo del coeficiente global de transferencia de calor por la puerta

N°	Material	Espesor $e=m$	Conductividad térmica $k = \frac{W}{m^{\circ}C}$	Resistencia calculada $R = \frac{m^{\circ}C}{W}$
Resistencia superficial exterior				0.040
2	Madera	0.05	0.23	0.217
Resistencia superficial interior (lamina de aire)				0.130
Resistencia total				0.387
Coeficiente global de transferencia de calor		$U=1/R$	2.58	$\frac{W}{m^2^{\circ}C}$

Nota: se muestra el cálculo del coeficiente global en función a la resistencia del material

El coeficiente de transferencia de calor global de la puerta del laboratorio de control y automatización es de $2.58 \frac{W}{m^2^{\circ}C}$.

El cuadro de resultados del coeficiente global de transferencia de calor.

Tabla 13

Cuadro de resultados

COMPONENTE	LUGAR	$\frac{U}{W}$ $m^2 \cdot ^\circ C$	A m^2	ΔT $^\circ C$	Q W
MURO 1A	Laboratorio	1.93	19.50	1.6	60.202
MURO 1B	Laboratorio	1.93	4.80	1.6	14.819
MURO 2	Laboratorio	1.93	17.0	1.6	52.484
MURO 3A	Laboratorio	1.93	5.23	1.6	16.131
MURO 3B	Laboratorio	1.93	13.62	1.6	42.064
MURO 4	Laboratorio	1.93	14.00	1.6	43.222
TECHO	Laboratorio	3.21	69.36	1.6	355.692
PISO	Laboratorio	1.50	69.36	1.6	166.529
PUERTA	Laboratorio	2.58	2.40	1.6	9.912
VENT EN PUERTA	Laboratorio	5.70	0.60	1.6	5.470
VENT OESTE	Laboratorio	5.70	1.20	1.6	10.940
VENTA ESTE	Laboratorio	5.70	6.65	1.6	60.627
TOTAL					838.094

Nota: se muestra el calor total que se pierde por los materiales que componen en ambiente

El calor que se pierde por los materiales que se compone el laboratorio de control y automatización es de 0.838 kW.

La transferencia de calor por perdidas al exterior del ambiente, se realizó durante dos horas por lo cual multiplicaremos por 2 horas.

$$\dot{S}_2 = 0.838 \text{ kW} * 2\text{h}$$

$$\dot{S}_2 = 1.676 \text{ kWh}$$

Entonces:

$$\dot{S} = \dot{S}_1 + \dot{S}_2$$

$$\dot{S} = 3.836 \text{ kWh} + 1.676 \text{ kWh}$$



$$\dot{S} = 5.512 \text{ kWh}$$

Finalmente, con todos los datos que tenemos, calculamos el balance de energía con la ecuación (40), del balance de energía térmica en nuestro sistema.

Donde:

- $\dot{E} = 6.278 \text{ kWh}$
- $\dot{S} = 5.512 \text{ kWh}$
- $\dot{A} = 0.716 \text{ kWh}$

Se tiene que:

$$\dot{E} + \dot{G}/\dot{C} = \dot{S} + \dot{A}$$

$$6.278 \text{ kWh} + 0 = 5.512 + 0.716 \text{ kWh}$$

$$6.278 \text{ kWh} = 6.228 \text{ kWh}$$

3.6.2. Cálculo de la eficiencia térmica del sistema de calefacción

La energía térmica entregada al sistema por unidad de tiempo (\dot{E}) es 6.278 kWh durante dos horas. Mientras la energía térmica acumulada (\dot{A}) es el calor cedido al ambiente que se calculó también y es de 0.716 kWh, con estos datos calculados hallamos la eficiencia del sistema con la ecuación (38).

$$\text{Eficiencia} = \frac{0.716 \text{ kWh}}{6.278 \text{ kWh}} * 100\%$$

$$\text{Eficiencia} = 11.40\%$$

3.6.3. Cálculo de la ley de enfriamiento de NEWTON

La ley de enfriamiento de Newton establece que la velocidad de enfriamiento de un objeto es proporcional a la diferencia de temperatura entre el objeto y su entorno. La fórmula es:

$$\frac{dT}{dt} = -k \cdot T \quad (47)$$

Donde:

- $\frac{dT}{dt}$: velocidad de enfriamiento ($\frac{^{\circ}C}{s}$)
- k: constante de enfriamiento ($\frac{1}{s}$)
- T: temperatura ($^{\circ}C$)

Despejamos la ecuación dada para calcular la constante “k”

$$\frac{dT}{dt} = -k \cdot T$$

$$\int \frac{dT}{T} = -k \int_0^t dt$$

$$\ln T \Big|_{T_0}^T = -k \cdot t$$

$$T = T_0 \cdot e^{-k \cdot t}$$

Para utilizar esta fórmula tenemos que considerar la temperatura ambiente y el tiempo en el que se requiere calcular.

$$T(t) = T_{amb} + (T_0 - T_{amb}) \cdot e^{-k \cdot t} \quad (48)$$

Donde:

- T(t): temperatura en función del tiempo ($^{\circ}C$)



- T_{amb} : temperatura ambiente ($^{\circ}C$)
- T_0 : temperatura inicial en el acumulador ($^{\circ}C$)
- e : número de Euler
- k : constante de la ley de enfriamiento de Newton
- t : tiempo (min.)

Para calcular la k , constante de la ley de enfriamiento de Newton.

Despejamos la ecuación.

$$T(t) = T_{amb} + (T_0 - T_{amb}) \cdot e^{-k \cdot t}$$

$$\frac{T(t) - T_{amb}}{T_0 - T_{amb}} = e^{-k \cdot t}$$

$$\ln\left(\frac{T(t) - T_{amb}}{T_0 - T_{amb}}\right) = -k \cdot t$$

Usamos los datos experimentales obtenidos para graficar $\ln\left(\frac{T(t) - T_{amb}}{T_0 - T_{amb}}\right)$, en valor absoluto dividiendo este resultado con el tiempo (t). para obtener resultado requerido, por ello plasmamos en la tabla (14) datos del día 04 de setiembre de 2024 desde las 00:00 horas hasta las 03:00 a.m. para calcular la contante “ k ”.

Tabla 14

Datos para calcular la constante k

T (min)	Temp. entrada	Temp. ambiente	A	B	A/B	ln(A/B)
0	60.0	10.0				
15	59.5	9.7	49.8	50.3	0.9900596	-0.009990
30	65.4	9.6	55.8	50.4	1.1071429	0.101782
45	54.2	9.6	44.6	50.4	0.8849206	-0.122257
60	52.8	9.5	43.3	50.5	0.8574257	-0.153821

T (min)	Temp. entrada	Temp. ambiente	A	B	A/B	ln(A/B)
75	50.7	9.4	41.3	50.6	0.8162055	-0.203089
90	48.5	9.2	39.3	50.8	0.7736220	-0.256672
105	46.5	9.1	37.4	50.9	0.7347741	-0.308192
120	44.6	9.0	35.6	51.0	0.6980392	-0.359480
135	42.7	9.0	33.7	51.0	0.6607843	-0.414328
150	41.0	8.8	32.2	51.2	0.6289063	-0.463773
165	34.9	8.7	26.2	51.3	0.5107212	-0.671931
180	34.7	8.6	26.1	51.4	0.5077821	-0.677703

Nota: datos de tiempo y temperatura ambiente exterior y temperatura del acumulador obtenidas de módulo de control para calcular constante “k” durante el día de 04 de setiembre 2024

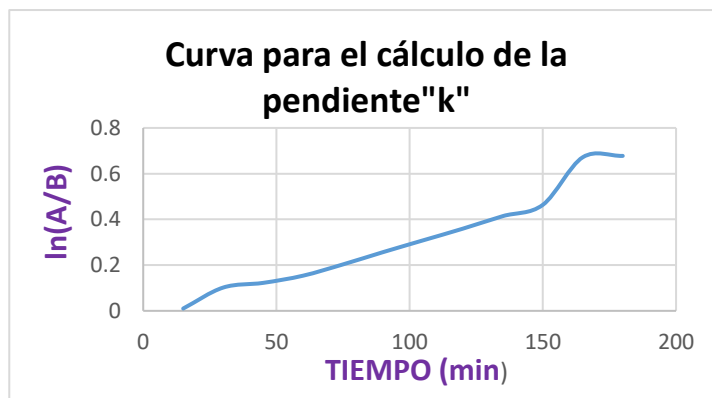
Donde:

- $T_0 = 60^\circ\text{C}$ (temperatura inicial)
- $T(t)$: temperatura en el tiempo requerido
- $A = T(t) - T_0$
- $B = T_0 - T_{\text{amb}}$

Determinamos la pendiente en la figura (21) para obtener la constante “k”, con los datos obtenidos en la tabla (14).

Figura 21

Pendiente para la obtención de la constante "k"



Nota: el gráfico representa la pendiente para el cálculo de constante “k”, con los datos del día 04 de setiembre del 2024

Donde:

$$k: 0.00389044$$

Realizamos el cálculo de la temperatura con la ley el enfriamiento de Newton, ecuación (48).

$$T(t) = T_{amb} + (T_0 - T_{amb}) \cdot e^{-k \cdot t}$$

Donde:

- $T_{amb \text{ ext}}$: 8.6 (°C)
- T_0 : 60.0 (°C)
- e : 2.7182...
- k : 0.00389044
- t : 3 horas = 180 (min)

Reemplazamos los datos en la ecuación (48)

$$T(t) = T_{amb} + (T_0 - T_{amb}) \cdot e^{-k \cdot t}$$

$$T_{(180)} = 34.1173^\circ\text{C}$$

Tabla 15

Temperatura en función al tiempo por la ley de Newton

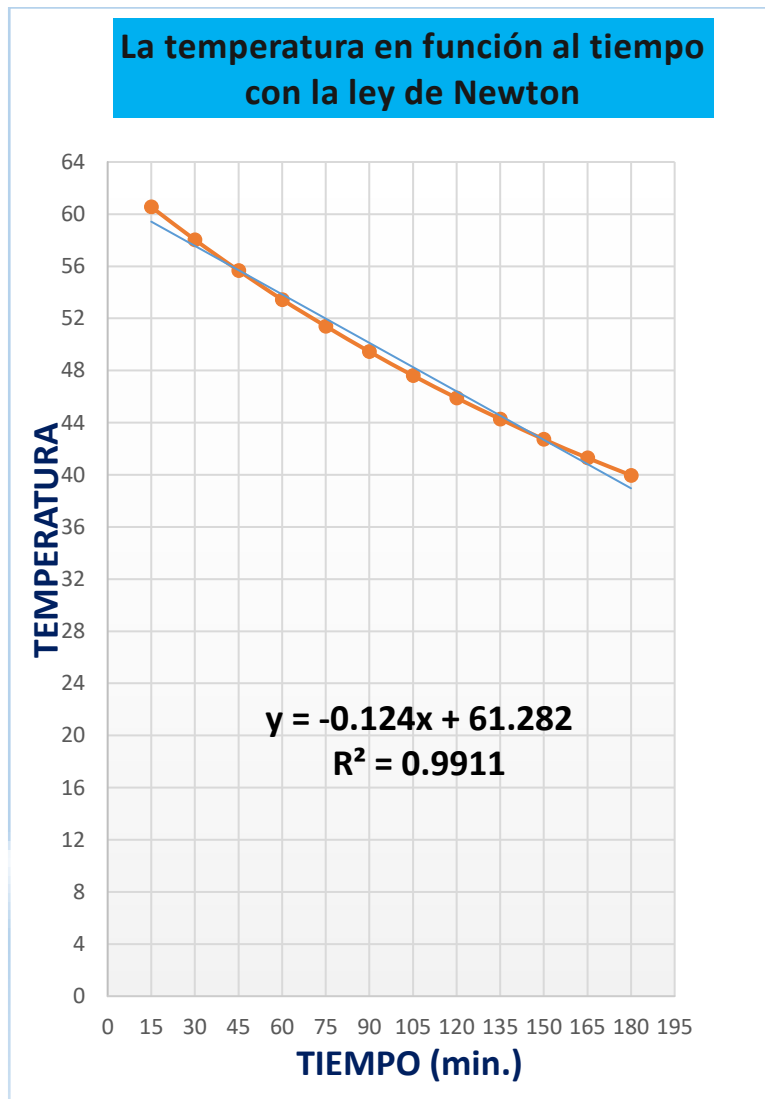
Tiempo(min)	Temperatura(°C)
15	57.15
30	54.45
45	51.91
60	49.49
75	47.19
90	44.99
105	42.93
120	40.98
135	39.16
150	37.36
165	35.70
180	34.12

Nota: la tabla muestra los resultados de la temperatura en función al tiempo calculados con la ley de enfriamiento de Newton

Las temperaturas de la tabla (15), son los resultados obtenidos al calcular con la ecuación de enfriamiento de Newton en cada tiempo requerido obteniendo la temperatura aproximada, con un margen de error, el cual corrobora con los datos experimentales adquiridos por nuestro módulo de control ubicado en el laboratorio de control y automatización. En la figura (22), graficamos los resultados de la tabla (15).

Figura 22

Gráfico de la curva de la temperatura en función al tiempo calculado con la ley de enfriamiento de Newton



Nota: el gráfico muestra la curva de la temperatura en función al tiempo y se realiza un ajuste y un coeficiente de determinación (R^2) indicando que hay una relación fuerte.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

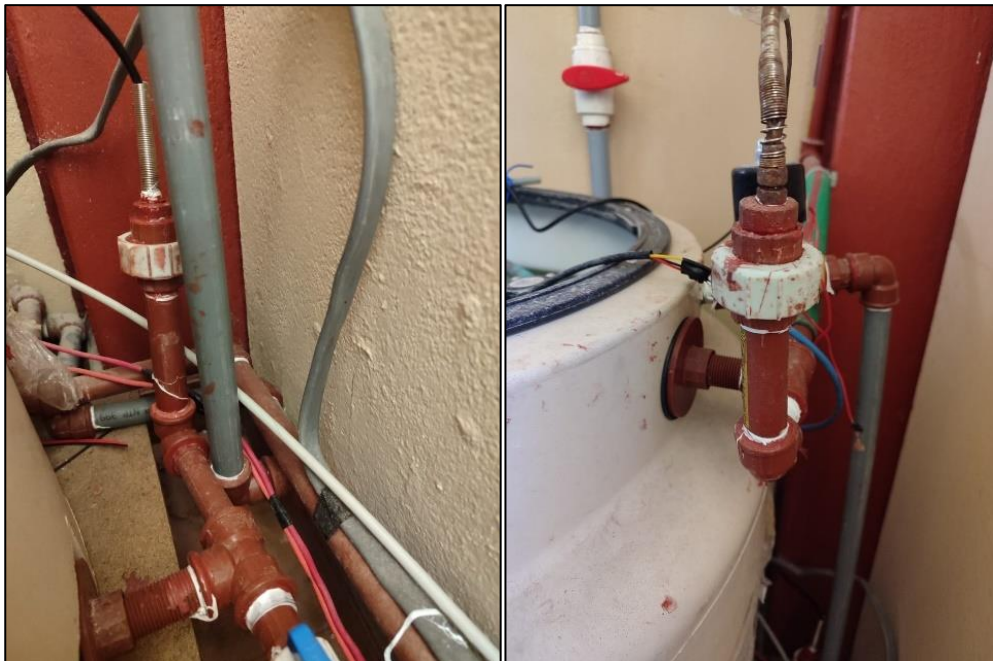
4.1. RESULTADOS

4.1.1. Implementación de un sistema de medición de parámetros

Al implementar un sistema de parámetros térmicos al acumulador térmico y al sistema de calefacción, nos permitió evaluar las características térmicas que nos admite determinar la operación del sistema de calefacción mediante radiadores de agua. No se llegó a tener una operación óptima que proporcione el confort térmico.

Figura 23

Sensores instalados en diferentes partes del sistema



Nota: puntos donde se instalaron sensores de temperatura PT-100, en el sistema de calefacción



4.1.2. Balance de energía

Según a los datos obtenidos nuestro balance de energía, donde el calor cedido al sistema es de 1.940 kW, mientras que el calor absorbido de 1.695 kW en el mismo tiempo y el calor de las perdidas 0.082 kW.

Según el análisis que se realizó mediante los resultados, el balance de energía no es óptimo, ya que posiblemente hemos tenido errores en adquirir los datos recolectados por la ubicación de los sensores o tal vez no identificamos algunas perdidas que haya podido tener el acumulador térmico.

Se presenta características del sistema de calefacción mediante radiadores de agua recolectadas por el módulo de control. Los registros de la temperatura en el momento en que el sistema entró en operación.

Tabla 16

Datos recolectados de módulo de plc el jueves 25 de julio de 2024

Hora	T1	T2	T3	T4	T5	T7	T9
15:21:45	32.0	81.5	54	22.3	20.7	30.8	16.6
15:22:45	32.3	80.5	54.4	23.3	20.5	31.5	16.8
15:23:45	32.5	79.3	54.4	24.0	20.3	31.8	16.7
15:24:45	32.4	77.9	53.9	24.7	20.2	32.3	16.7
15:25:45	32.4	76.6	53.4	25.2	20.0	32.6	16.7
15:26:45	32.4	75.6	52.7	25.6	19.9	33.0	16.6
15:27:45	32.4	74.6	52.1	26.1	19.8	33.5	16.4
15:28:45	31.9	73.9	51.5	26.4	19.7	33.8	16.4
15:29:45	32.0	73.0	50.9	26.7	19.6	34.1	16.4
15:30:45	32.0	72.4	50.5	27.1	19.4	34.3	16.5
15:31:45	31.7	71.8	50.0	27.4	19.3	34.6	16.5
15:32:45	31.9	71.2	49.5	27.7	19.3	34.7	16.5
15:33:45	32.0	70.8	48.8	27.9	19.2	35.0	16.6
15:34:45	31.7	70.4	48.6	28.1	19.1	35.3	16.4
15:35:45	31.9	70.0	48.2	28.3	19.0	35.5	16.4
15:36:45	31.8	69.7	48.0	28.4	19.0	35.5	16.2
15:37:45	31.8	69.1	47.4	28.4	18.9	35.8	16.1
15:38:45	31.8	68.8	47.2	28.7	18.8	35.9	16.0
15:39:45	31.8	68.4	46.9	28.9	18.7	36.0	16.0



Hora	T1	T2	T3	T4	T5	T7	T9
15:40:45	31.7	68.2	46.5	28.9	18.7	36.2	15.8
15:41:45	31.8	67.7	46.2	29.0	18.6	36.3	15.9
15:42:45	31.7	67.5	46.0	29.2	18.6	36.5	15.9
15:43:45	31.9	67.2	45.7	29.2	18.5	36.6	15.9
15:44:45	31.3	66.9	45.4	29.5	18.4	36.7	15.7
15:45:45	31.6	66.6	45.1	29.3	18.4	36.7	15.6
15:46:45	31.9	66.3	44.9	29.5	18.3	36.8	15.4
15:47:45	31.7	66.0	44.6	29.6	18.3	36.9	15.3
15:48:45	31.4	65.6	44.4	29.6	18.2	37.0	15.2
15:49:45	31.3	65.4	44	29.6	18.2	37.1	15.1
15:50:45	31.4	65.0	43.8	29.7	18.1	37.1	15.0
15:51:45	31.5	64.7	43.5	29.6	18.0	37.1	14.9
15:52:45	31.5	64.5	43.3	29.7	18.0	37.3	14.9
15:53:45	31.5	64.2	43.1	29.7	18.0	37.3	14.9
15:54:45	31.4	63.9	42.9	29.6	17.9	37.3	14.9
15:55:45	31.5	63.8	42.5	29.7	17.9	37.4	15.0
15:56:45	31.3	63.4	42.4	29.7	17.9	37.5	15.1
15:57:45	31.4	63.4	42.2	29.7	17.8	37.6	15.1
15:58:45	31.4	63.2	42.2	29.7	17.8	37.6	15.1
15:59:45	31.4	63.0	41.8	29.7	17.7	37.6	15.1
16:00:45	31.2	62.9	41.7	29.8	17.7	37.7	15.1
16:01:45	31.2	62.6	41.6	29.8	17.7	37.6	15.1
16:02:45	31.1	62.4	41.5	29.9	17.6	37.6	15.1
16:03:45	31.3	62.3	41.3	29.9	17.6	37.8	15.0
16:04:45	31.2	62.2	41.2	29.9	17.5	37.8	15.1
16:05:45	31.2	62.0	41.1	29.8	17.5	37.9	15.1
16:06:45	31.3	61.9	41.0	29.8	17.5	37.9	15.0
16:07:45	31.4	61.9	40.9	29.8	17.5	37.9	15.0
16:08:45	31.3	61.6	40.8	29.8	17.4	37.8	15.1
16:09:45	31.3	61.6	40.7	29.9	17.4	37.9	15.2
16:10:45	31.5	61.6	40.7	29.9	17.4	38.0	15.2
16:11:45	31.5	61.5	40.6	29.9	17.3	37.9	15.2
16:12:45	31.5	61.5	40.5	29.9	17.3	37.9	15.3
16:13:45	31.6	61.5	40.6	29.8	17.3	38.0	15.4
16:14:45	31.5	61.4	40.5	29.9	17.3	38.0	15.6
16:15:45	31.6	61.4	40.5	29.9	17.2	38.1	15.7
16:16:45	31.6	61.4	40.4	29.9	17.2	38.0	15.7
16:17:45	31.5	61.3	40.5	30.0	17.2	38.0	15.7
16:18:45	31.6	61.3	40.3	29.9	17.2	38.0	15.6
16:19:45	31.5	61.1	40.3	29.9	17.1	38.0	15.5
16:20:45	31.5	61.0	40.4	29.9	17.1	38.2	15.4
16:21:45	31.4	60.9	40.0	29.9	17.1	38.1	15.3

Nota: datos recolectados por el módulo de control

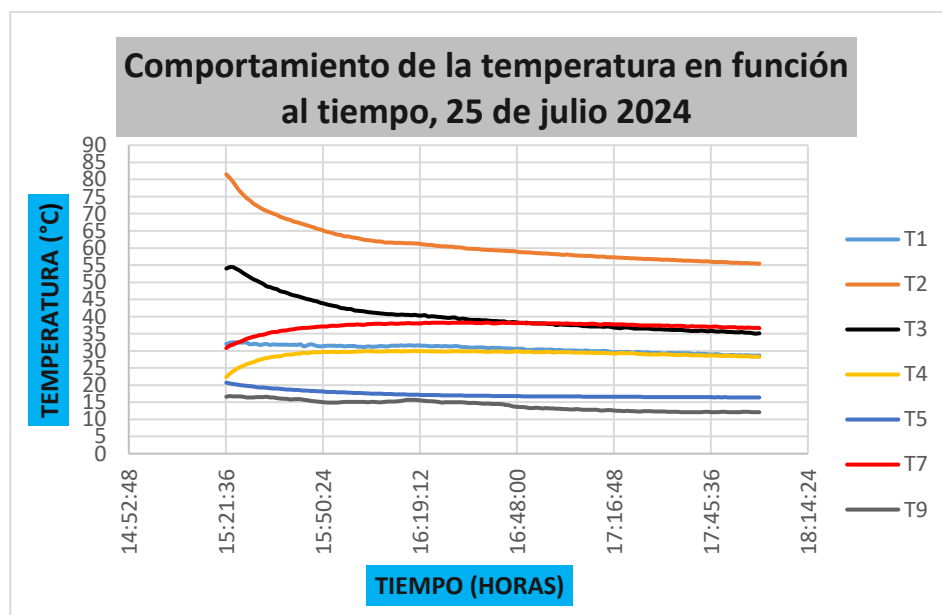
En la tabla (16), se muestran los datos recolectados por el módulo de control durante el 25 del mes de julio del 2024, en horas de la tarde.

Donde:

- T2: temperatura acumulada en la terma solar.
- T3: temperatura de ingreso del serpentín en el acumulador de calor.
- T4: temperatura de salida del serpentín en el acumulador de calor.
- T5: temperatura ambiente.
- T7: temperatura en el tanque acumulador de calor.
- T9: temperatura en el exterior.

Figura 24

Comportamiento de las temperaturas en el acumulador térmico sin carga



Nota: el gráfico muestra el comportamiento de las temperaturas respecto al tiempo

En la figura (24), podemos apreciar el comportamiento de las temperaturas de entrada, hacia el serpentín (T3), de salida del serpentín (T4) y la temperatura de agua en el acumulador de calor (T7) durante el tiempo de operación.

Para la muestra evaluada se realizó la prueba t de student con variables independientes de temperatura de entrada y la temperatura del acumulador.

Prueba de hipótesis:

- $H_0: \mu_e - \mu_a = 0$ (las medias de las dos temperaturas son iguales)
- $H_1: \mu_e - \mu_a \neq 0$ (las medias de las dos temperaturas son diferentes)

Nivel de significancia:

- $\alpha = 0.05$

Tabla 17

Resultados de la prueba t para la muestra de temperatura de entrada y temperatura del acumulador

Prueba t para dos muestras	T entrada	T acumulador
Media	44.92	36.40
Varianza	19.79	3.64
Desviación estándar	0.264	0.264
Muestra (n)	61.00	61.00
ΔT	8.51	
Varianza agrupada	11.71	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	120	
Estadístico t	13.73739982	
$P(T \leq t)$ una cola	1.10247E-26	
Valor crítico de t (una cola)	1.657650899	
$P(T \leq t)$ dos colas	2.20495E-26	
Valor crítico de t (dos colas)	1.979930405	

CONCLUSIÓN: existe una diferencia significativa entre la temperatura de entrada y la temperatura del acumulador. La prueba t indica que es muy improbable que la temperatura de entrada y la temperatura del acumulador tengan la misma media. Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula H_0 .

Nota: prueba t student para muestras realizadas en Excel con análisis de datos

4.1.3. Eficiencia térmica y capacidad de almacenamiento de energía

térmica

La eficiencia del acumulador térmico se midió como la relación entre la energía térmica almacenada y la energía térmica suministrada. Y el valor que obtuvimos es 87.37% indicándonos que el acumulador puede almacenar y devolver aproximadamente el 87.37% de la energía térmica que se le ha suministrado, mientras que el resto (12.68%) se pierde en forma de calor u otros procesos. (perdidas por fricción, aproximaciones incorrectas, variaciones de las propiedades del agua, flujo no uniforme, capa límite de velocidad). Por lo tanto, en nuestro caso, el acumulador tiene una eficiencia moderadamente alta, pero no es óptima. Podría haber espacio para mejorar su diseño o funcionamiento para aumentar su eficiencia.

La capacidad de almacenamiento de energía térmica del agua de 200 kilogramos es de 6102.8 (kJ), en un periodo de tiempo de una hora, con una diferencia de temperatura de 7.3°C.

4.1.4. Eficiencia térmica del sistema de calefacción

Como resultado se obtuvo una eficiencia térmica del sistema de calefacción con radiadores de agua tiene una eficiencia de 11.40% con respecto al acumulador térmico. La baja eficiencia se debe a las pérdidas de calor que se tienen en las tuberías que no tienen aislamiento térmico.

4.2. DISCUSIÓN

Vargas (2016) en su investigación titulada implementación de un sistema de calefacción solar térmico: análisis energético y económico, concluyó que una eficiencia térmica del sistema de calefacción solar es de 36.8%. La baja eficiencia se debe a las



pérdidas de calor que se tienen en el colector solar térmico, en las tuberías y la baja potencia del ventilador de aire ya que el radiador tiene una mayor capacidad de intercambio de calor, donde puso su sistema en operación durante un periodo de 3 horas entre las 9:00 am hasta las 12:00 del mediodía, con una temperatura ambiente inicial de 16°C y temperatura exterior inicial de 11°C y temperatura ambiente final aproximado de 20°C y temperatura exterior final aproximado de 20 °C.

Según la evaluación que realizamos, el sistema de calefacción con radiadores de agua tiene una eficiencia de 11.40% con respecto al acumulador térmico. En donde el sistema entró en funcionamiento durante un periodo de dos horas, entre la media noche (00:40 am) hasta las 02:40 a.m. Con una temperatura ambiente inicial de 16.6°C y una temperatura exterior inicial 9.6°C y temperatura ambiente final aproximado de 17.7°C y temperatura exterior final aproximado de 8.7 °C.

Moreno (2013) menciona que al adicionar PCM en las edificaciones y ambientes donde se trabaja con materiales inflamables se debe de tener en consideración la inflamabilidad de estos productos sobre todo con los PCM orgánicos que son inflamables.

En la evaluación que realizamos al diseño del sistema de calefacción se utiliza radiador de aluminio que no es inflamable, también las tuberías y conectores son ignífugos, por lo tanto, es más seguro para ambientes donde se tienen riesgo de incendios.



V. CONCLUSIONES

- Al realizar una evaluación energética de un acumulador térmico de un sistema de calefacción mediante radiadores de agua se implementó un sistema de adquisición de parámetros térmicos que permitió analizar las características y comportamiento de la temperatura en función al tiempo y la transferencia de calor. Para tener una operación óptima en ambiente estudiado es necesario aumentar radiadores de agua en cada pared por ende también aumentar acumuladores térmicos para que el sistema de calefacción proporcione el confort térmico requerido con el mínimo consumo de energía.
- Al efectuar el balance de energía, el calor cedido es de 1.940 kW y la suma del calor absorbido y el calor perdido es 1.777 kW y al comparar notamos que hay una diferencia de 0.163 kW. Concluimos que el balance de energía no coincide energéticamente por la diferencia que hay 0.163 kW de energía que no se ha contabilizado correctamente en el balance. Esto podría deberse a errores en la medición de calor cedido, absorbido, perdido o a la omisión de algún mecanismo de pérdida de calor no identificadas en el análisis (perdidas por radiación o fugas de energía no detectadas). Por otra parte, es posible que los valores medidos no sean precisos. Asimismo, El calor no se distribuye uniformemente en el sistema, parte de él podría no estar disponible para ser absorbido eficientemente, lo que nos generar esta discrepancia.
- Con la eficiencia térmica del acumulador estudiado el cual es de 87.37%, podemos concluir que, aunque el sistema de acumulación de calor es moderadamente efectivo, hay una cantidad significativa de energía que se pierde, principalmente debido a ineficiencias en la transferencia y conservación del calor. Es necesario el uso de



aislamiento térmico en el acumulador ya que en el estudio realizado se encuentra en el ambiente interior por lo tanto tiene pérdidas mínimas a diferencia de encontrarse en el exterior, la pérdida aumentaría significativamente. Una eficiencia menor al 100% es común en la práctica debido a las inevitables pérdidas de energía en cualquier sistema real. Sin embargo, al entender y cuantificar estas pérdidas, es posible implementar mejoras para acercarse más al rendimiento ideal. Igualmente, la capacidad de almacenamiento de energía térmica del acumulador es 6102.8 kJ esta es la cantidad de energía que el agua de 200 kilogramos que se encuentra en el acumulador térmico puede almacenar al calentarse desde 30.8 °C hasta 38.1 °C.

- Con respecto a la eficiencia térmica del sistema de calefacción evaluado, es de 11.40%, el cual es muy bajo porque tiene bastante pérdidas de calor, principalmente en las tuberías del sistema de calefacción ya que no se encuentran aisladas térmicamente y funcionó durante la noche, estos hacen que las pérdidas de calor sean considerables.



VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda instalar y ubicar sensores de temperatura en un acumulador térmico o en un sistema de calefacción mediante radiadores de agua, siguiendo ciertas recomendaciones para garantizar un funcionamiento eficiente y obtener datos precisos, instalando sensores en lugares estratégicos del sistema de calefacción. También, asegurar de que todos los sensores estén integrados en el sistema de control para monitorear y ajustar automáticamente la temperatura del agua en función de las necesidades del sistema.
- Para futuras investigaciones sobre el balance de energía recomendamos revisar las mediciones y cálculos, asegurando de que todas las mediciones sean precisas y que se hayan considerado todas las posibles formas de pérdida de calor y de la misma forma, evaluar pérdidas adicionales considerando la posibilidad de factores que podrían estar afectando la transferencia de calor, como la estratificación térmica, fugas en el sistema, o problemas de aislamiento.
- Se propone realizar investigaciones en la transferencia de calor con diferentes tipos de intercambiadores de calor como (serpentines con aletas, intercambiadores compactos, otros). Donde el área de contacto de los intercambiadores de calor sea mayor y la transferencia de calor se de en el menor tiempo posible.
- Se plantea realizar una investigación para aislar térmicamente las tuberías del sistema de calefacción con dos tipos diferentes de aislamiento térmico para estudiar con cuál de ellos podría mejora óptimamente la eficiencia térmica del sistema de calefacción.



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvarado, R., y Vallejo, C. (2015). El eterno retorno del fenómeno de las heladas en el Perú: ¿Existen adecuadas políticas para combatir dicho fenómeno en el Perú? https://repositorio.usmp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12727/1784/rosales_caminada.pdf?sequence=3&isAllowed=y
- Berrio Huarahuara, W. R., & Hanco Mamani, F. (2017). Diseño de un prototipo de calefacción por m^2 de superficie de piso radiante utilizando PCMS aprovechando la energía solar térmica en la ciudad de Puno. http://tesis.unap.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14082/4753/Berrio_Huarahuara_Willy_Renan_Hanco_Mamani_Fredy.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Chiné Roca, S. (2018). Sistema De Control Y Monitorización Energética De Caldera. <https://repositori.udl.cat/server/api/core/bitstreams/eac61426-76bc-4ac3-872f-979f8ab39583/content>
- Daniel, G., Albert, C., & Luisa F., C. (2006). Estudio sobre el sistema de almacenamiento de agua caliente sanitaria en un sistema solar térmico. https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099/1361/14_AlmacenajeACS_cs.pdf
- Domancic Herrera, P. (2008). Diseño de un sistema de calefacción solar para un edificio público. http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/103169/domancic_p.pdf?sequence=3&isAllowed=y
- Domínguez, M., Del, I., & Csic, F. (n.d.). La acumulación de frío con materiales de cambio de fase. microencapsulación. 1. <https://digital.csic.es/bitstream/10261/12566/1/Genera%202009%20mda.pdf>
- Esteves, A., & Gelardi, D. (2010). Relación entre la ganancia solar y la calefacción auxiliar para dos tipos de envolvente formal edilicia. https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/191100/CONICET_Digital_Nro.4ba07e50-b346-4968-b199-03887fd7773b_A.pdf?sequence=2&isAllowed=y



- Ferrer, J. M. I. (2015). Dimensionado de un sistema térmico solar mediante simulación y su validación energética. *Revista Científica de Ingeniería Energética*.
<http://scielo.sld.cu/pdf/rie/v34n1/rie06113.pdf>
- Ñaupas, H., & Paitán, Marcelino Raúl Valdivia Dueñas, Jesús Josefa Palacios Vilela, H. E. R. D. (2018). Metodología de la investigación cuantitativa-cualitativa y redacción de la tesis.
http://www.biblioteca.cij.gob.mx/Archivos/Materiales_de_consulta/Drogas_de_Abuso/Articulos/MetodologiaInvestigacionNaupas.pdf
- Ogata, K. (2010). *Ingeniería de Control Moderna*.
<https://ingenierovizcaino.com/material/libros/sd/ingeniería-de-control-moderna-ogata-5ed.pdf>
- Oliver Ramírez, A. (2009). Integración de materiales de cambio de fase en placas de yeso reforzadas con fibras de polipropileno. *Universidad Politécnica de Madrid*.
https://oa.upm.es/2910/1/ALICIA_OLIVER_RAMIREZ.pdf
- Roman Rojas, J. M. (2019). Trabajo de Fin de Máster Máster en Ingeniería Industrial Modelado y simulación de sistemas de almacenamiento térmico estratificado.
https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/92512/TFM-1444_ROMAN.pdf?sequence=3&isAllowed=y
- Saavedra Salluca, M. B., & Mamani Cruz, Y. (2021). Diseño de un sistema de acumulación térmica y controladores para aplicaciones de calefacción con termas solares, en la región altoandina - Puno. *Universidad Nacional del Altiplano*.
http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14082/16711/Saavedra_Mario_Mamani_Yony.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Salinas Mena, M. A. (2020). Tecnología para la optimización del proceso de calefacción y otros beneficios de confort de habitabilidad de un prototipo domo experimental utilizando materiales de cambio de fase (pcm) instalado en la ciudad de Urubamba - Cusco *Universidad Nacional del Altiplano*
- Salluca Saavedra, M. B., & Mamani Cruz, Y. (2021). Diseño de un sistema de acumulación térmica y controladores para aplicaciones de calefacción con termas



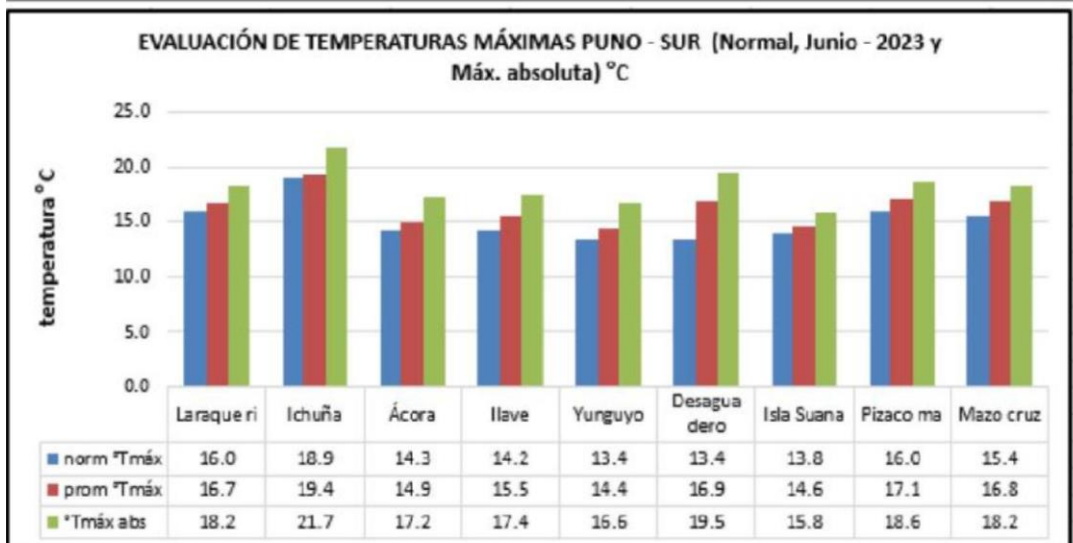
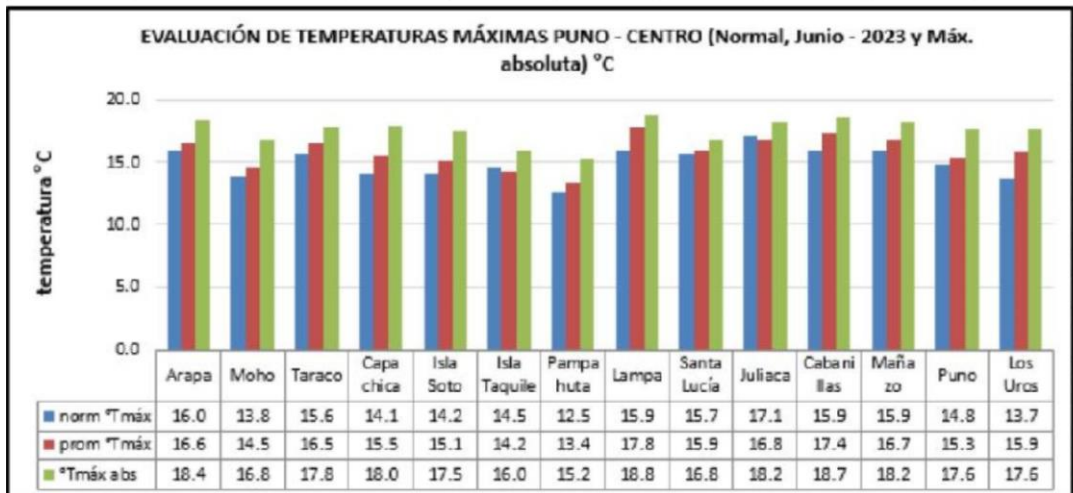
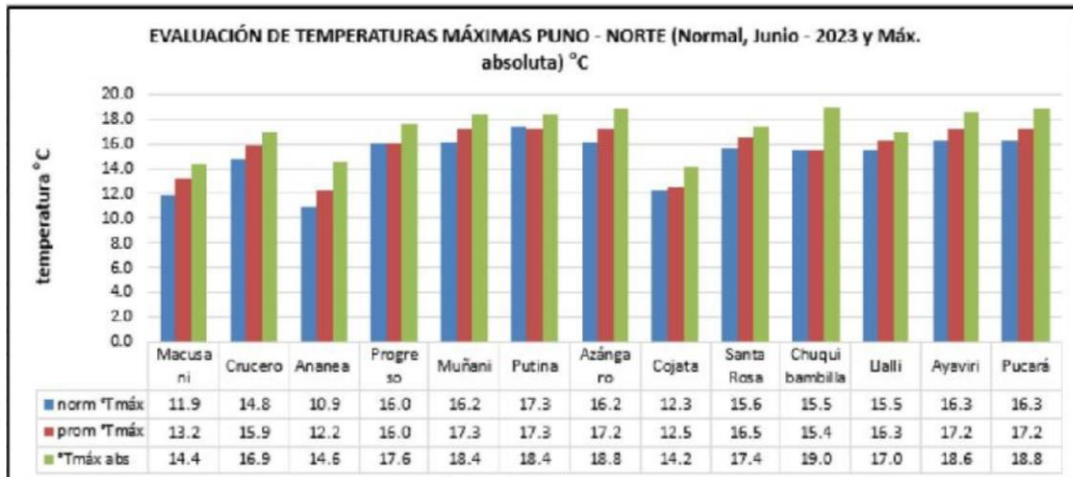
solares, en la región altoandina - Puno. *Universidad Nacional Del Altiplano*.
<http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/16711>

Yunus A., Ç., & Michael A., B. (2006). *Termodinamica - Cengel 5th.pdf* (pp. 127–132).

ANEXOS

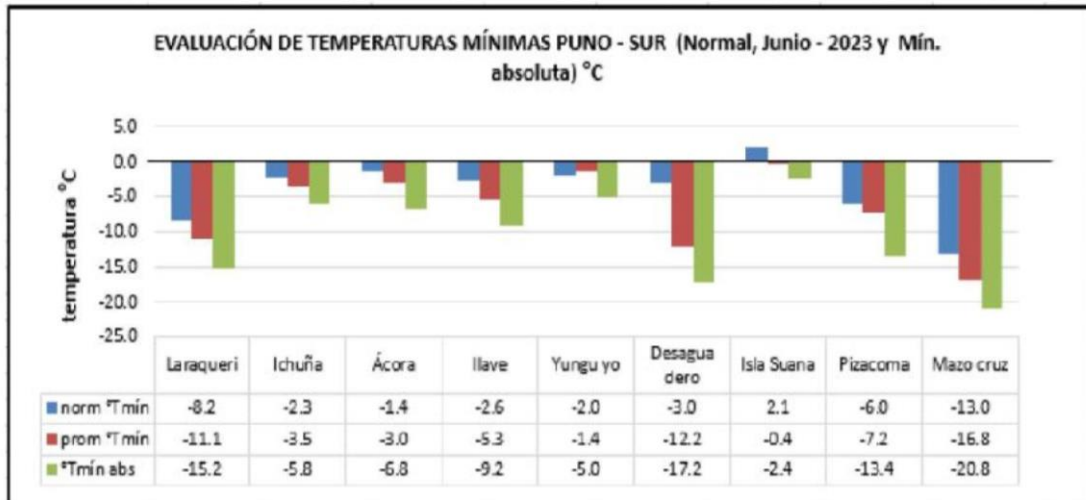
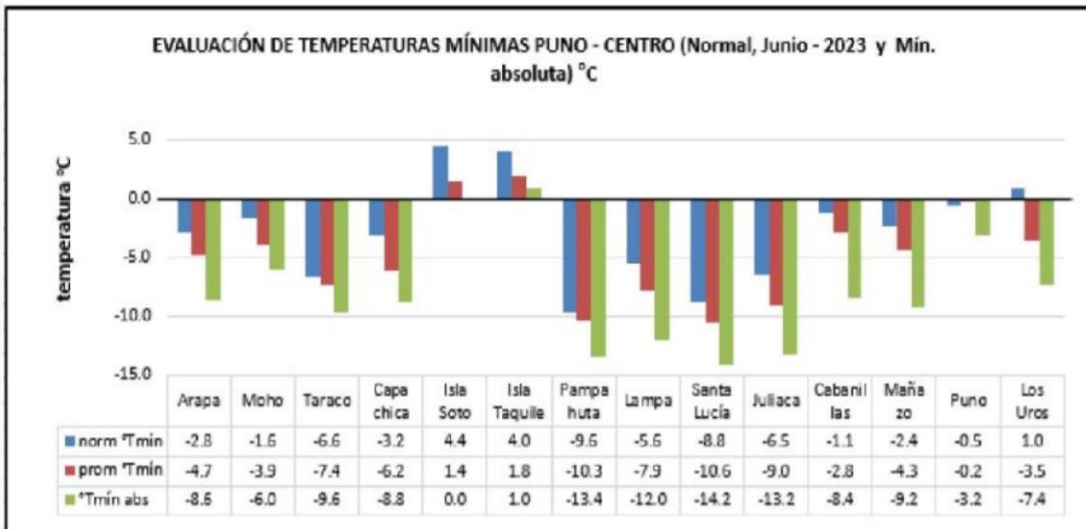
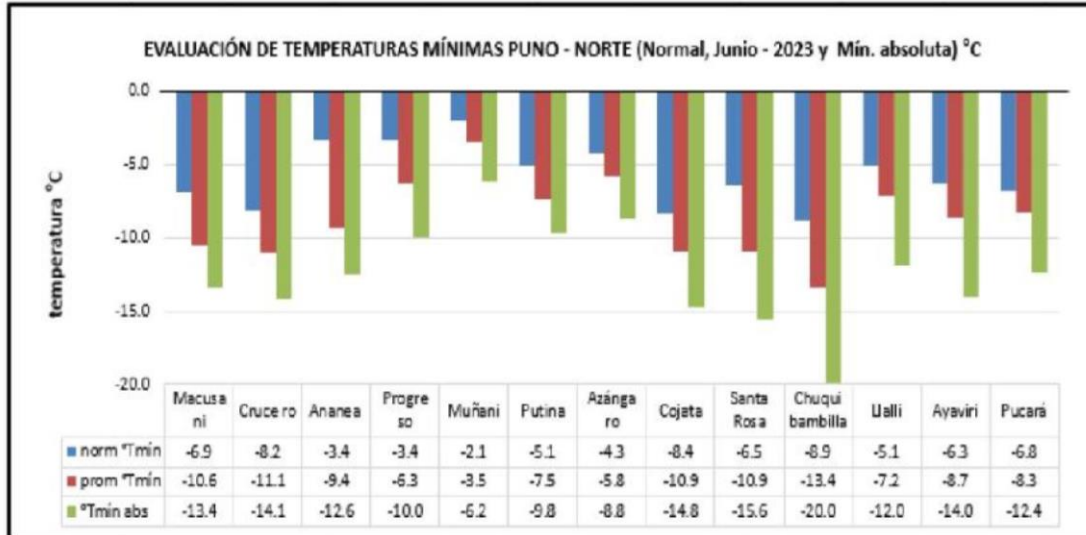
ANEXO 1: Temperaturas máximas Puno-norte, centro y sur (Normal, Junio - 2023)

tomada de Boletín Regional Puno N° 06 Junio 2023 – SENAMHI.



ANEXO 2: Temperaturas mínimas Puno-norte, centro y sur (Normal, Junio - 2023)

tomada de Boletín Regional Puno N° 06 Junio 2023 – SENAMHI.





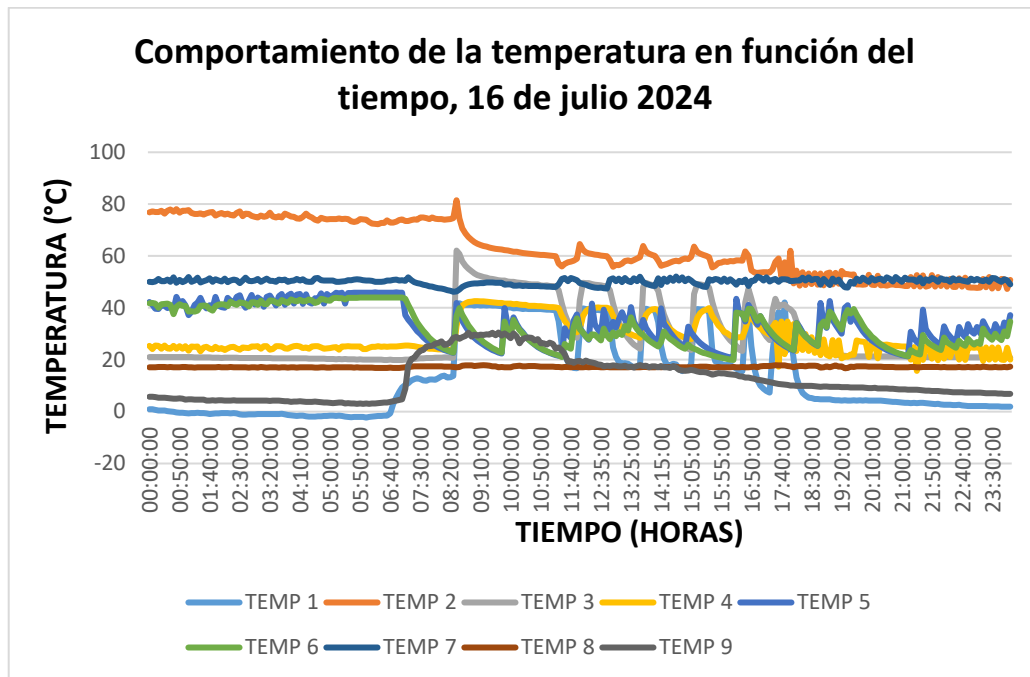
ANEXO 3: Viscosidad dinámica del agua líquida a varias temperaturas

Viscosidad dinámica del agua líquida a varias temperaturas www.vaxasoftware.com

Temperatura °C	Viscosidad dinámica kg / (m·s)	Temperatura °C	Viscosidad dinámica kg / (m·s)	Temperatura °C	Viscosidad dinámica kg / (m·s)
0	0,001792	34	0,000734	68	0,000416
1	0,001731	35	0,000720	69	0,000410
2	0,001674	36	0,000705	70	0,000404
3	0,001620	37	0,000692	71	0,000399
4	0,001569	38	0,000678	72	0,000394
5	0,001520	39	0,000666	73	0,000388
6	0,001473	40	0,000653	74	0,000383
7	0,001429	41	0,000641	75	0,000378
8	0,001386	42	0,000629	76	0,000373
9	0,001346	43	0,000618	77	0,000369
10	0,001308	44	0,000607	78	0,000364
11	0,001271	45	0,000596	79	0,000359
12	0,001236	46	0,000586	80	0,000355
13	0,001202	47	0,000576	81	0,000351
14	0,001170	48	0,000566	82	0,000346
15	0,001139	49	0,000556	83	0,000342
16	0,001109	50	0,000547	84	0,000338
17	0,001081	51	0,000538	85	0,000334
18	0,001054	52	0,000529	86	0,000330
19	0,001028	53	0,000521	87	0,000326
20	0,001003	54	0,000512	88	0,000322
21	0,000979	55	0,000504	89	0,000319
22	0,000955	56	0,000496	90	0,000315
23	0,000933	57	0,000489	91	0,000311
24	0,000911	58	0,000481	92	0,000308
25	0,000891	59	0,000474	93	0,000304
26	0,000871	60	0,000467	94	0,000301
27	0,000852	61	0,000460	95	0,000298
28	0,000833	62	0,000453	96	0,000295
29	0,000815	63	0,000447	97	0,000291
30	0,000798	64	0,000440	98	0,000288
31	0,000781	65	0,000434	99	0,000285
32	0,000765	66	0,000428	100	0,000282
33	0,000749	67	0,000422		

Nota: tomada de https://www.vaxasoftware.com/doc_edu/qui/viscoh2o.pdf

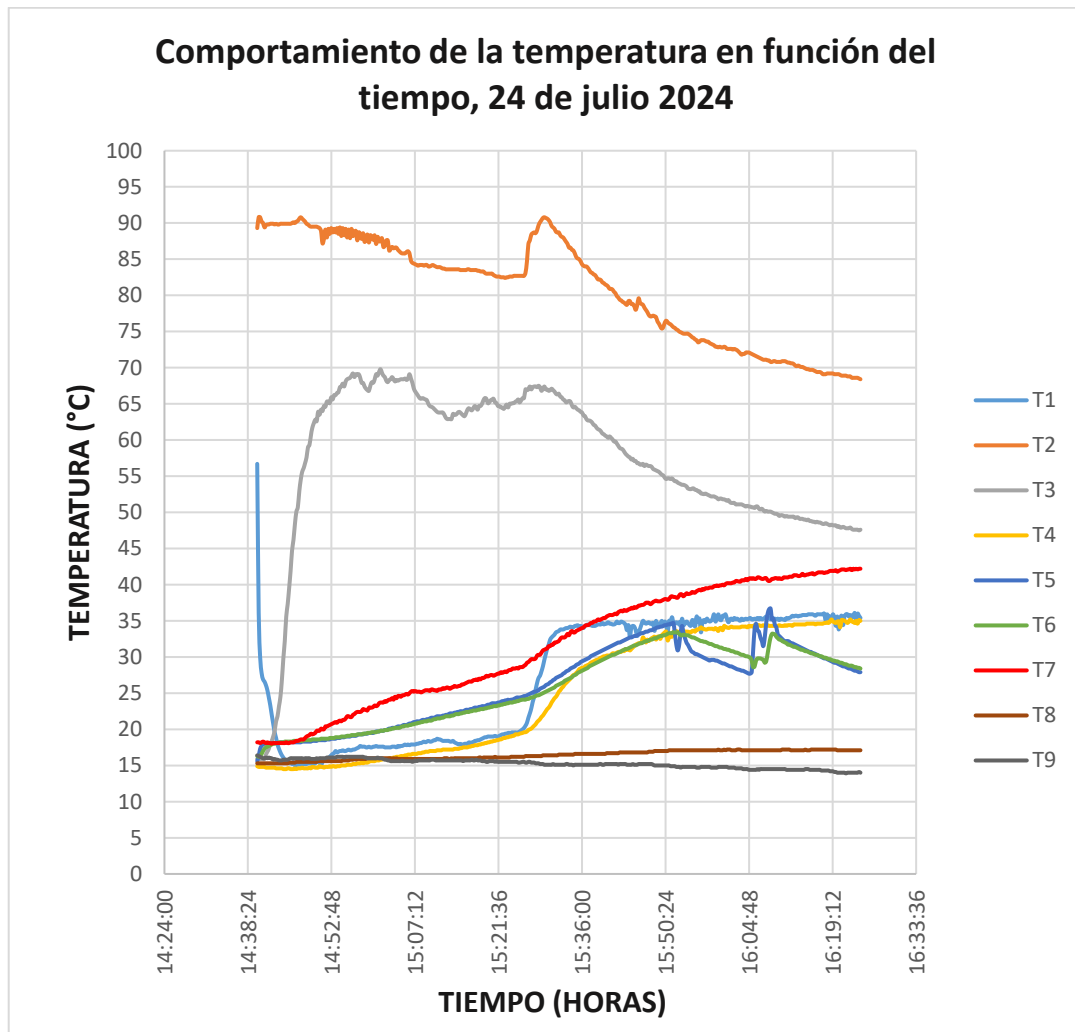
ANEXO 4: Gráfico del sistema de calefacción en el laboratorio de la EPIME



Nota: representa la temperatura del sistema de calefacción con respecto al tiempo

- T1: temperatura de la salida alimentador
- T2: temperatura acumulada
- T3: temperatura de la entrada del acumulador térmico
- T4: temperatura de la salida del acumulador térmico
- T5: temperatura de la entrada del radiador de agua
- T6: temperatura de la salida del radiador de agua
- T7: temperatura en el acumulador térmico
- T8: temperatura ambiente
- T9: temperatura del exterior

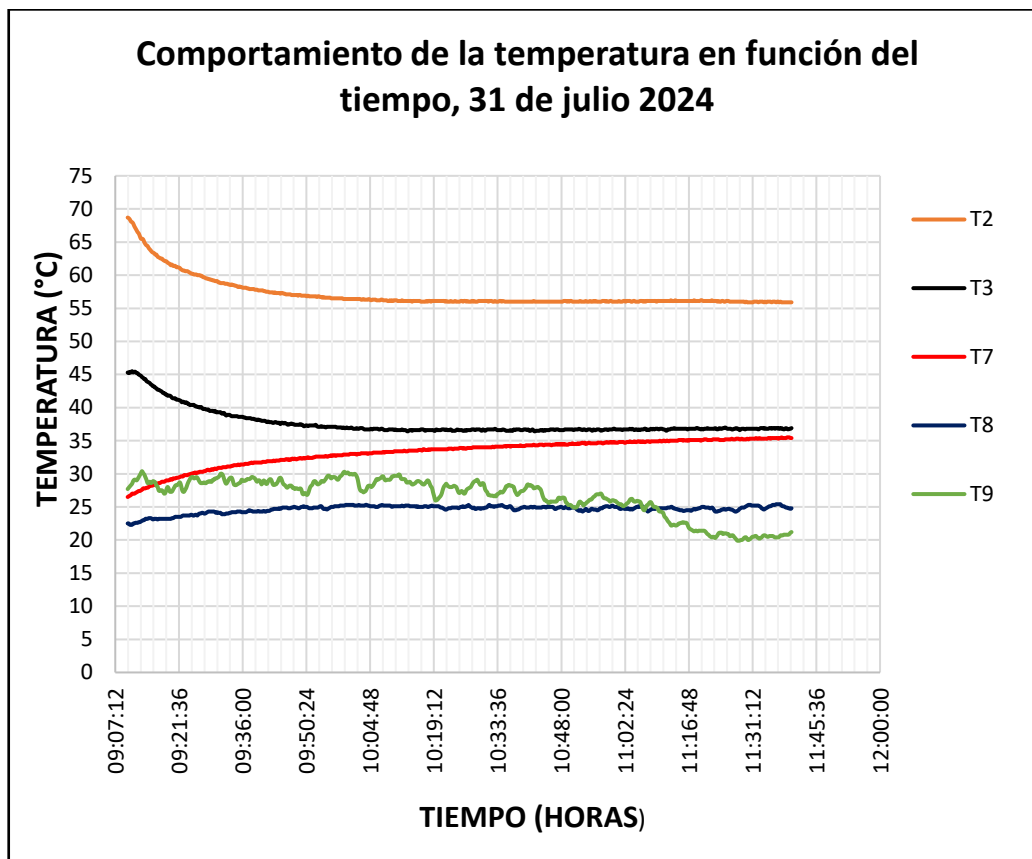
ANEXO 5: Comportamiento de las temperaturas en el acumulador térmico con carga



Nota: el gráfico muestra el comportamiento de la temperatura en función al tiempo

- T1: temperatura de retorno al acumulador solar
- T2: temperatura acumulada en la terma solar
- T3: temperatura de ingreso del serpentín en el acumulador de calor
- T4: temperatura de salida del serpentín en el acumulador de calor
- T5: temperatura en el ingreso al radiador de agua
- T6: temperatura de salida del radiador de agua
- T7: temperatura en el tanque acumulador de calor
- T8: temperatura en el ambiente
- T9: temperatura exterior

ANEXO 6: Gráfico del comportamiento de la temperatura en función al tiempo, sin carga, el día miércoles 31 de julio 2024.

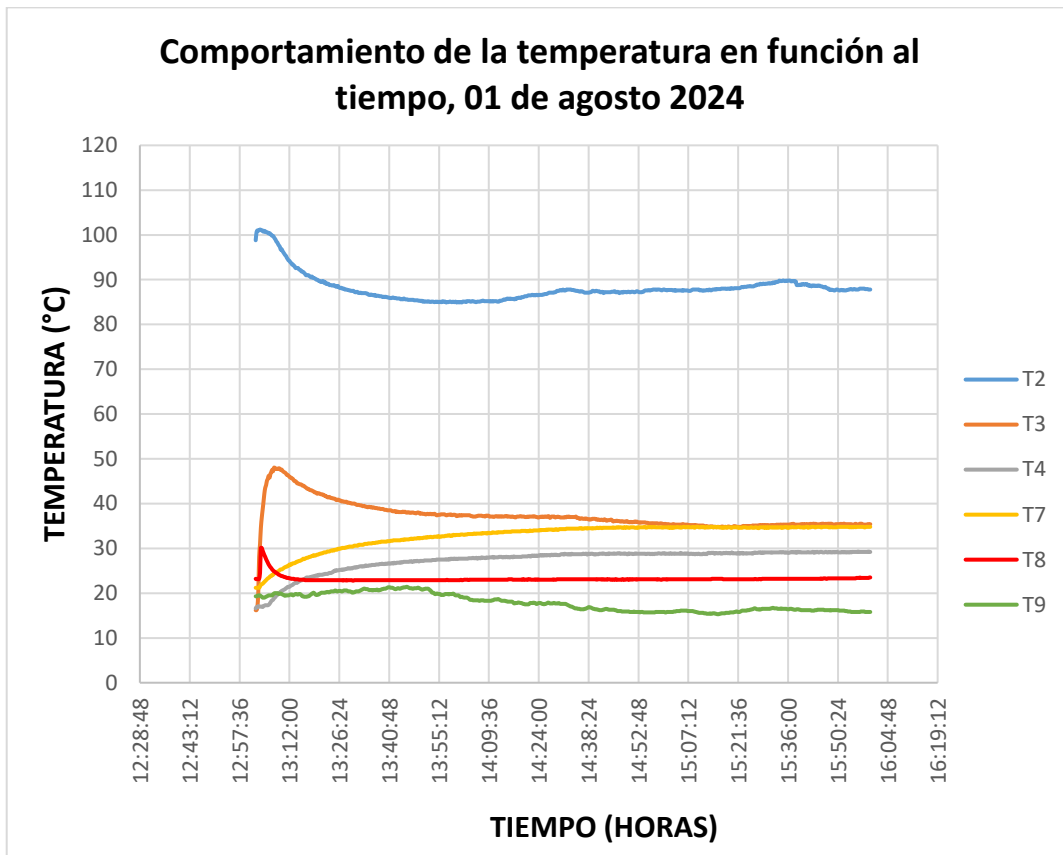


Nota: el gráfico muestra el comportamiento de la temperatura en función al tiempo

Donde:

- T2: temperatura acumulada en la terma solar
- T3: temperatura de ingreso del serpentín en el acumulador de calor
- T7: temperatura en el tanque acumulador de calor
- T8: temperatura en el ambiente
- T9: temperatura exterior

ANEXO 7: Gráfico del comportamiento de la temperatura en función al tiempo, sin carga, el día miércoles 01 de agosto 2024.

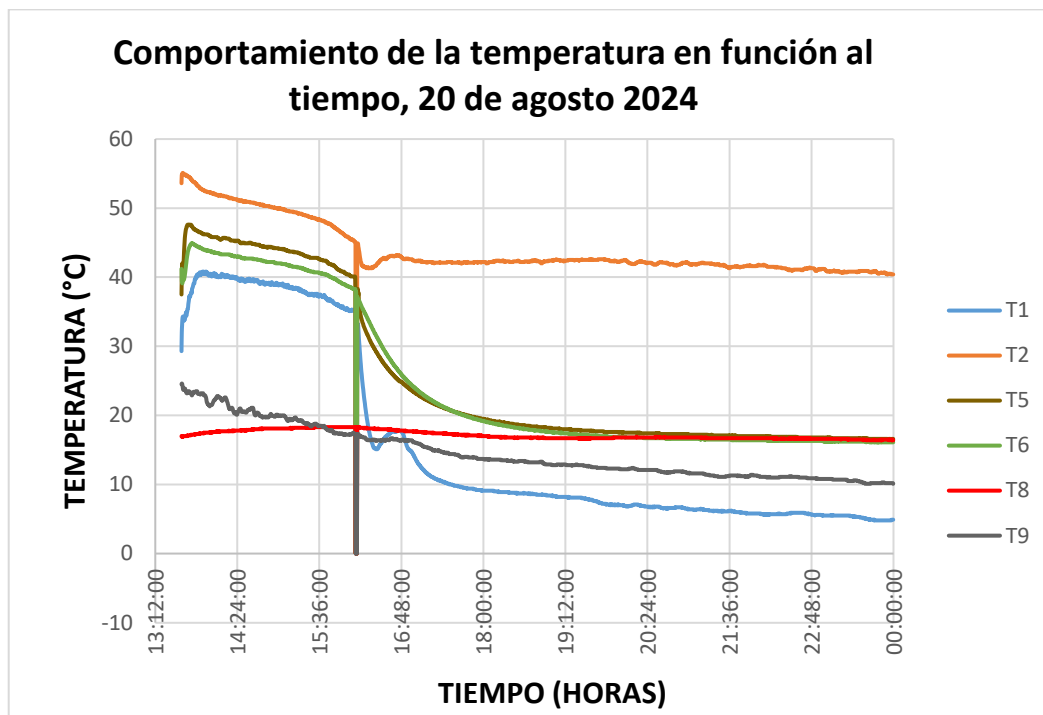


Nota: el gráfico muestra el comportamiento de la temperatura en función al tiempo

Donde:

- T2: temperatura acumulada en la terma solar
- T3: temperatura de ingreso del serpentín en el acumulador de calor
- T4: temperatura de salida del serpentín del acumulador de calor
- T7: temperatura en el tanque acumulador de calor
- T8: temperatura en el ambiente
- T9: temperatura exterior

ANEXO 8: Gráfico del comportamiento de la temperatura en función al tiempo, con carga, el día miércoles 20 de agosto 2024.

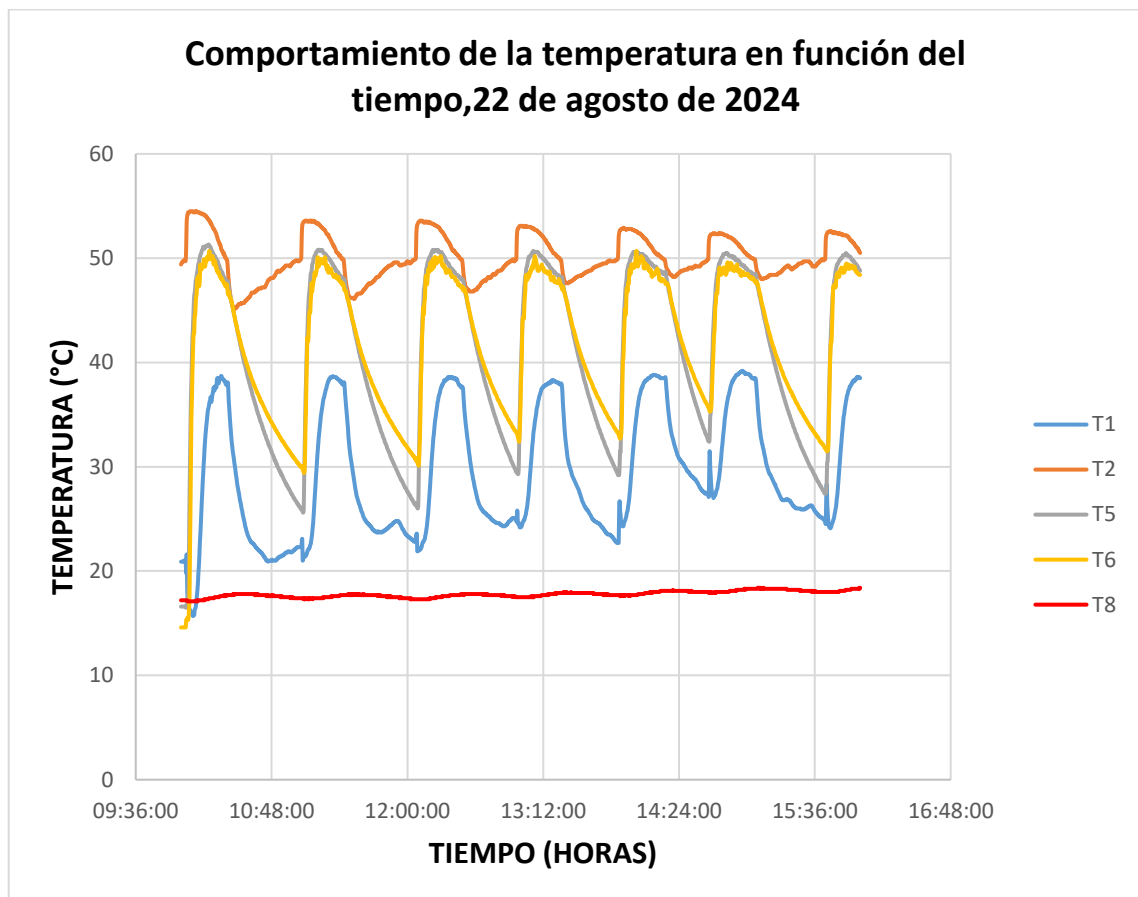


Nota: el gráfico muestra el comportamiento de la temperatura en función al tiempo

Donde:

- T1: temperatura de entrada al acumulador solar por recirculación
- T2: temperatura acumulada en la terma solar
- T5: temperatura en el ingreso al radiador de agua
- T6: temperatura en la salida al radiador de agua
- T8: temperatura en el ambiente
- T9: temperatura exterior

ANEXO 9: Gráfico del comportamiento de la temperatura en función al tiempo, con carga, el día miércoles 22 de agosto 2024.

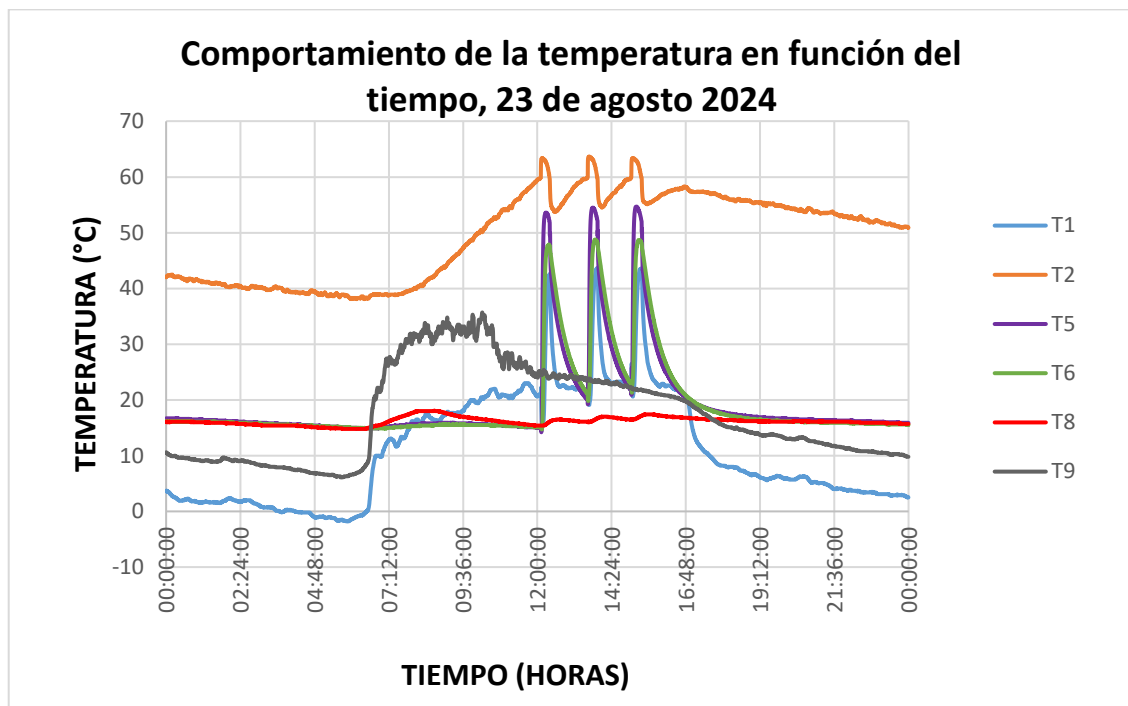


Nota: el gráfico muestra el comportamiento de la temperatura en función al tiempo

Donde:

- T1: temperatura de entrada al acumulador solar por recirculación
- T2: temperatura acumulada en la terma solar
- T5: temperatura en el ingreso al radiador de agua
- T6: temperatura en la salida al radiador de agua
- T8: temperatura en el ambiente

ANEXO 10: Gráfico del comportamiento de la temperatura en función al tiempo, con carga, el día miércoles 23 de agosto 2024.

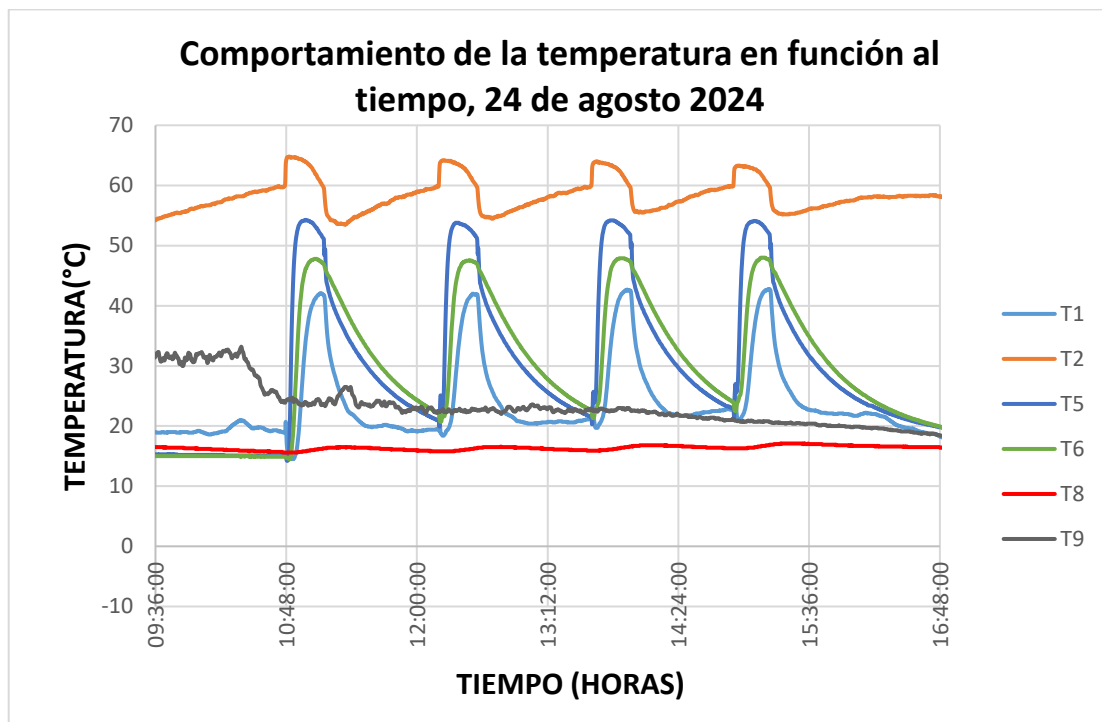


Nota: el gráfico muestra el comportamiento de la temperatura en función al tiempo

Donde:

- T1: temperatura de entrada al acumulador solar por recirculación
- T2: temperatura acumulada en la terma solar
- T5: temperatura en el ingreso al radiador de agua
- T6: temperatura en la salida al radiador de agua
- T8: temperatura en el ambiente
- T9: temperatura exterior

ANEXO 11: Gráfico del comportamiento de la temperatura en función al tiempo, con carga, el día miércoles 24 de agosto 2024.

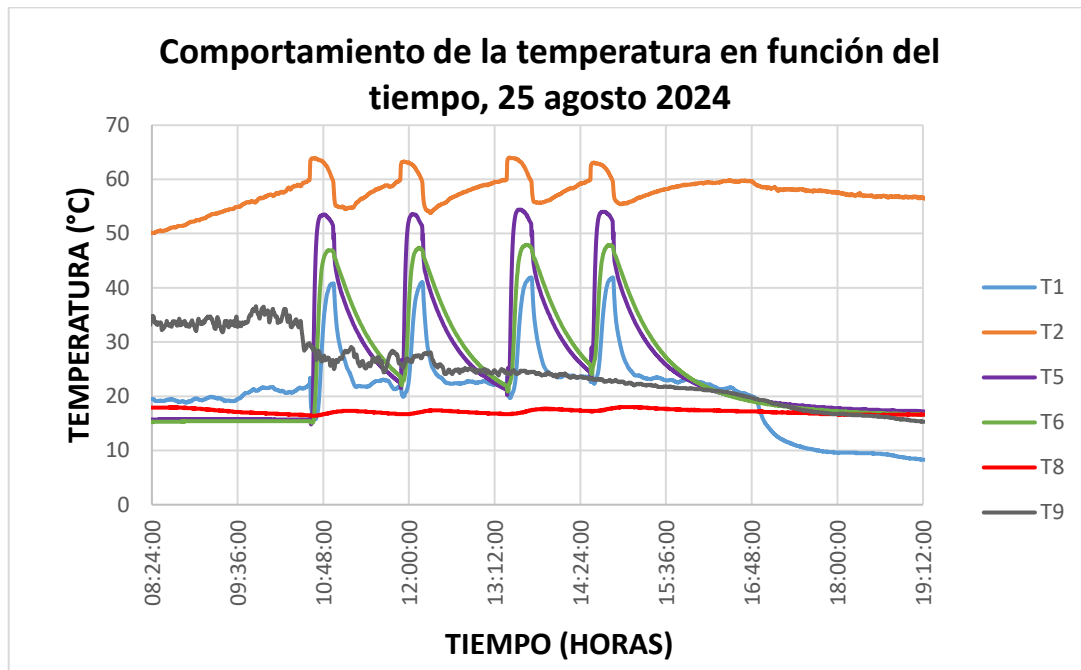


Nota: el gráfico muestra el comportamiento de la temperatura en función al tiempo

Donde:

- T1: temperatura de entrada al acumulador solar por recirculación
- T2: temperatura acumulada en la terma solar
- T5: temperatura en el ingreso al radiador de agua
- T6: temperatura en la salida al radiador de agua
- T8: temperatura en el ambiente
- T9: temperatura exterior

ANEXO 12: Gráfico del comportamiento de la temperatura en función al tiempo, con carga, el día miércoles 25 de agosto 2024.

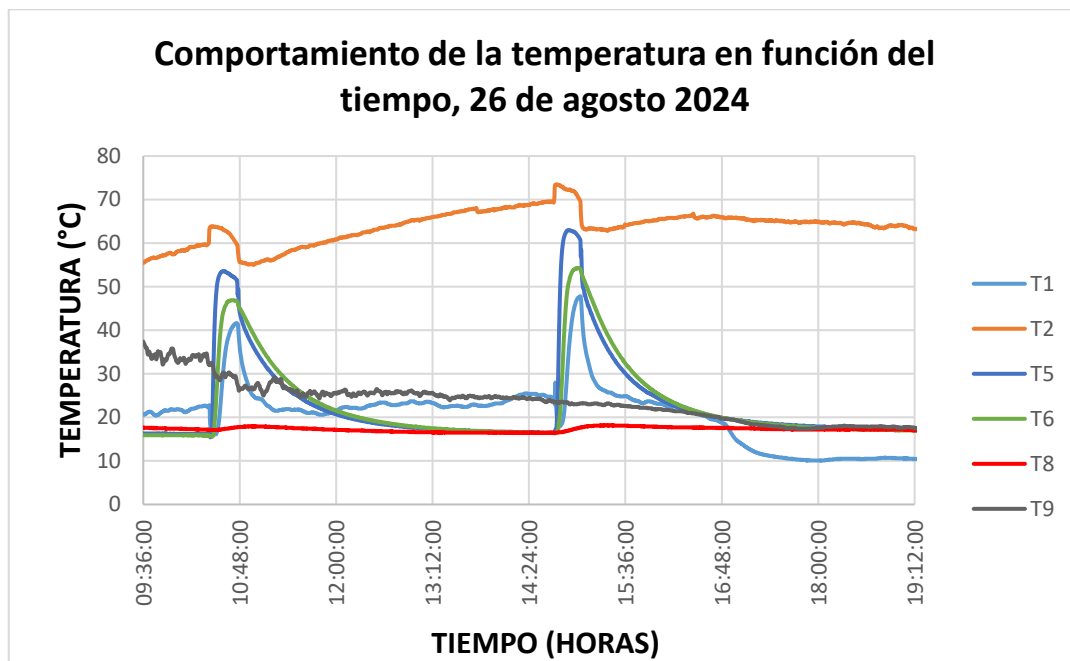


Nota: el gráfico muestra el comportamiento de la temperatura en función al tiempo

Donde:

- T1: temperatura de entrada al acumulador solar por recirculación
- T2: temperatura acumulada en la terma solar
- T5: temperatura en el ingreso al radiador de agua
- T6: temperatura en la salida al radiador de agua
- T8: temperatura en el ambiente
- T9: temperatura exterior

ANEXO 13: Gráfico del comportamiento de la temperatura en función al tiempo, con carga, el día miércoles 26 de agosto 2024.

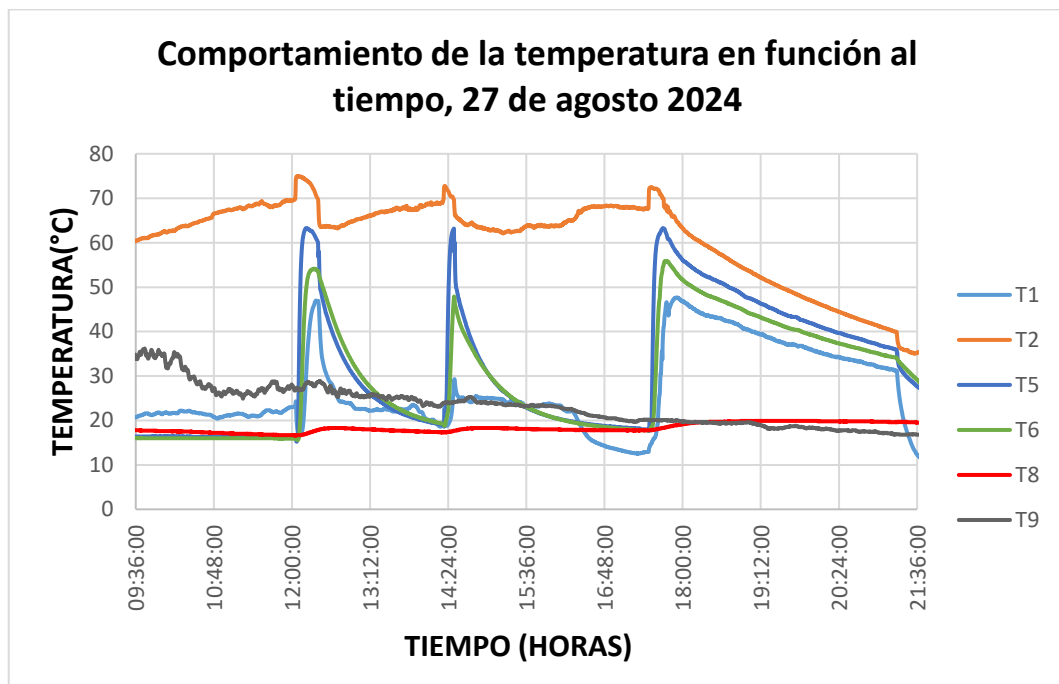


Nota: el gráfico muestra el comportamiento de la temperatura en función al tiempo

Donde:

- T1: temperatura de entrada al acumulador solar por recirculación
- T2: temperatura acumulada en la terma solar
- T5: temperatura en el ingreso al radiador de agua
- T6: temperatura en la salida al radiador de agua
- T8: temperatura en el ambiente
- T9: temperatura exterior

ANEXO 14: Gráfico del comportamiento de la temperatura en función al tiempo, con carga, el día miércoles 27 de agosto 2024.

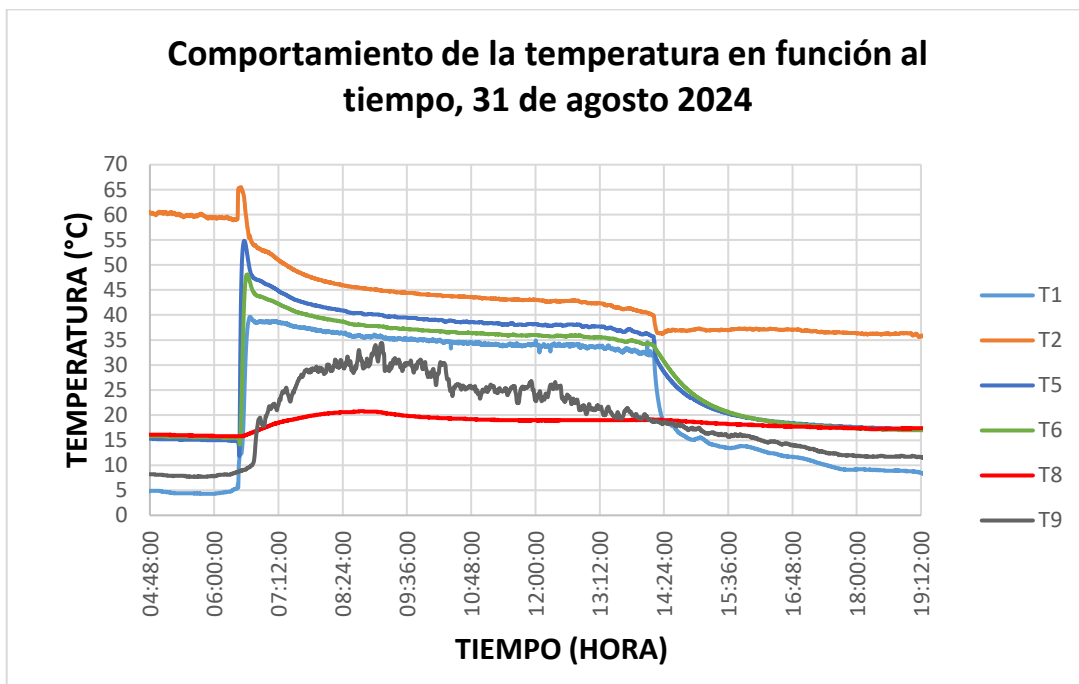


Nota: el gráfico muestra el comportamiento de la temperatura en función al tiempo

Donde:

- T1: temperatura de entrada al acumulador solar por recirculación
- T2: temperatura acumulada en la terma solar
- T5: temperatura en el ingreso al radiador de agua
- T6: temperatura en la salida al radiador de agua
- T8: temperatura en el ambiente
- T9: temperatura exterior

ANEXO 15: Gráfico del comportamiento de la temperatura en función al tiempo, con carga, el día miércoles 31 de agosto 2024.



Nota: el gráfico muestra el comportamiento de la temperatura en función al tiempo

Donde:

- T1: temperatura de entrada al acumulador solar por recirculación
- T2: temperatura acumulada en la terma solar
- T5: temperatura en el ingreso al radiador de agua
- T6: temperatura en la salida al radiador de agua
- T8: temperatura en el ambiente
- T9: temperatura exterior



ANEXO 16: Datos del el módulo de control el día miércoles 04 de setiembre 2024

FECHA	HORA	T 1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
4/09/2024	00:04:00	6.90	60.00	16.00	18.00	15.10	15.60	16.20	9.90
4/09/2024	00:05:00	6.90	60.00	16.00	18.00	15.10	15.60	16.20	9.90
4/09/2024	00:06:00	6.90	59.90	16.00	18.00	15.10	15.50	16.20	9.90
4/09/2024	00:07:00	6.90	59.90	16.00	18.00	15.10	15.60	16.20	9.90
4/09/2024	00:08:00	6.90	59.90	16.00	18.10	15.10	15.60	16.20	9.90
4/09/2024	00:09:00	6.80	59.80	16.00	18.00	15.10	15.50	16.20	9.90
4/09/2024	00:10:00	6.80	59.90	16.00	18.00	15.10	15.50	16.10	9.90
4/09/2024	00:11:15	6.80	59.90	16.00	18.00	15.10	15.50	16.20	9.80
4/09/2024	00:12:00	6.80	59.80	16.00	18.00	15.10	15.50	16.20	9.80
4/09/2024	00:13:00	6.80	59.70	16.00	18.00	15.10	15.50	16.20	9.80
4/09/2024	00:14:00	6.80	59.50	16.00	18.00	15.10	15.50	16.10	9.80
4/09/2024	00:15:00	6.80	59.50	16.00	18.00	15.10	15.50	16.10	9.70
4/09/2024	00:16:00	6.80	59.60	16.00	18.00	15.10	15.50	16.10	9.70
4/09/2024	00:17:00	6.80	59.60	16.00	18.00	15.10	15.50	16.10	9.70
4/09/2024	00:18:15	6.80	59.80	16.00	18.00	15.10	15.50	16.10	9.70
4/09/2024	00:19:00	6.70	60.00	15.90	18.00	15.10	15.50	16.10	9.70
4/09/2024	00:20:00	6.70	60.10	15.90	18.00	15.10	15.50	16.10	9.60
4/09/2024	00:21:00	6.60	60.10	15.90	18.00	15.10	15.50	16.10	9.60
4/09/2024	00:22:00	6.60	60.20	15.90	18.00	15.10	15.60	16.10	9.60
4/09/2024	00:24:00	6.50	60.20	15.90	18.00	15.10	15.50	16.10	9.60
4/09/2024	00:25:00	6.50	60.10	15.90	18.00	15.10	15.50	16.10	9.60
4/09/2024	00:26:00	7.10	63.60	15.90	17.30	15.30	15.50	16.10	9.60
4/09/2024	00:27:00	9.90	65.40	16.10	17.80	14.20	15.50	16.10	9.60
4/09/2024	00:28:00	11.90	65.60	22.10	23.10	12.40	15.10	16.10	9.70
4/09/2024	00:29:00	12.80	65.60	39.60	40.30	27.20	15.00	16.10	9.60
4/09/2024	00:30:00	12.90	65.40	48.40	48.10	41.40	17.50	16.10	9.60
4/09/2024	00:31:00	13.00	64.80	52.90	54.20	48.80	22.80	16.10	9.60
4/09/2024	00:32:00	14.10	64.50	56.10	54.80	52.30	29.30	16.20	9.60
4/09/2024	00:33:00	16.30	64.10	57.10	57.40	53.70	35.70	16.20	9.60
4/09/2024	00:34:00	19.90	62.60	57.80	57.40	54.10	40.40	16.20	9.60
4/09/2024	00:35:00	24.20	61.70	57.80	58.50	53.90	43.40	16.30	9.60
4/09/2024	00:36:00	28.10	60.20	57.40	56.80	53.30	45.30	16.40	9.60
4/09/2024	00:37:00	31.70	59.10	56.80	56.70	52.40	46.40	16.40	9.60
4/09/2024	00:38:00	34.00	58.30	56.10	55.90	51.60	46.90	16.50	9.60
4/09/2024	00:39:00	35.80	57.30	55.50	54.90	50.70	47.00	16.60	9.60
4/09/2024	00:40:00	36.90	56.90	54.90	54.30	49.90	46.70	16.60	9.60
4/09/2024	00:41:00	37.70	55.90	54.30	54.10	49.30	46.30	16.70	9.60
4/09/2024	00:42:00	37.60	55.10	53.60	53.70	48.70	45.80	16.70	9.60
4/09/2024	00:43:00	37.70	54.80	53.00	53.20	48.20	45.40	16.80	9.60
4/09/2024	00:44:00	37.40	54.40	52.60	52.10	47.70	45.00	16.80	9.60
4/09/2024	00:45:00	37.60	54.20	52.30	51.80	47.20	44.60	16.90	9.60
4/09/2024	00:46:00	37.40	54.10	52.00	51.70	46.90	44.20	16.90	9.60
4/09/2024	00:47:00	37.10	53.80	51.70	51.40	46.70	43.90	17.00	9.60



FECHA	HORA	T 1	T 2	T 3	T 4	T 5	T 6	T 7	T 8
4/09/2024	00:48:00	37.00	53.40	51.50	51.20	46.60	43.60	17.00	9.60
4/09/2024	00:49:00	36.70	53.20	51.30	50.80	46.50	43.40	17.00	9.60
4/09/2024	00:50:00	36.80	53.30	51.10	50.90	46.30	43.30	17.10	9.50
4/09/2024	00:51:00	36.80	53.20	51.00	50.80	46.20	43.20	17.10	9.50
4/09/2024	00:52:00	36.60	53.00	50.80	50.70	46.00	43.10	17.20	9.50
4/09/2024	00:53:00	36.70	53.20	50.70	50.80	46.00	43.00	17.20	9.50
4/09/2024	00:54:00	36.70	52.90	50.70	50.60	45.90	42.90	17.20	9.50
4/09/2024	00:55:00	36.50	52.90	50.50	50.40	45.80	42.80	17.30	9.50
4/09/2024	00:56:00	36.50	53.20	50.30	50.10	45.70	42.70	17.30	9.50
4/09/2024	00:57:00	36.50	53.20	50.20	50.00	45.50	42.60	17.30	9.50
4/09/2024	00:58:00	36.70	53.00	50.30	50.40	45.40	42.60	17.40	9.50
4/09/2024	00:59:00	36.60	52.90	50.60	49.90	45.50	42.50	17.40	9.50
4/09/2024	01:00:00	36.70	52.80	50.30	50.40	45.50	42.40	17.40	9.50
4/09/2024	01:01:00	36.70	52.70	50.20	50.50	45.50	42.50	17.40	9.50
4/09/2024	01:02:00	36.70	52.60	50.10	50.10	45.40	42.40	17.40	9.50
4/09/2024	01:03:00	36.60	52.50	50.10	50.00	45.30	42.40	17.40	9.50
4/09/2024	01:04:00	36.60	52.40	50.20	50.20	45.20	42.40	17.50	9.40
4/09/2024	01:05:00	36.90	52.20	49.80	49.60	45.10	42.40	17.50	9.40
4/09/2024	01:06:00	36.90	52.10	49.90	50.00	45.00	42.30	17.50	9.40
4/09/2024	01:07:00	36.90	51.80	49.90	49.60	44.90	42.20	17.50	9.40
4/09/2024	01:08:00	36.90	51.80	49.80	50.50	44.80	42.20	17.50	9.40
4/09/2024	01:09:00	36.90	51.60	49.50	49.50	44.70	42.10	17.60	9.40
4/09/2024	01:10:00	37.00	51.40	49.60	49.40	44.60	42.00	17.60	9.50
4/09/2024	01:11:00	36.80	51.20	49.40	49.10	44.40	41.90	17.60	9.40
4/09/2024	01:12:00	37.00	51.10	49.30	49.00	44.30	41.90	17.60	9.40
4/09/2024	01:13:00	37.30	51.00	49.00	49.20	44.20	41.80	17.60	9.40
4/09/2024	01:14:00	36.90	50.90	49.10	48.80	44.10	41.70	17.60	9.40
4/09/2024	01:15:00	37.00	50.70	48.80	48.90	43.90	41.60	17.60	9.40
4/09/2024	01:16:00	36.90	50.60	48.80	48.80	43.80	41.50	17.60	9.40
4/09/2024	01:17:00	36.80	50.40	48.70	48.60	43.70	41.50	17.60	9.30
4/09/2024	01:18:00	36.70	50.20	48.50	48.40	43.70	41.30	17.70	9.40
4/09/2024	01:19:00	36.80	50.00	48.20	48.50	43.50	41.30	17.60	9.40
4/09/2024	01:20:00	36.90	49.90	48.20	48.30	43.40	41.20	17.70	9.40
4/09/2024	01:21:00	36.80	49.80	48.00	48.10	43.20	41.10	17.70	9.40
4/09/2024	01:22:00	36.60	49.70	47.80	47.70	43.10	41.00	17.70	9.30
4/09/2024	01:23:00	36.60	49.50	47.80	48.10	43.10	40.80	17.70	9.30
4/09/2024	01:24:00	36.50	49.40	47.60	48.00	43.00	40.70	17.70	9.30
4/09/2024	01:25:00	36.50	49.20	47.60	48.00	42.80	40.70	17.70	9.30
4/09/2024	01:26:00	36.50	49.10	47.40	47.80	42.70	40.60	17.70	9.30
4/09/2024	01:27:00	36.30	49.10	47.40	47.80	42.60	40.50	17.70	9.20
4/09/2024	01:28:00	36.20	48.80	47.10	47.60	42.40	40.40	17.70	9.20
4/09/2024	01:29:00	36.00	48.70	47.00	47.30	42.30	40.30	17.70	9.20
4/09/2024	01:30:00	36.00	48.50	46.70	47.30	42.10	40.20	17.70	9.20
4/09/2024	01:31:00	35.80	48.30	46.60	47.10	41.90	40.10	17.70	9.20
4/09/2024	01:32:00	35.70	48.20	46.60	47.20	41.70	39.90	17.70	9.20



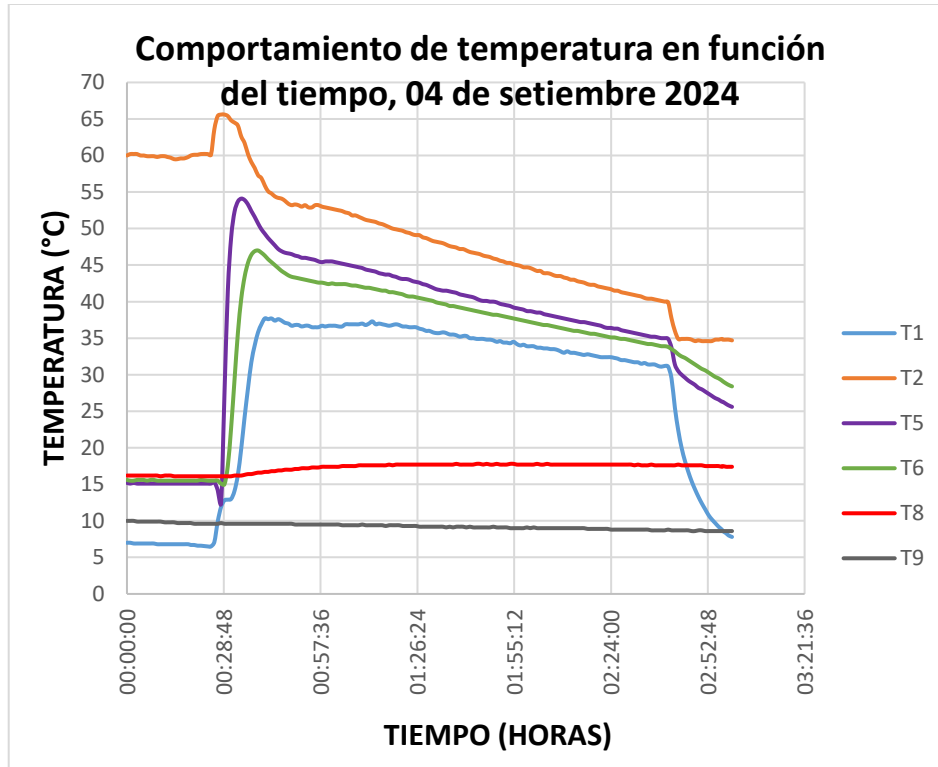
FECHA	HORA	T 1	T 2	T 3	T 4	T 5	T 6	T 7	T 8
4/09/2024	01:33:00	35.70	48.10	46.30	46.70	41.60	39.80	17.70	9.20
4/09/2024	01:34:00	35.80	48.00	46.00	46.80	41.50	39.70	17.70	9.20
4/09/2024	01:35:00	35.70	47.80	46.00	46.60	41.50	39.60	17.70	9.10
4/09/2024	01:36:00	35.50	47.60	45.90	46.60	41.40	39.40	17.70	9.20
4/09/2024	01:37:00	35.50	47.50	45.80	46.60	41.30	39.40	17.70	9.10
4/09/2024	01:38:00	35.40	47.40	45.70	46.70	41.20	39.30	17.80	9.20
4/09/2024	01:39:00	35.20	47.20	45.70	46.20	41.00	39.20	17.70	9.20
4/09/2024	01:40:00	35.30	47.20	45.40	46.10	40.90	39.10	17.70	9.20
4/09/2024	01:41:00	35.30	47.00	45.40	46.20	40.80	39.00	17.70	9.10
4/09/2024	01:42:00	35.00	46.80	45.30	46.10	40.70	38.90	17.70	9.20
4/09/2024	01:43:00	35.00	46.70	45.10	45.60	40.60	38.80	17.70	9.10
4/09/2024	01:44:00	34.90	46.60	45.00	45.40	40.40	38.70	17.80	9.10
4/09/2024	01:45:00	34.90	46.50	45.00	45.30	40.20	38.60	17.80	9.10
4/09/2024	01:46:00	34.90	46.30	45.00	45.40	40.10	38.50	17.70	9.10
4/09/2024	01:47:00	34.80	46.20	44.80	45.00	40.10	38.40	17.80	9.10
4/09/2024	01:48:00	34.80	46.10	44.60	45.30	40.00	38.30	17.70	9.10
4/09/2024	01:49:00	34.70	45.90	44.60	44.90	40.00	38.20	17.70	9.20
4/09/2024	01:50:00	34.50	45.80	44.50	45.10	39.90	38.20	17.80	9.10
4/09/2024	01:51:00	34.60	45.60	44.30	44.90	39.70	38.10	17.70	9.10
4/09/2024	01:52:00	34.40	45.50	44.00	44.90	39.60	38.00	17.70	9.10
4/09/2024	01:53:00	34.40	45.30	43.90	44.60	39.50	37.90	17.70	9.10
4/09/2024	01:54:00	34.30	45.30	44.00	44.20	39.40	37.80	17.80	9.00
4/09/2024	01:55:00	34.50	45.10	43.80	44.20	39.20	37.70	17.80	9.00
4/09/2024	01:56:00	34.20	45.00	43.70	44.40	39.10	37.60	17.70	9.00
4/09/2024	01:57:00	34.00	44.90	43.50	44.10	39.00	37.50	17.70	9.00
4/09/2024	01:58:00	34.10	44.70	43.50	43.90	38.90	37.40	17.70	9.00
4/09/2024	01:59:00	33.90	44.70	43.60	43.80	38.70	37.30	17.70	9.10
4/09/2024	02:00:00	33.90	44.60	43.50	44.10	38.70	37.20	17.70	9.00
4/09/2024	02:01:00	33.90	44.40	43.30	43.90	38.60	37.10	17.70	9.10
4/09/2024	02:02:00	33.70	44.20	43.10	43.60	38.50	37.00	17.80	9.00
4/09/2024	02:03:00	33.70	44.20	42.90	43.90	38.50	36.90	17.70	9.00
4/09/2024	02:04:00	33.60	43.90	42.70	43.50	38.30	36.80	17.70	9.00
4/09/2024	02:05:00	33.60	43.90	42.60	43.30	38.20	36.80	17.80	9.00
4/09/2024	02:06:00	33.50	43.80	42.40	43.10	38.10	36.70	17.70	9.00
4/09/2024	02:07:00	33.50	43.60	42.60	43.30	38.00	36.60	17.70	9.00
4/09/2024	02:08:00	33.40	43.50	42.60	43.40	37.90	36.50	17.70	9.00
4/09/2024	02:09:00	33.20	43.50	42.50	43.00	37.80	36.40	17.70	9.00
4/09/2024	02:10:00	33.00	43.30	42.40	42.90	37.70	36.30	17.70	9.00
4/09/2024	02:11:00	33.20	43.20	42.30	42.60	37.60	36.20	17.70	9.00
4/09/2024	02:12:00	33.00	43.00	42.20	42.50	37.50	36.10	17.70	9.00
4/09/2024	02:13:00	33.00	43.00	42.10	42.40	37.40	36.00	17.70	9.00
4/09/2024	02:14:00	32.90	42.80	42.10	42.90	37.30	36.00	17.70	9.00
4/09/2024	02:15:00	32.80	42.70	41.90	42.40	37.20	35.90	17.70	9.00
4/09/2024	02:16:00	32.70	42.60	41.80	42.20	37.20	35.80	17.70	9.00
4/09/2024	02:17:00	32.80	42.40	41.50	42.30	37.10	35.70	17.70	8.90



FECHA	HORA	T 1	T 2	T 3	T 4	T 5	T 6	T 7	T 8
4/09/2024	02:18:00	32.70	42.30	41.50	42.20	37.00	35.60	17.70	8.90
4/09/2024	02:19:00	32.60	42.30	41.50	41.80	36.90	35.60	17.70	8.90
4/09/2024	02:20:00	32.50	42.10	41.40	42.00	36.80	35.50	17.70	8.90
4/09/2024	02:21:00	32.40	42.00	41.20	41.80	36.70	35.40	17.70	8.90
4/09/2024	02:22:00	32.40	41.90	41.20	41.70	36.50	35.30	17.70	8.90
4/09/2024	02:23:00	32.40	41.80	41.20	41.60	36.40	35.20	17.70	8.90
4/09/2024	02:24:00	32.40	41.70	41.10	41.50	36.40	35.10	17.70	8.80
4/09/2024	02:25:00	32.30	41.50	41.00	41.70	36.30	35.10	17.70	8.80
4/09/2024	02:26:00	32.20	41.50	40.90	41.30	36.30	35.00	17.70	8.80
4/09/2024	02:27:00	32.00	41.30	40.60	41.30	36.10	34.90	17.70	8.80
4/09/2024	02:28:00	32.00	41.20	40.60	40.90	36.00	34.90	17.70	8.80
4/09/2024	02:29:00	31.90	41.10	40.50	41.00	35.90	34.80	17.70	8.80
4/09/2024	02:30:00	31.80	41.00	40.40	40.80	35.80	34.70	17.70	8.80
4/09/2024	02:31:00	31.70	40.90	40.20	40.90	35.70	34.60	17.60	8.80
4/09/2024	02:32:00	31.70	40.80	40.10	40.70	35.60	34.50	17.70	8.80
4/09/2024	02:33:00	31.50	40.70	40.10	40.20	35.50	34.40	17.60	8.80
4/09/2024	02:34:00	31.60	40.50	39.90	40.20	35.40	34.30	17.60	8.80
4/09/2024	02:35:00	31.40	40.40	39.90	40.40	35.30	34.20	17.60	8.80
4/09/2024	02:36:00	31.40	40.40	39.80	40.20	35.20	34.20	17.70	8.70
4/09/2024	02:37:00	31.40	40.30	39.70	40.00	35.20	34.10	17.60	8.70
4/09/2024	02:38:00	31.20	40.20	39.60	39.80	35.10	34.00	17.60	8.70
4/09/2024	02:39:00	31.10	40.10	39.60	39.70	35.00	33.90	17.60	8.70
4/09/2024	02:40:00	31.20	40.00	39.50	39.90	35.00	33.90	17.60	8.70
4/09/2024	02:41:00	31.10	39.90	39.40	39.60	34.90	33.80	17.60	8.80
4/09/2024	02:42:00	29.50	37.70	39.30	40.40	33.70	33.50	17.60	8.70
4/09/2024	02:43:00	25.50	36.00	38.00	40.30	31.40	33.20	17.60	8.70
4/09/2024	02:44:00	22.40	34.90	37.40	39.70	30.50	32.80	17.70	8.70
4/09/2024	02:45:00	20.00	34.90	36.80	39.20	30.00	32.50	17.60	8.70
4/09/2024	02:46:00	18.20	34.90	36.30	38.60	29.60	32.30	17.60	8.70
4/09/2024	02:47:00	16.70	34.90	35.70	38.00	29.20	32.00	17.60	8.70
4/09/2024	02:48:00	15.40	34.80	35.10	37.60	28.90	31.70	17.60	8.60
4/09/2024	02:49:00	14.30	34.60	34.60	37.10	28.60	31.40	17.60	8.60
4/09/2024	02:50:00	13.30	34.70	34.00	36.70	28.20	31.10	17.60	8.70
4/09/2024	02:51:00	12.40	34.60	33.50	36.30	28.00	30.80	17.60	8.70
4/09/2024	02:52:00	11.60	34.60	33.00	35.90	27.70	30.60	17.50	8.60
4/09/2024	02:53:00	10.80	34.60	32.50	35.50	27.40	30.30	17.50	8.60
4/09/2024	02:54:00	10.20	34.60	32.10	35.10	27.10	30.00	17.50	8.60
4/09/2024	02:55:00	9.70	34.80	31.60	34.80	26.80	29.70	17.50	8.60
4/09/2024	02:56:00	9.20	34.80	31.10	34.50	26.60	29.50	17.50	8.60
4/09/2024	02:57:00	8.80	34.90	30.70	34.30	26.30	29.20	17.40	8.60
4/09/2024	02:57:15	8.60	34.80	30.60	34.20	26.30	29.10	17.50	8.60
4/09/2024	02:58:15	8.30	34.80	30.20	33.90	26.00	28.80	17.40	8.60
4/09/2024	02:59:00	8.00	34.80	29.90	33.60	25.80	28.60	17.40	8.60
4/09/2024	03:00:00	7.80	34.70	29.50	33.30	25.60	28.40	17.40	8.60

Nota: datos en tiempo real sobre el comportamiento de la temperatura en función al tiempo del sistema

ANEXO 17: Gráfico del comportamiento de la temperatura en función al tiempo, con carga, el día miércoles 04 de setiembre 2024.






Nota: el gráfico muestra el comportamiento de la temperatura en función al tiempo

Donde:

- T1: temperatura de entrada al acumulador solar por recirculación
- T2: temperatura acumulada en la terma solar
- T5: temperatura en el ingreso al radiador de agua
- T6: temperatura en la salida al radiador de agua
- T8: temperatura en el ambiente
- T9: Temperatura exterior



ANEXO 18: Declaración jurada de autenticidad de tesis

 Universidad Nacional del Altiplano Puno	 Vicerrectorado de Investigación	 Repositorio Institucional
---	---	---

DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo Jesús Nilán Chambi Ticona,
identificado con DNI 70420947 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, **Programa de Segunda Especialidad**, **Programa de Maestría o Doctorado**
Ingeniería Mecánica Eléctrica,

informo que he elaborado el/la **Tesis** o **Trabajo de Investigación** denominada:
" Evaluación energética de un acumulador térmico de un sistema de calefacción mediante radiadores de agua en la EPIME. "

Es un tema original.

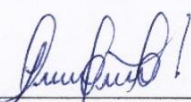
Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.


Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 18 de Setiembre del 2024



FIRMA (obligatoria)


Huella



DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo Rómulo Horacio Torres Estofanero,
identificado con DNI 44433831 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado
Ingeniería Mecánica Eléctrica

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:

“ Evaluación energética de un acumulador Térmico de
un sistema de calefacción mediante radiadores de
agua en la EPIME ”

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 18 de setiembre del 20 24


FIRMA (obligatoria)




Huella




ANEXO 19: Autorización para el depósito de tesis en el repositorio institucional



Universidad Nacional
del Altiplano Puno



VRI
Vicerrectorado
de Investigación



Repositorio
Institucional

AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo Jesús Milán Chambi Ticona,
identificado con DNI 70420947 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado

Ingeniería Mecánica Eléctrica

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:

“Evaluación energética de un acumulador térmico de un sistema de calefacción mediante radiadores de agua en la EPIME.”

para la obtención de Grado, Título Profesional o Segunda Especialidad.

Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los “Contenidos”) que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.

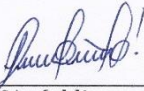
En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:


Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 18 de setiembre del 2024



 FIRMA (obligatoria)


 Huella



AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo Romulo Horacio Torres Estofanero,
identificado con DNI 44423831 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado

Ingeniería mecánica eléctrica,
informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:

“ Evaluación energética de un acumulador térmico
de un sistema de calefacción mediante radiadores
de agua en la EPIME ”

para la obtención de Grado, Título Profesional o Segunda Especialidad.

Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los “Contenidos”) que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.

En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 18 de Setiembre del 20 24

FIRMA (obligatoria)



Huella