

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN ENERGÍAS
RENOVABLES



**“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CALEFACCIÓN SOLAR
POR PISO RADIANTE PARA MEJORAR LAS CONDICIONES DE
CONFORT TÉRMICO DEL GABINETE DEL LABORATORIO DE
CONTROL Y ELECTRÓNICA BÁSICA DE LA EPIER”**

Bach. Hemelin Araseli Benavente Salazar
Bach. Nestor Naviel Capacoila Grande

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO EN ENERGÍAS RENOVABLES**

Asesor:
Dr. Henry Pizarro Viveros



Juliaca, 2024



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN ENERGÍAS
RENOVABLES**



**“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CALEFACCIÓN SOLAR
POR PISO RADIANTE PARA MEJORAR LAS CONDICIONES DE
CONFORT TÉRMICO DEL GABINETE DEL LABORATORIO DE
CONTROL Y ELECTRÓNICA BÁSICA DE LA EPIER”**

**Bach. Hemelin Araseli Benavente Salazar
Bach. Nestor Naviel Capacoila Grande**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO EN ENERGÍAS RENOVABLES**

**Asesor:
Dr. Henry Pizarro Viveros**



Juliaca, 2024

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN ENERGÍAS
RENOVABLES



**“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CALEFACCIÓN SOLAR
POR PISO RADIANTE PARA MEJORAR LAS CONDICIONES DE
CONFORT TÉRMICO DEL GABINETE DEL LABORATORIO DE
CONTROL Y ELECTRÓNICA BÁSICA DE LA EPIER”**

Bach. Hemelin Araseli Benavente Salazar

Bach. Nestor Naviel Capacoila Grande

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO EN ENERGÍAS RENOVABLES**

Asesor:

Dr. Henry Pizarro Viveros

Juliaca - 2024

FICHA CATALOGRÁFICA

Benavente, H. & Capacoila, N. (2024). *Implementación de un sistema de calefacción solar por piso radiante para mejorar las condiciones de confort térmico del gabinete del Laboratorio de Control y Electrónica Básica de la EPIER*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Juliaca.

AUTOR: Hemelin Araseli Benavente Salazar, Nestor Naviel Capacoila Grande

TÍTULO: Implementación de un sistema de calefacción solar por piso radiante para mejorar las condiciones de confort térmico del gabinete del Laboratorio de Control y Electrónica Básica de la EPIER.

PUBLICACIÓN: Juliaca, 2024

DESCRIPCIÓN: Cantidad de páginas (146 pp)

NOTA: Tesis de la Escuela Profesional de Ingeniería en Energías Renovables – Universidad Nacional de Juliaca.

CÓDIGO: 02-000031-02/C27

NOTA: Incluye bibliografía

ASESOR: Dr. Henry Pizarro Viveros

PALABRAS CLAVE: Aislamiento térmico, calefacción por energía solar, colector solar de vacío, control térmico, piso radiante.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN ENERGÍAS RENOVABLES

**“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CALEFACCIÓN SOLAR POR PISO
RADIANTE PARA MEJORAR LAS CONDICIONES DE CONFORT TÉRMICO DEL
GABINETE DEL LABORATORIO DE CONTROL Y ELECTRÓNICA BÁSICA DE LA
EPIER”**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO EN ENERGÍAS RENOVABLES

Presentado por:

Bach. Hemelin Araseli Benavente Salazar

Bach. Nestor Naviel Capacoila Grande

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

M. Sc. Armando Antonio Salinas del Carpio

PRESIDENTE DE JURADO



M. Sc. Cesar Enrique Yupanqui Bendita

JURADO (Secretario)



2° MIEMBRO

M. Sc. Jhon Eduardo Abarca Suca

JURADO (Vocal)



3° MIEMBRO



Dr. Henry Pizarro Viveros

ASESOR DE TESIS

NOMBRE DEL TRABAJO

IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CALEFACCIÓN SOLAR POR PISO RADIANTE PARA MEJORAR LAS CONDICIONES DE CONFORT TÉRMICO DEL GABINETE DEL LABORATORIO DE CONTROL Y ELECTRÓNICA BÁSICA DE LA EPIER

AUTOR

Hemelin Araseli Benavente Salazar Nestor Naviel Capacoila Grande

RECUENTO DE PALABRAS

38860 Words

RECUENTO DE CARACTERES

178239 Characters

RECUENTO DE PÁGINAS

146 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

5.3MB

FECHA DE ENTREGA

Sep 26, 2024 3:22 PM GMT-3

FECHA DEL INFORME

Sep 26, 2024 3:24 PM GMT-3

● 9% de similitud general

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

- 8% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 4% Base de datos de trabajos entregados
- 1% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref
- Material bibliográfico
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 8 palabras)



DEDICATORIA

Con infinito cariño, dedico esta tesis principalmente a mi madre, Susy Haydee Salazar. Agradezco profundamente tu amor incondicional, tu paciencia y tu incansable apoyo. Gracias por darme la oportunidad de construir un futuro a través de la educación y por creer en mí incluso en los momentos más difíciles.

A mi querido hermano, Luis Antoni Benavente, gracias por ser mi compañero de vida y por estar siempre a mi lado. Tu constante apoyo y tus palabras de aliento han sido fundamentales para alcanzar este logro.

A mi amado novio, Nilson Jesús Huahuasonco Cáceres, por ser mi mayor fuente de motivación. Tu amor, comprensión y apoyo incondicional me han sostenido en cada paso del camino. Gracias por estar siempre presente, brindándome fuerza y confianza en cada momento. Tu paciencia infinita, tus palabras de aliento y tu fe en mí me han inspirado a seguir adelante, incluso cuando las cosas parecían imposibles. Eres mi refugio y mi inspiración diaria, y no habría llegado hasta aquí sin tu amor y apoyo.

Finalmente, me dedico este trabajo a mí misma, Hemelin Araseli Benavente Salazar, por la perseverancia y la determinación que he demostrado a lo largo de este proceso. No ha sido fácil, pero he aprendido y crecido con cada desafío enfrentado. Este logro es un testimonio de mi dedicación y esfuerzo.

Hemelin Araseli Benavente Salazar

Dedico este trabajo, en primer lugar, a DIOS, pues reconozco que la sabiduría proviene de él y que todo esfuerzo será siempre bien recompensado, también se lo dedico con todo corazón a mis padres: Juan Capacoila y Albina Grande, Demostrándome que la perseverancia y la continuidad nos conllevan a las metas cumplidas. A mis queridos hermanos Luz Delia, Roberto, Ulises, Willian, Roxana, Margarita por estar siempre apoyándome, a seguir mejor cada día, tanto en lo personal como en lo profesional.

Nestor Naviel Capacoila Grande

AGRADECIMIENTOS

El más sincero agradecimiento a la Escuela Profesional de Ingeniería en Energía Renovables, por brindarnos la oportunidad de obtener una profesión y ser personas útiles a la sociedad.

Agradezco al Dr. Henry Pizarro Viveros, asesor de tesis, por brindarme su valiosa colaboración y amistad desinteresada en el desarrollo y culminación del presente trabajo.

Agradezco también al M.Sc. Armando Salinas del Carpio, por darme motivación a seguir adelante y brindarme palabras de aliento.

Quisiera expresar mi más sincero agradecimiento a mi amiga Virginia Ticona, quien ha sido una fuente constante de aliento y apoyo a lo largo de todo el proceso de mi tesis. Su motivación y ánimo fueron cruciales para que pudiera seguir adelante en los momentos difíciles.

También quiero agradecer a todos mis amigos, compañeros y a todas las personas que de una u otra manera me apoyaron durante esta etapa. Sin su ayuda, este proyecto no habría sido posible.

Hemelin Araseli Benavente Salazar

Agradezco a mi alma mater la Universidad Nacional de Juliaca, a la Escuela Profesional de Ingeniería en Energías Renovables y a sus docentes por todo el conocimiento y las enseñanzas impartidas.

A mis padres que han sido siempre el motor que impulsa mis sueños y esperanzas, quienes estuvieron siempre a mi lado en los días más difíciles. Siempre han sido mis mejores guías de vida.

De manera muy especial a mi asesor de tesis Dr. Henry Pizarro Viveros por brindarme la orientación durante la formulación, ejecución y conclusión de este trabajo de investigación.

Al Dr. Elmer Rodrigo Aquino Larico por las enseñanzas y conocimientos impartidos.

Al MSc. Pedro Yulian Puma Roque por las enseñanzas.

Agradezco a la empresa Innova Solar líder en rubro de energías renovables al gerente Ing. Mario Ángel Flores Ponce.

Nestor Naviel Capacoila Grande

ÍNDICE GENERAL

Dedicatoria.....	v
Agradecimientos	vi
Índice de tablas	x
Índice de figuras.....	xii
Índice de anexos.....	xvi
Lista de abreviaturas	xvii
Lista de símbolos	xviii
Resumen.....	xix
Abstract.....	xx
Introducción	xxi
CAPÍTULO I.....	23
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	23
1.1. Planteamiento del problema.....	23
1.2. Formulación de problema.....	25
1.2.1. Problema general	25
1.2.2. Problemas específicos.....	25
1.3. Objetivos de la investigación	25
1.3.1. Objetivo general	25
1.3.2. Objetivos específicos	25
1.4. Justificación de la investigación.....	26
1.4.1. Justificación técnica.....	26
1.4.2. Justificación social.....	26
1.4.3. Justificación ambiental	26
1.4.4. Justificación económica.....	27
CAPÍTULO II.....	28
REVISIÓN DE LA LITERATURA	28
2.1. Antecedentes	28
2.1.1. Antecedentes de la investigación.....	28
2.2. Marco teórico	30
2.2.1. Calefacción solar	30
2.2.2. Tipos de calefacción solar	31
2.2.3. Calefacción con suelo radiante	31
2.2.4. Tubería Pex al Pex.....	32

2.2.5.	Configuración de tuberías.....	33
2.3.	Marco conceptual	34
2.3.1.	Energía renovables.....	34
2.3.2.	Energía solar	35
2.3.3.	Calefacción por piso radiante	35
2.3.4.	Confort térmico.....	36
2.3.5.	Tipos de colectores solares	38
2.3.6.	Proceso de funcionamiento de tubos de vacío.....	39
2.3.7.	Radiación solar	40
CAPÍTULO III.....		41
MATERIALES Y MÉTODOS		41
3.1.	Formulación de hipótesis	41
3.1.1.	Hipótesis general	41
3.1.2.	Hipótesis específicas.....	41
3.2.	Materiales y equipos	41
3.2.1.	Componentes de piso radiante	41
3.2.2.	Sistema de control	43
3.2.3.	Materiales para adecuación del gabinete	47
3.2.4.	Sistema de circuitos electrónicos.....	48
3.3.	Software del sistema de control con PLC	50
3.4.	Metodología	50
3.4.1.	Localización del proyecto.....	51
3.5.	Adecuación del cubículo para el sistema de calefacción solar.....	52
3.6.	Dimensionamiento del sistema	52
3.6.1.	Cargas térmicas de calefacción.....	53
3.6.2.	Carga térmica de diseño	53
3.7.	Dimensionamiento de carga térmica del gabinete de Laboratorio de Control y Electrónica Básica de EPIER.....	56
3.7.1.	Instalación de piso radiante	57
3.7.2.	Instalación de colector solar	58
3.8.	Sistema de control.....	59
3.8.1.	Diagrama de control unifilar.....	60
3.8.2.	Montaje del equipo en tablero de control	60

3.9.	Sistema de monitoreo de humedad relativa.....	61
3.10.	Presupuesto para el proyecto de investigación.....	62
3.10.1.	Presupuesto para sistema de calefacción por suelo radiante utilizando tubería Pex al Pex	62
3.10.2.	Costo de implementación con tubería reticulado Pex al Pex por metro cuadrado.....	63
3.11.	Estación meteorológica	63
3.12.	Programación en Tía Portal v17 y software Arduino Uno.....	64
3.13.	Mecánica de fluidos	64
CAPÍTULO IV.....		66
RESULTADOS Y DISCUSIONES		66
4.1.	Interpretación y análisis de gráficos.....	66
4.2.	Evaluación del sistema de calefacción solar por periodo.....	66
4.2.1.	Sistema de calefacción solar con tubería Pex al Pex	67
4.2.2.	Sistema de calefacción térmico equipado con tubería Pex periodo de trabajo con electrobomba (11:00 a 15:00 horas)	68
4.2.3.	Prueba de ganancia calorífica a partir de funcionamiento de 11:00 a 15:00, 10:00 a 15:00 y de 09:00 a 16:00 horas.....	72
4.2.4.	Sistema de transferencia calorífica con tubería Pex periodo de trabajo de la electrobomba de 09:00 a 16:00 horas	74
4.2.5.	Prueba del sistema de calefacción con carga de 4 personas dentro del gabinete con periodo de trabajo de la electrobomba 09:00 a 16:00 horas.....	78
4.2.6.	Mediciones con sistema de suelo radiante instalado tubería Pex expuesto al aire libre dentro del gabinete	83
4.2.7.	Comportamiento de temperatura interior sin sistema de calefacción	88
4.3.	Cálculo de caudal, velocidad de flujo, flujo másico, flujo en peso en una tubería hidro de ½”	90
4.4.	Pérdidas de calor en el gabinete de Laboratorio de Control y Electrónica Básica	90
4.5.	Eficiencia de los colectores solares	91
CAPÍTULO V		92
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		92
5.1.	Conclusiones	92
5.2.	Recomendaciones	93
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		94
ANEXOS.....		98

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Especificaciones técnicas de tubería Pex.....	43
Tabla 2.	Especificaciones generales del equipo variador de frecuencia SINAMICS V20.....	45
Tabla 3.	Especificaciones técnicas de sensor de temperatura extraída de la hoja de fabricante.....	46
Tabla 4.	Materiales de adecuación al gabinete	47
Tabla 5.	Especificación técnica DHT 22	49
Tabla 6.	Coeficiente de conductividad térmica de los materiales.....	56
Tabla 7.	Cálculo de carga térmica por transmisión.....	56
Tabla 8.	Costo de adecuación para cubículo del laboratorista.....	62
Tabla 9.	Costo de implementación de piso radiante con tubería reticulado Pex al Pex	62
Tabla 10.	Promedio registro y evaluación del dicho mes 05 de abril al 05 de mayo del 2024 con sistema de calefacción por tubería Pex	68
Tabla 11.	Salto térmico del sistema de calefacción solar en horario de funcionamiento de 11:00 a 15:00 hrs.	69
Tabla 12.	Prueba de ganancia calorífica de tres días diferentes a diferentes horas de funcionamiento.	73
Tabla 13.	Datos de humedad relativa en diferentes días de prueba	74
Tabla 14.	Periodo de evaluación y promedio de datos del sistema de calefacción que utiliza con tuberías Pex en horas de funcionamiento a partir 09:00 a 16:00 horas.	75
Tabla 15.	Salto térmico obtenido de calefacción solar con tubería Pex en horario de funcionamiento de 09:00 a 16:00 horas.	75
Tabla 16.	Periodo de evaluación y promedio de datos del sistema de calefacción con carga de 4 personas dentro del gabinete.	79
Tabla 17.	Salto térmico del sistema de tubería Pex con carga de 4 personas el horario de funcionamiento de 09:00 am a 16:00 pm.	80
Tabla 18.	Mediciones del sistema de calefacción solar expuesto al aire libre dentro del gabinete (sin piso de madera).....	84

Tabla 19.	Salto térmico del sistema de tubería Pex expuesto al aire libre dentro del gabinete con sistema de calefacción solar el horario de funcionamiento de 09:00 am a 16:00 pm.....	85
Tabla 20.	Promedio de temperaturas y humedad relativa sin sistema de calefacción en mes de junio.....	88
Tabla 21.	Resumen de cálculo de caudal, velocidad de flujo, flujo másico, flujo en peso a una frecuencia de 25 Hz a 1500 rpm.....	90
Tabla 22.	Pruebas realizadas para hallar el caudal.....	114
Tabla 23.	Hallando la velocidad de fluido caloportador dentro de tubería hidro ½”....	115
Tabla 24.	Hallando el flujo másico en una tubería hidro de ½”	117
Tabla 25.	Demostración de flujo de agua en peso en tubería hidro de ½”	118
Tabla 26.	Resumen detallado de cálculo de caudal, velocidad de flujo, flujo másico, flujo en peso a una frecuencia de 25 Hz a 1500 rpm.	119
Tabla 27.	Período de evaluación y promedio de datos del sistema de calefacción basado en energía solar empleando tuberías Pex con periodo de trabajo de la electrobomba 11:00 am a 15:00 pm.	132
Tabla 28.	Período de evaluación y promedio de datos del sistema de calefacción utilizando tuberías Pex en horas de funcionamiento a partir 09:00 am a 16:00 pm	138

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Sistema de calefacción solar implementado en el gabinete de laboratorio..xxii
Figura 2.	Modelo de piso radiante en viviendas 24
Figura 3.	Mapa de ubicación del laboratorio de control y electrónico básico de la EPIER..... 24
Figura 4.	Distribución en serpentín simple..... 33
Figura 5.	Distribución en doble serpentín..... 34
Figura 6.	Distribución en espiral. 34
Figura 7.	Distribución de temperatura en forma vertical del aire en función del sistema de calefacción. 36
Figura 8.	Colector solar de placa plana 38
Figura 9.	Colectores de tubo de vacío Heat Pipe..... 39
Figura 10.	Ciclo de funcionamiento de agua caliente sanitaria 39
Figura 11.	Componentes de la radiación solar terrestre..... 40
Figura 12.	Bomba de agua caliente..... 42
Figura 13.	Plancha de poliestireno expandido 42
Figura 14.	Tubería caloportador de Pex al Pex..... 43
Figura 15.	Controlador lógico programable de marca SIEMENS Simatic S7-1200..... 44
Figura 16.	Variador de velocidad SINAMICS V20. 45
Figura 17.	PT 100 industrial de tres terminales 46
Figura 18.	Transmisor de temperatura 46
Figura 19.	Arduino uno R3 más cable USB 48
Figura 20.	Tarjeta para lector micro SD. 48
Figura 21.	Módulo RTC DS3231. 49
Figura 22.	Sensor de humedad DHT22. 49
Figura 23.	Localización e implementación de un sistema de calefacción solar 52
Figura 24.	Plano del gabinete del laboratorio con su dimensión. 52

Figura 25.	Esquema de representación del sistema de piso radiante calefacción del cubículo. (1) tanque de agua fría, (2) colector solar de tubos de vacío, (3) cubículo, (4) bomba centrífuga de 1/2HP, (5) válvula check.	58
Figura 26.	Instalación de colector solar de tubos de vacío y heat pipe.....	59
Figura 27.	Vista de planta y de perfil del gabinete a calefaccionar.	59
Figura 28.	Diagrama unifilar esquemático del sistema de control.	60
Figura 29.	Cableado interno y vista externa del tablero de control para el sistema de calefacción solar.....	61
Figura 30.	Diagrama de conexión para medir humedad relativa con Arduino.....	61
Figura 31.	Estación meteorológica de modelo WS GP2.	63
Figura 32.	Programación de software Tía Portal v17 y software Arduino Uno.	64
Figura 33.	Instalado en un patrón espiral con tubería Pex, humedad relativa y sensor PT100.....	67
Figura 34.	Comportamiento de temperatura interior y exterior del gabinete en el periodo de funcionamiento 11:00 a 15:00 horas.....	70
Figura 35.	Comportamiento de cinco sensores de temperatura en periodo análisis 11:00 a 15:00 hrs.....	71
Figura 36.	Registro de promedio de humedad relativa y temperatura dentro del gabinete.	72
Figura 37.	Prueba de ganancia calorífica en diferentes días y horas.	73
Figura 38.	Comportamiento de temperatura interno del gabinete y humedad relativa.	74
Figura 39.	Comportamiento de temperatura interior y sin sistema de calefacción en funcionamiento 09:00 a 16:00 hrs.....	76
Figura 40.	Comportamiento de cinco sensores de temperaturas durante el periodo de análisis 09:00 a 16:00 hrs.....	77
Figura 41.	Registro de promedio de humedad relativa y temperatura dentro del gabinete.	78
Figura 42.	Sistema de calefacción con carga de 4 personas dentro del gabinete.....	79
Figura 43.	Aporte calorífico de 4 personas en el transcurso de funcionamiento 09:00 a 16:00 hrs.	81
Figura 44.	Comportamiento de las temperaturas a lo largo de periodo de evaluación con carga de 4 personas dentro del gabinete	82

Figura 45.	Registro de promedio de humedad relativa y temperatura dentro del gabinete con carga de 4 personas.	83
Figura 46.	Sistema de calefacción solar expuesto al aire libre dentro del gabinete.....	84
Figura 47.	Aporte calorífico con tubería Pex para sistema de suelo radiante expuesta a aire libre.....	86
Figura 48.	Comportamiento de todas las temperaturas, tubería expuesta al aire libre dentro del gabinete	87
Figura 49.	Registro de promedio de humedad relativa y temperatura dentro del gabinete expuesto al aire libre.....	88
Figura 50.	Funcionamiento de temperatura interior sin calefacción en mes de junio... ..	89
Figura 51.	Registro de humedad relativa y temperatura dentro del gabinete sin calefacción solar mes de junio.	89
Figura 52.	Ficha técnica de la bomba periférica.....	99
Figura 53.	Especificaciones técnicas Controlador Lógico Programable	99
Figura 54.	Ficha técnica de transmisor de temperatura	100
Figura 55.	Factor de corrección de la temperatura fk de la UNE-EN 12831.....	101
Figura 56.	Transferencia térmica U , el documento DA DB-HE/1.	101
Figura 57.	Número de renovación mínima nmin del aire exterior.	101
Figura 58.	Factor de recalentamiento la norma UNE-EN 12831, para edificios no residenciales.	102
Figura 59.	Medición del cubículo.	103
Figura 60.	Elevación de pared de vidrio para el gabinete.....	103
Figura 61.	Trazado sobrepiso actual del gabinete.....	104
Figura 62.	Detalle de la instalación del piso radiante debajo de piso de madera	105
Figura 63.	Adecuación de equipos de control.....	106
Figura 64.	Prueba de continuidad, para su posterior puesto en marcha.....	106
Figura 65.	Armado y cableado del sistema de control.....	107
Figura 66.	Programación de entradas analógicas de cinco sensores de temperatura....	108
Figura 67.	Horas de funcionamiento de circulación de fluido caloportador y parada.	109

Figura 68.	Horas de trabajo del sistema de calefacción solar y recolección de datos..	110
Figura 69.	Programa de adquisición de datos.....	110
Figura 70.	Visualización de datos en tiempo real.....	111
Figura 71.	Ecuación polinómica de orden tres, para hallar caudal a diferentes frecuencias.....	114
Figura 72.	Ecuación polinómica de orden tres, para hallar velocidad a diferentes frecuencias.....	116
Figura 73.	Ecuación polinómica de orden tres, para hallar flujo másico a diferentes frecuencias.....	117
Figura 74.	Ecuación polinómica de orden tres, para hallar flujo en peso a diferentes frecuencias.....	118

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1.	Especificaciones técnicas de sistema de calefacción solar	99
Anexo 2.	Diseño de calefacción con la norma española UNE-EN 12831 y viabilidad de ecuaciones utilizadas para el presente proyecto de investigación.	101
Anexo 3.	Proceso de construcción y adecuación del cubículo e instalación de piso radiante	103
Anexo 4.	Instalación del tablero de control con sus respectivos componentes.	106
Anexo 5.	Programación en Tía Portal v17 para el sistema de control.....	108
Anexo 6.	Sistema de programación de Arduino Uno para recolección de datos cada un minuto de humedad relativa dentro del gabinete durante las 24 horas.	112
Anexo 7.	Ecuaciones de mecánica de fluidos utilizados en el presente proyecto.	114
Anexo 8.	Dimensionamiento de calentador solar para elevar la temperatura de 1 líquido.	120
Anexo 9.	Dimensionamiento de la transferencia térmica en un sistema de suelo radiante con tubería pex	124
Anexo 10.	Cálculo de pérdidas del gabinete.	126
Anexo 11.	Eficiencia de los colectores solares.....	131
Anexo 12.	Promedio de datos con horas de funcionamiento de la bomba periférica 11 am a 15 pm y 09 am a 16 pm.	132

LISTA DE ABREVIATURAS

EPIER	: Escuela profesional de ingeniería en energías renovables
UNAJ	: Universidad Nacional de Juliaca
HP	: Horsepower
PLC	: Controlador lógico programable
NTP	: Norma técnica peruana
HR	: Humedad relativa
ACS	: Agua caliente sanitaria
HSP	: Horas sol pico
AC	: Corriente alterna
DC	: Corriente continua
RPM	: Revoluciones por minuto
RTD	: Detector de temperatura resistivo
RTC	: Reloj en tiempo real

LISTA DE SÍMBOLOS

Q_D	: Carga térmica de diseño (W)
Q_T	: Carga de transmisión (W)
Q_V	: Carga de ventilación e infiltración (W)
Q_I	: Cargas internas o calentamiento (W)
f_k	: Factor de corrección
A	: Área (m^2)
U	: Transferencia térmica $W/(m^2 * K)$
T_{int}	: Temperatura interna ($^{\circ}C$)
T_e	: Temperatura exterior ($^{\circ}C$)
V_{min}	: Caudal mínimo de ventilación o infiltración (m^3/h)
V	: Volumen interior del gabinete m^3
n_{min}	: Número de renovaciones
f_{RH}	: Factor de recalentamiento (W/m^2)
K	: Coeficiente térmico ($W/m^2 * K$)
S_p	: Superficie de la puerta (m^2)
S_v	: Superficie de la ventana (m^2)
\dot{v}	: Volumen de aire infiltrado (m^3/h)
ρ	: Densidad (Kg/m^3)
m	: Masa (Kg)
V	: Volumen (m^3)
γ	: Peso específico (N/m^3)
g	: Gravedad (m/s^2)
Q	: Caudal (m^3/s)
t	: Tiempo (s)
v	: Velocidad de fluido caloportador (m/s)
\dot{w}	: Flujo en peso (N/s)
\dot{m}	: Flujo másico (Kg/s)
D	: Diámetro de tubería hidro (m)

RESUMEN

Las energías renovables, que son inagotables y continuamente disponibles, incluyen fuentes como la solar, eólica, biomasa y mareomotriz. En Perú, la región altiplánica de Puno, situada a más de 3,800 msnm, es de particular interés por sus bajas temperaturas, especialmente en invierno, donde las máximas rondan los 15 °C y las mínimas pueden bajar hasta -7.8 °C. En la Escuela Profesional de Ingeniería en Energías Renovables de la Universidad Nacional de Juliaca, algunos laboratorios, ubicados en el lado sur del edificio, carecen de acceso directo a la radiación solar, resultando en ambientes fríos. Se llevó a cabo un proyecto de investigación con el objetivo de implementar un sistema de calefacción por piso radiante, mejorando así el confort térmico en el gabinete del Laboratorio de Control y Electrónica Básica de la EPIER, en la sede Ayabacas. El sistema incluyó tuberías de polietileno reticulado (Pex) de ½ pulgada de diámetro, cubriendo un área de 14 m². El agua, utilizada como fluido térmico, fue calentada mediante un colector solar con 20 tubos de vacío, alcanzando una temperatura promedio de 65 °C. La circulación del agua caliente fue asegurada por una bomba periférica trifásica de 0.5 HP, controlada por un variador de frecuencia y gestionada por un PLC. Las pruebas experimentales se llevaron a cabo en otoño de 2024, evaluando el rendimiento del sistema que utiliza circulación de agua caliente a través del piso del gabinete, utilizando tuberías de polietileno reticulado. Los resultados mostraron temperaturas promedio dentro del gabinete de 19.19 °C, cumpliendo con los estándares de confort térmico de la Norma Técnica Peruana - NTP 501. La humedad relativa se mantuvo en niveles aceptables. Además, el sistema de aislamiento con poliestireno expandido resultó efectivo y económico, aumentando la temperatura en hasta 5.99 °C, lo que sugiere mejores condiciones de habitabilidad y trabajo del gabinete.

Palabras clave: Aislamiento térmico, calefacción por energía solar, colector solar de vacío, control térmico, piso radiante.

ABSTRACT

Renewable energies, which are inexhaustible and continually available, include sources such as solar, wind, biomass and tidal energy. In Peru, the highland region of Puno, located at more than 3,800 meters above sea level, is of particular interest for its low temperatures, especially in winter, where maximum temperatures are around 15 °C and minimum temperatures can drop to -7.8 °C. At the Professional School of Renewable Energy Engineering of the National University of Juliaca, some laboratories, located on the south side of the building, lack direct access to solar radiation, resulting in cold environments. A research project was carried out with the objective of implementing a radiant floor heating system, thus improving thermal comfort in the office of the Control and Basic Electronics Laboratory of EPIER, at the Ayabacas headquarters. The system included ½ inch diameter cross-linked polyethylene (Pex) pipes, covering an area of 14 m². The water, used as a thermal fluid, was heated by a solar collector with 20 vacuum tubes, reaching an average temperature of 65 °C. The circulation of hot water was ensured by a 0.5 HP three-phase peripheral pump, controlled by a frequency converter and managed by a PLC. Experimental tests were carried out in autumn 2024, evaluating the performance of the system using hot water circulation through the cabinet floor, using cross-linked polyethylene pipes. The results showed average temperatures inside the cabinet of 19.19 °C, complying with the thermal comfort standards of the Peruvian Technical Standard - NTP 501. The relative humidity was maintained at acceptable levels. Furthermore, the insulation system with expanded polystyrene was effective and economical, increasing the temperature by up to 5.99 °C, which suggests better habitability and working conditions of the cabinet.

Keywords: Thermal insulation, solar energy heating, vacuum solar collector, thermal control, radiant floor.

INTRODUCCIÓN

Las energías renovables están experimentando un notable crecimiento con bastante éxito debido a que es un recurso gratuito e inagotable. Entre ellas destaca la energía solar fotovoltaica, aunque la energía solar térmica también posee un gran potencial. El sistema de calefacción por piso radiante fue uno de los primeros en ser implementado, y desde entonces su adopción ha aumentado significativamente. Esta tecnología podría ser de gran utilidad en las zonas altoandinas de Perú, donde las comunidades más vulnerables se beneficiarían de su aplicación.

Durante los últimos años en el departamento de Puno, en la provincia de San Román se han registrado las bajas temperaturas en la estación de invierno que han conllevado a cambios climáticos muy bruscos incluso registrándose a temperaturas por debajo de los 0 °C, con descenso de temperaturas hasta condiciones extremas (Berrio & Hanco, 2017). Que se han registrado un importante riesgo de salud en los ambientes laborales en las oficina, colegios y universidades, que ha traído consigo, una serie de problemas especialmente las condiciones de confort térmico para el laboratorista que ocupa este gabinete (Sánchez, 2015).

En las aulas del Instituto de Investigación en Energías Renovables y Eficiencia Energética sede Ayabacas, se vio al personal laboratorista incomodidades de las inclemencias frías que se apodera en Laboratorio de Control y Electrónica Básica de EPIER ya que este laboratorio es más frecuentado por los estudiantes de los diferentes semestres académicos que están ubicados en el primer nivel en la orientación sur que no tiene incidencia de radiación solar durante todo el día. Por estas razones, se planteó la idea de desarrollar este proyecto, cuyo objetivo es implementar un sistema de calefacción solar por piso radiante con el fin de optimizar las condiciones de confort térmico en el gabinete, como se muestra en la Figura 1. Se instaló un calentador solar encargado de elevar la temperatura del agua, que será impulsada por una bomba periférica para la circulación del fluido térmico a través del suelo, regulado mediante un variador de frecuencia. Todo el sistema será controlado por un controlador lógico programable (PLC).

De esa forma se realizó las pruebas con periodos de funcionamiento de la electrobomba (11am – 15pm y 9am – 16pm), luego con carga de cuatro personas y por ultimo tubería pex expuesto al aire libre en este contexto la circulación de agua caliente a través del suelo llegando a lograr un promedio del ambiente dentro del gabinete estando así dentro de la zona de confort por la Norma Técnica Peruana - NTP 501 de (17-27) °C, pero considerando

el lenguaje, porque que el termino confort viene con una connotación de lujo, aquí hablamos más bien de una habitabilidad de una condición mínima de bienestar térmico al interior del gabinete y para condiciones de humedad relativa, es decir se requiere energizar los ambientes para que sean confortables para el laboratorista que ocupara este gabinete, es necesario tener un enfoque bioclimático.

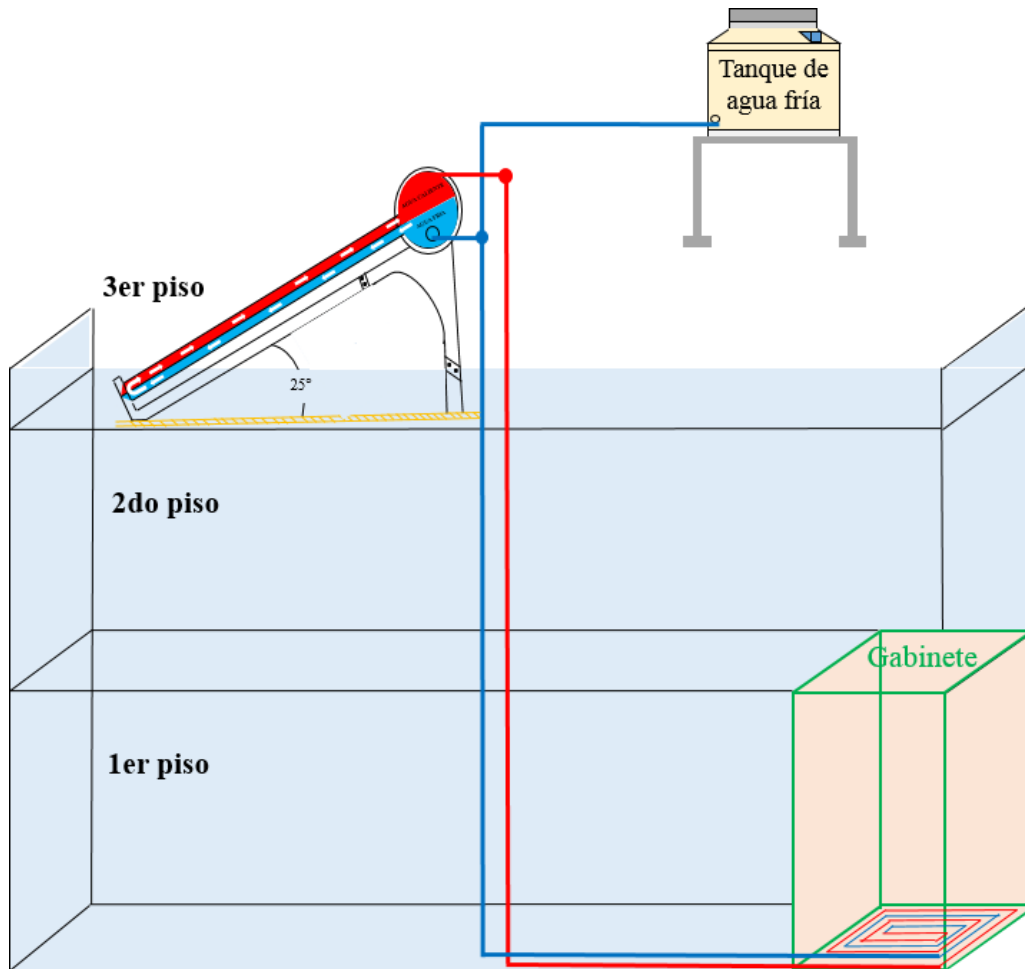


Figura 1. Sistema de calefacción solar implementado en el gabinete de laboratorio.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Planteamiento del problema

Actualmente diversos países de la Unión Europea tienen un desabastecimiento del suministro del gas ruso producto del conflicto armado con Ucrania. Este hecho ha provocado que países como Alemania, Francia y Dinamarca entre otros multipliquen el financiamiento para su transición al uso de las energías renovables por buscar una independencia del gas ruso que es utilizado principalmente para la calefacción de hogares durante el invierno en Europa.

La energía proveniente del sol en el mundo está siendo aprovechada para diversas aplicaciones con bastante éxito debido a que es un recurso gratuito e inagotable. En el Perú entre los usos más reconocidos se encuentra la captura de energía solar fotovoltaica, aunque otro aspecto prometedor de la energía solar es su potencial adicional. Es la energía solar térmica utilizada para calentar agua para aplicaciones domésticas e industriales. La energía solar térmica se centra en utilizar la energía del sol para generar calor, específicamente para la obtención de agua caliente sanitaria (ACS), las aplicaciones son el calentamiento de agua de piscinas y calefacción por piso radiante entre otras.

La región de Puno está ubicada a más de 3800 msnm por ese motivo se experimentan temperaturas reducidas, especialmente durante la temporada en invierno. Las temperaturas medias anuales son de 15 °C pudiendo descender a temperaturas negativas en ciudades ubicadas a más altitud. Para la ciudad de Juliaca el mes con temperatura más alta es de noviembre (18.8 °C), la temperatura más baja se da en el mes de julio (-7.8 °C) (Senamhi, 2020). Esto influye a las temperaturas de las viviendas sean críticas principalmente en invierno.

En este contexto, es imprescindible proponer opciones de sistemas de calefacción que tengan soluciones problemas como en viviendas y colegios, para eso estamos proponiendo una alternativa que es la instalación de piso radiante donde consiste una red de tubos, generalmente de plástico que se distribuye en el interior del suelo de nuestros hogares interponiendo el aislado térmico que evitaría la disipación del calor hacia la planta inferior.

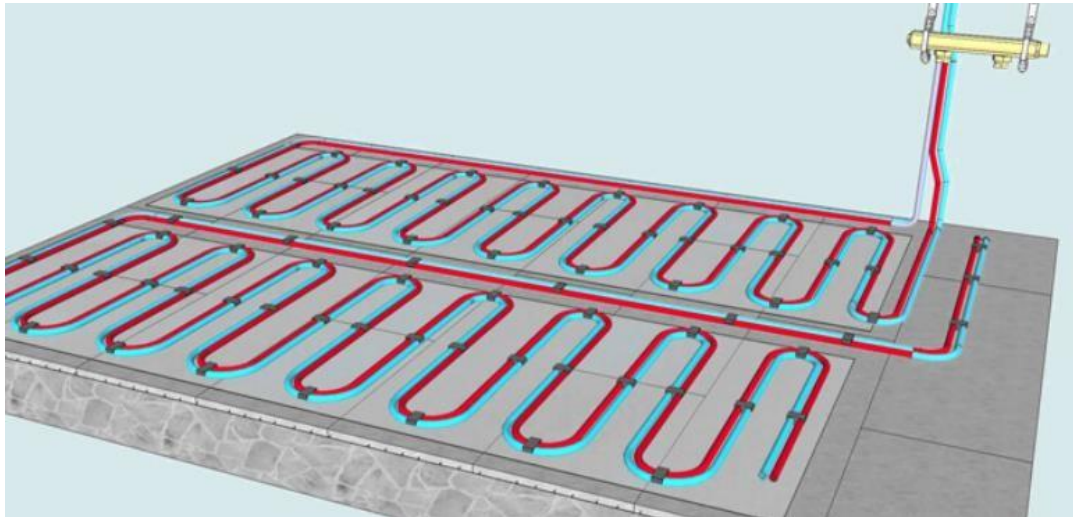


Figura 2. Modelo de piso radiante en viviendas (Ilutop , 2017).

Las bajas temperaturas también afectan instalaciones académicas, es así que se tiene los laboratorios de la EPIER ubicados en la orientación sur de la edificación donde no recibe la radiación solar en el día por lo que son instalaciones frías (Figura 3). Este ambiente corresponde al Laboratorio de Control y Electrónica Básica que sufre con las inclemencias del clima que afecta al personal laboratorista. En este laboratorio se tiene un gabinete donde el laboratorista labora todo el día y se tiene un área mayor donde se encuentran los equipos utilizados por los estudiantes.



Figura 3. Mapa de ubicación del laboratorio de control y electrónico básico de la EPIER (Elaboración propia).

En este marco, la presente tesis sugiere la utilización de energía solar térmica mediante la instalación de un sistema de calefacción por suelo radiante con tuberías de polietileno reticulado (PEX) en el gabinete donde desempeña su labor el técnico del Laboratorio de Control y Electrónica Básica. Se pretende desarrollar un sistema de calefacción solar por suelo radiante que proporcione condiciones de habitabilidad óptimas para el personal, sea fácil de manejar y constituya una aplicación práctica.

1.2. Formulación de problema

En el contexto de los argumentos propuestos se planteó las siguientes interrogantes de investigación:

1.2.1. Problema general

¿Será la implementación de un sistema de calefacción solar por piso radiante para el gabinete del Laboratorio de Control y Electrónica Básica de la EPIER una alternativa para mejorar condiciones de confort térmico?

1.2.2. Problemas específicos

¿Cómo dimensionar la tubería tipo PEX para el sistema de calefacción de piso radiante en el gabinete del Laboratorio de Control y Electrónica Básica?

¿Cómo implementar un algoritmo de control y adquisición de datos mediante un PLC para el funcionamiento del sistema de calefacción por piso radiante del Laboratorio de Control y Electrónica Básica de la EPIER?

¿Será posible determinar las ventajas del aislamiento del gabinete y su contribución en la calefacción del Laboratorio de Control y Electrónica Básica de la EPIER?

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1. Objetivo general

Implementar un sistema de calefacción por piso radiante para mejorar condiciones de confort térmico del gabinete del Laboratorio de Control y Electrónica Básica de la EPIER.

1.3.2. Objetivos específicos

Dimensionar la tubería PEX para el piso radiante Laboratorio de Control y Electrónica Básica de la EPIER.

Implementar un algoritmo de control y de adquisición de datos en un PLC para el funcionamiento del sistema de calefacción por piso radiante del Laboratorio de Control y Electrónica Básica de la EPIER.

Evaluar las ventajas de aislar el gabinete y su contribución en la calefacción del Laboratorio de Control y Electrónica Básica de la EPIER.

1.4. Justificación de la investigación

1.4.1. Justificación técnica

La presente investigación sobre calefacción por suelo radiante será relevante, ya que permitirá aprovechar la energía solar térmica y su implementación en un sistema de calefacción solar destinado al laboratorio de control y electrónica básica. Para ello, se emplearán tecnologías como colectores de tubos al vacío, sistemas de control y circulación mediante una bomba eléctrica. Se prevé desarrollar un sistema de calefacción que pueda ser replicado en los demás laboratorios.

1.4.2. Justificación social

Este trabajo despertará el interés de los estudiantes de la Escuela Profesional de Ingeniería en Energías Renovables en la investigación y desarrollo de sistemas de calefacción por piso radiante. La implementación del sistema en el Laboratorio de Control y Electrónica Básica de EPIER servirá como un punto de partida para futuras investigaciones y proyectos en esta área. Se espera que este estudio incentive a los alumnos a explorar más a fondo esta tecnología y a desarrollar nuevos proyectos basados en estos hallazgos.

1.4.3. Justificación ambiental

El empleo de combustibles fósiles para la producción de energía eléctrica contribuye de manera notable al cambio climático a nivel global. Por este motivo, es esencial incrementar la investigación en fuentes de energía renovable. Como la energía solar. Esta tecnología se encuentra en continuo desarrollo, con mejoras que la hacen progresivamente más eficiente y avanzada. A diferencia de los combustibles fósiles, la energía solar fotovoltaica es una alternativa limpia y libre de emisiones, ofreciendo una opción sostenible para reducir el impacto ambiental.

1.4.4. Justificación económica

Además de aprovechar la energía solar térmica en el proyecto de calefacción por suelo radiante, lo cual es ideal para el ahorro energético en un laboratorio de la escuela, resulta crucial tener en cuenta el factor económico. Se busca que el costo del proyecto sea financieramente factible, de manera que se pueda impulsar su implementación.

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LA LITERATURA

2.1. Antecedentes

En este campo de la investigación se encuentran una gran cantidad de estudios realizados, con la finalidad de fomentar la implementación de un sistema de piso radiante para poder mejorar el confort térmico de un lugar deseado, utilizando energías renovables. A continuación, mencionaremos los antecedentes de diferentes autores.

2.1.1. Antecedentes de la investigación

En la investigación internacional de calefacción de piso radiante podemos mencionar a Villarruel, (2010), quien estudia la implementación de un sistema de calefacción solar por piso radiante para un salón de eventos del Centro de Ferias Parque Saval ubicado en la ciudad de Valdivia Chile, cuenta con un salón de eventos de 1500 m², este diseño se divide en 4 circuitos cada uno de estos circuitos está compuesto por 15 serpentines de polietileno reticulado, con una circulación de agua a 55 °C obteniendo una temperatura en el interior de la sala de 17 °C, con una temperatura óptima para las condiciones ambientales del lugar con una demanda de calor 127 189.70 Kcal/m². En la misma línea podemos mencionar al proyecto desarrollado por (Rodea, 2012), quien diseñó un sistema de calefacción solar en la ciudad de México, con el objetivo de implementar un sistema de piso radiante, posterior a ello se realizó el análisis por medio de un modelo a escala, el cual se comparó con un modelo real, utilizando un software Autodesk Ecotect Analysis para evaluar el desempeño y la eficiencia del sistema de calefacción y el comportamiento del confort térmico del espacio de 3 m². Finalmente, se efectuó una comparación en términos de eficiencia energética y del desempeño térmico del sistema de calefacción por suelo radiante en relación al mecánico de calefacción.

Así mismo también tenemos a Carribero, (2010), diseño de una instalación solar térmica para la producción de agua caliente sanitaria y calefacción por suelo radiante en una vivienda, está situado en la Provincia de Cádiz en el término municipal del Puerto de Santa María España. Fue diseñado a las condiciones climáticas del potencial solar del lugar los captadores solares con una inclinación de 45°. Se utilizó un software (nombre: Centralita de regulación, Marca Rayosol, Modelo CEP 1201) para realizar una simulación con los datos obtenidos del diseño. En conclusión este trabajo presenta

un punto de vista sobre el ahorro energético y el confort térmico este sistema es el más económico a largo plazo y el más eficiente con energías renovables.

En la literatura nacional referida al tema de investigación presenta diversos resultados. Así como tenemos a Castro, (2018), Evaluación y simulación de un piso radiante en el albergue del centro poblado de Imata ubicado a 4500 msnm, se realiza una evaluación y simulación de sistemas radiantes, con el fin de conocer el aporte energético de los colectores tanto al tanque térmico como al suelo radiante. Esta tesis se desarrolló con el objetivo de brindar salud a las personas que viven en lugares fríos, como es el centro poblado de Imata, donde las temperaturas mínimas oscilan entre $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ para el mes de julio (SENAMHI, 2017). Los colectores solares de placa plana calientan agua con un fluido anticongelante para proporcionar calefacción al albergue. En conclusión, la temperatura promedio máxima dentro del albergue alcanzó aproximadamente $18\text{ }^{\circ}\text{C}$, que es $7\text{ }^{\circ}\text{C}$ más alta que la temperatura exterior durante el día. Este incremento proporciona un ambiente térmicamente agradable para los residentes de la zona.

Según Olivera, (2011), quien diseñó un suelo radiante para una sala de 12 m^2 ubicado en Langui-Cusco, el sistema diseñado fue de una casa que ya contaba con termas solares y paneles solares con una potencia de 150 Wp para poder hacer circular agua a través de serpentín PEX ya que resulta amigable con el medio ambiente utilizando recursos energéticos renovables. Obteniendo como resultado el funcionamiento de piso radiante alcanzando una temperatura de $13\text{ }^{\circ}\text{C}$, la temperatura deseada era de $18\text{ }^{\circ}\text{C}$. Esto debido a que la temperatura del agua del ingreso al serpentín de tubería no fue el indicado.

También tenemos a Torrel, (2023), quien menciona en su título el uso de la energía solar para aplicaciones de climatización, por suelo radiante, en una vivienda rural de la ciudad de Cajamarca en el Caserío de Sexemayo Lote 1, el diseño y la implementación fue estudiada a las condiciones climatológicas del lugar para brindar mejores condiciones de vida de los pobladores de zonas rurales, se utilizó un software Revit 2019 y un programa RetScreen para realizar una simulación con los datos obtenidos, como resultado se tiene así, que el sistema funciona con energía solar, es la opción más económica con tubería polietileno reticulado (PEX).

En la literatura local, los estudios realizados de calefacción por piso radiante fueron a escala, tenemos a Aquino (2018), quien menciona determinar la energía solar para el

diseño bioclimático de viviendas en la ciudad de Juliaca. Fue diseñado y construido un módulo experimental de suelo radiante, se utilizó un instrumento solarímetro MAC-SOLAR SLM018c-2 para realizar una simulación con los datos obtenidos del diseño, donde se calculó un valor promedio de la irradiación solar de 1110,04 W/m² siendo las Horas Sol Pico (HSP) de 6,632 kWh/m²/d. En conclusión, la circulación de agua caliente por el piso radiante llegando a una temperatura promedio de 20.93 °C, manteniendo dentro de las condiciones de confort térmico adecuado, desde las 6:00 a 21:00 horas. También podemos mencionar a Berrio & Hanco (2017) quien dimensionó un prototipo de calefacción utilizando PCMS 45 aprovechando la energía solar térmica que es alta en la ciudad de Puno. Este sistema de piso radiante fue diseñado para mejorar la calidad de vida para las personas que habitan en la región de Puno, que está ubicado a una altura de 3827 msnm, al concluir las pruebas del prototipo se pudo mantener la temperatura en el interior de 20 °C a 21 °C con un tiempo de duración de 2 a 2.5 horas, con una carga promedio de 25 minutos. Estos resultados nos conducen a un ahorro de energía.

Los investigadores Vilca & Roque, (2016), diseñaron y construyeron un módulo de suelo radiante utilizando gas natural en la ciudad de Juliaca, este proyecto investigativo tiende a diseñar y construir un sistema por suelo radiante que permitió utilizar el calor excedente de los sistemas térmicos y aprovechar las pérdidas para transformarlas en energía. Posterior a ello el agua es calentada, y transportada por tuberías bajo el suelo con o sin aditivo, realizando un intercambio de calor, obteniendo como resultado el mes de agosto llegó una temperatura de 5 °C negativo hasta 17 °C, este prototipo de suelo radiante ayudó a incrementar la temperatura dentro del rango de 18 °C a 29 °C, y se logró un confort térmico agradable para las personas.

2.2. Marco teórico

2.2.1. Calefacción solar

El colector solar está instalado a un ángulo de inclinación de 25° que es el más óptimo y adecuado para la ciudad de Juliaca (Quispe, 2021), de esta manera se aprovecha la energía térmica más eficiente para calefaccionar el gabinete de laboratorista y mantener a una temperatura adecuada, la calefacción solar se puede aplicar de varias maneras una de ellas es instalando un piso radiante dentro del gabinete y transferir calor de forma uniforme, silenciosa, ecológica y económica. Un ejemplo digno de imitar.

2.2.2. Tipos de calefacción solar

La calefacción solar se puede aprovechar básicamente de dos formas.

a. Calefacción solar pasiva

La calefacción solar pasiva tiene la función de aprovechar al máximo la energía solar, sin ninguna alteración alguna, a través de ventanas, paredes que deben de estar orientados y diseñados al momento de su construcción una casa o un edificio de esta manera se puede aprovechar considerablemente el aprovechamiento de energía natural, manteniendo el interior de la vivienda a una temperatura bastante confortable, todo gracias a la energía solar, sin recurrir a tecnología adicional ni contaminación.

b. Calefacción solar activa

La calefacción solar activa que aprovecha la radiación solar en el lugar donde la energía solar se convierte en energía térmica, colectores solares térmicos y termas solares, así poder aprovechar agua caliente para calefaccionar el gabinete de laboratorista se necesita de una bomba para hacer fluir agua a través de un circuito realizado pudiendo liberar y transferir energía calorífica en el interior del gabinete con una temperatura bastante agradable para personal encargado.

2.2.3. Calefacción con suelo radiante

El sistema de calefacción por suelo radiante se usó en el continente europeo que fueron los primeros en aplicar la calefacción y desde entonces el crecimiento de esta tecnología está siendo muy evidente. Ahora como se conoce en la actualidad la energía térmica se puede utilizar como agua caliente sanitaria en forma de serpentines para disipar calor en el ambiente del gabinete y mantener a una temperatura adecuada. Este proyecto se realiza en la región de Puno, en las zonas donde la temperatura es baja, por ende, esta tecnología es muy poco conocida en la costa y selva (Olivera, 2011).

Las ventajas y desventajas del suelo radiante que representa dicho sistema lo veremos a continuación.

a. Ventajas

Confortable: Es confortable por que se distribuye de forma uniforme el fluido caloportador, manteniendo así calor ideal en el gabinete.

Estética: La instalación de sistema de piso radiante se realiza integrado en el suelo y es invisible, por tal no ocupa espacio en el gabinete de laboratorista.

Saludable: Debido a que el aire inferior es ligeramente caliente que la parte superior ya que el calor se disipa de forma uniforme por todo el gabinete, por estas razones no se genera corrientes de aire, ni la elevación de polvo y la baja humedad impide la proliferación.

b. Desventajas

Costo de instalación: Este tipo de instalación requiere una inversión alta al inicio por los accesorios que se instala, pero a su vez tiene vida larga el funcionamiento del sistema.

Inercia térmica: Existe inercia térmica alta, debido a que el fluido caloportador demora en distribuir calor en toda la superficie del gabinete y luego calentar el aire del ambiente.

2.2.4. Tubería Pex al Pex

La tubería PEX (polietileno reticulado) es ampliamente utilizada en aplicaciones de calefacción por piso radiante y sistemas de climatización invisibles, como el suelo radiante. Este tipo de tubería ofrece varias ventajas, como su flexibilidad, resistencia a la corrosión, durabilidad y facilidad de instalación. Estas características hacen que sea ideal para instalaciones donde se requiere un sistema de calefacción eficiente y duradera.

Además de las aplicaciones mencionadas, la tubería PEX también se utiliza en otros sistemas, como:

Calentamiento de zócalo eléctrico radiante: Este sistema utiliza la tubería PEX en conjunto con un sistema eléctrico para proporcionar calefacción en zócalos, lo que es útil en construcciones donde se requiere una fuente de calor adicional.

Construcción de pisos de concreto o en voladizo: La tubería PEX se puede integrar en la construcción de pisos de concreto, permitiendo la instalación de sistemas de calefacción radiante en pisos de concreto, incluso en estructuras en voladizo.

Sistemas de derretimiento de hielo y nieve: La tubería PEX también se utiliza en sistemas de derretimiento de hielo y nieve para pavimentos y caminos. Estos sistemas

son especialmente útiles en regiones frías, ya que ayudan a mantener las superficies transitables al evitar la acumulación de hielo y nieve.

La versatilidad de la tubería PEX la convierte en una opción popular en diversas aplicaciones de calefacción y climatización, tanto en edificaciones residenciales como comerciales.

2.2.5. Configuración de tuberías

En Laboratorio de Control y Electrónica Básica, el sistema de instalación fue en piso de un gabinete por tubería de polietileno reticulado (PEX) para poder mantener calor de forma uniforme, a continuación, expondremos tres métodos para instalar.

a. Distribución en serpentín simple

El método de distribución es avanzando en líneas paralelas entre una y otra, el fluido caloportador que contiene el circuito tiene inconveniente de distribuir calor, porque ingresa agua con una temperatura mayor a menudo que circula se va enfriando, como se puede observar en la figura 4 este tipo de circulación.

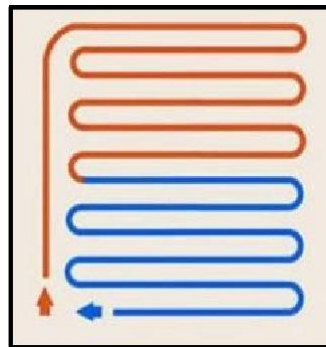


Figura 4. Distribución en serpentín simple adaptado de Uponor, (2017).

b. Distribución en doble serpentín

Esta disposición consiste en que las tuberías de suministro y las de retorno se instalan en paralelo, de manera que el calor generado se distribuye de forma igualitaria y se adapta perfectamente para los gabinetes irregulares o largos, la desventaja se genera al momento de instalar y distribuir porque tiene pequeños radios de curvatura como lo muestra la Figura 5, el tipo de distribución.



Figura 5. Distribución en doble serpentinado adaptado de Uponor (2017).

c. Distribución en espiral

Esta forma de distribución de fluido, empieza de la parte exterior avanzando hacia la parte interior y viceversa, generando calor de forma uniforme en cualquier punto del gabinete como se observa en la Figura 6, además no tienen radios pequeños e nos facilita la instalación del circuito que es lo más recomendable para sistemas de calefacción de piso radiante.



Figura 6. Distribución en espiral adaptado de Uponor (2017).

2.3. Marco conceptual

2.3.1. Energía renovables

Las fuentes de energía renovables representan recursos prácticamente inagotables a escala humana y tienen el potencial de satisfacer la demanda global de energía sin dificultades. No obstante, la transición desde nuestro actual suministro basado en combustibles fósiles hacia energías renovables no será sencilla ni inmediata; requerirá un proceso gradual y planificado a lo largo del tiempo. La dependencia actual de los combustibles fósiles en nuestro sistema energético hace que este cambio sea uno de los mayores desafíos del siglo XXI. La implementación exitosa de fuentes renovables

es esencial para garantizar un suministro energético sostenible y respetuoso con el medio ambiente en el futuro (Feliciano, 2019).

2.3.2. Energía solar

La energía solar directa se refiere a la energía del sol en su forma natural, sin modificaciones, que proporciona tanto calor como luz. Para su aprovechamiento, se requieren sistemas adecuados para la captura y almacenamiento de la radiación solar, y se puede utilizar de diversas maneras:

- a. Utilización directa:** También conocido como energía solar térmica pasiva, esta forma de aprovechar la energía solar implica la integración de elementos arquitectónicos, como vitrales y materiales con alta capacidad de absorción térmica. Estos elementos permiten que la energía solar se convierta en calor y se acumule de manera natural en los espacios interiores.
- b. Transformación en calor:** Se refiere a la energía solar térmica activa, que utiliza colectores solares para transformar la radiación solar en calor. Este calor se transfiere a un fluido que circula por el sistema, el cual puede ser utilizado para calentar agua sanitaria, complementar la calefacción de edificios, o calentar piscinas, entre otras aplicaciones.
- c. Transformación en electricidad:** Conocida como energía solar fotovoltaica, esta tecnología convierte la radiación solar en electricidad a través de células fotovoltaicas integradas en módulos solares. La electricidad generada puede utilizarse directamente, almacenarse en baterías para su uso posterior, o ser inyectada en la red de distribución eléctrica (Méndez & Cuervo, 2007).

2.3.3. Calefacción por piso radiante

El suelo radiante es el sistema más interesante desde el punto de vista ya que trabajo con energía solar con respecto a otros sistemas de calefacción (Castro, 2018), el suelo radiante trabajo con agua caliente por las tuberías que fue instalados dentro del gabinete en forma espiral, de esta forma se encarga de transferir calor de forma uniforme, calentando así al personal laboratorista y el aire que hay en el cubículo, consiguiendo mejorar el confort térmico y habitabilidad para el laboratorista (Rodea, 2012), así como se visualiza en la Figura 7.



Figura 7. Distribución de temperatura en forma vertical del aire en función del sistema de calefacción (Diaz & Tinta, 2017).

Con respecto a la velocidad del aire, se recomienda que este en un rango de 0 a 2 m/s (Olivera, 2011), pero para nuestro proyecto no será un problema porque el sistema instalado de piso radiante se encuentra dentro del Laboratorio de Control y Electrónica Básica de EPIER, por ello el aire dentro del cubículo del laboratorista se encuentra en reposo.

Con respecto a la instalación de sensor de temperatura (Pt100) tenemos a (Quelcca & Aguilar, 2022) quienes instalaron un sensor de temperatura a un metro de altura del piso de la vivienda, en la misma línea tenemos a Pizarro et al. (2019), quienes instalaron estratégicamente los sensores en sistema de calefacción solar para un aula universitaria de la Universidad Nacional de Juliaca, se tomó referente a esta investigaciones realizadas en la región de Puno, en nuestro proyecto de investigación se instaló en el medio del gabinete a un 1m del piso.

Con respecto a la humedad relativa recomienda que la humedad no baje 25% ni que excede del 65% (Olivera, 2011) de igual forma menciona a Diaz & Tinta (2017) la humedad relativa debe de estar comprendido entre 30% y 70%. Durante el desarrollo de nuestro proyecto de investigación se consideró trabajar la humedad relativa y está dentro del rango mencionado por los investigadores mencionados.

2.3.4. Confort térmico

El confort térmico se refiere a la sensación de comodidad que experimentan las personas en relación con la temperatura y el entorno. Es un estado en el que una

persona se siente ni demasiado caliente ni demasiado fría, sino en un equilibrio térmico adecuado.

Factores que influyen en el confort térmico:

a. Temperatura del aire

Es uno de los factores más evidentes. Una temperatura adecuada según la estación y las actividades que se estén realizando es crucial para el confort térmico.

b. Humedad relativa

La humedad en el aire puede afectar la sensación térmica. Un ambiente con alta humedad puede hacer que la temperatura se perciba mayor de lo habitual, mientras que un ambiente con baja humedad puede hacer que se sienta más fría.

c. Velocidad de aire

El movimiento del aire afecta la manera en que el cuerpo percibe la temperatura. Una ligera corriente de aire puede hacer que el entorno se sienta más fresco.

d. Temperatura radiante

Es la temperatura de las superficies que rodean a una persona, como paredes, techos y pisos. Si estas superficies están muy frías o muy calientes, pueden afectar el confort térmico, incluso si la temperatura del aire es adecuada.

Ropa: La cantidad y el tipo de vestimenta que usa una persona influyen en cómo se percibe la temperatura ambiente.

Actividad física: La cantidad de calor que genera el cuerpo durante la actividad física también influye en la sensación de confort térmico.

Factores personales: La edad, el género, el estado de salud y las preferencias individuales también juegan un papel importante en la percepción del confort térmico.

e. Importancia del confort térmico

El confort térmico es crucial para el bienestar y para aumentar la productividad de las personas. En lugares como oficinas, escuelas y viviendas, un control adecuado del confort térmico puede elevar la calidad de vida, contribuir a la salud y mejorar el desempeño en las actividades cotidianas. La planificación y el diseño de sistemas de climatización, ventilación y aislamiento térmico son fundamentales para crear espacios que ofrezcan un confort térmico adecuado.

2.3.5. Tipos de colectores solares

Los colectores solares que son más reconocidos en la industria comercial que van con la mano con los proyectos, que mencionaremos a continuación los más relevantes.

a. Colector de placa plana

Los colectores de placa plana están diseñados con lamina absorbente y el aislamiento, que tiene una envoltura con una placa de vidrio también se aprovecha la radiación solar directa y difusa como se muestra en la siguiente Figura 8, para luego ser utilizado frecuentemente para climatización de piscinas, calefacción y obtener agua caliente sanitaria (Vargas, 2017).

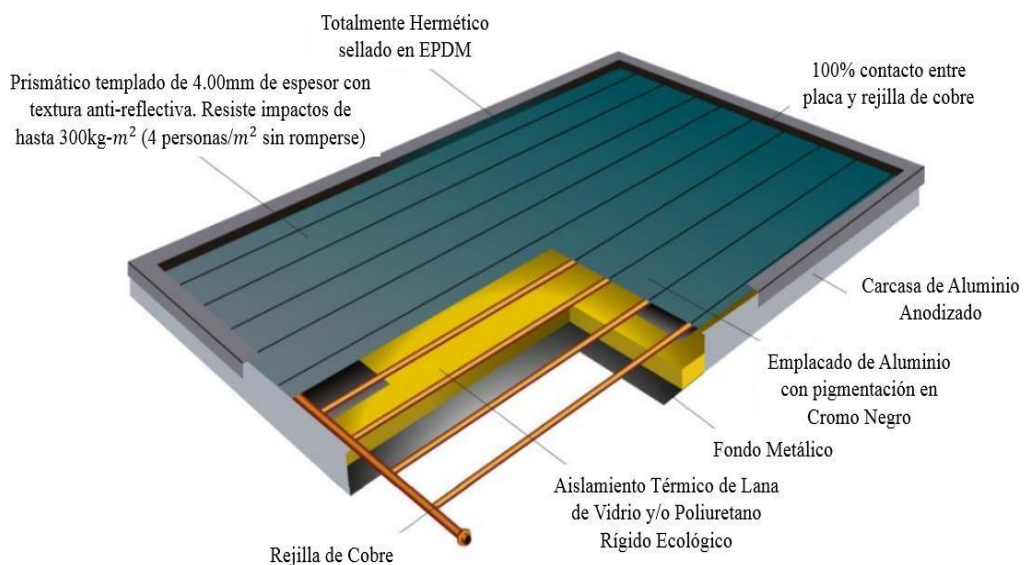


Figura 8. Colector solar de placa plana adaptado de (Saavedra, 2019).

b. Colector heat pipe de alta presión

La tecnología heat pipe de alta presión, tiene un tubo de vidrio cilíndrico que actúa como envoltura exterior y en interior se encuentra lamina de aluminio que recubre todo la barra de cobre para poder concentrar la temperatura que actúan como absorbedor, en su interior la barra de cobre tiene un líquido llamado glicol que está a una presión adecuada para evaporarse y condensarse, es cuando el absorbedor empieza a calentar el líquido para poder evaporar a la parte superior de barra de cobre, es donde se encuentra la transferencia de calor conectado al distribuidor de red, cediendo su calor latente y se condensa el fluido llegando a su estado original (Silva & Vásquez, 2023). De esta forma reiniciándose el proceso como se puede visualizar en la Figura 9.

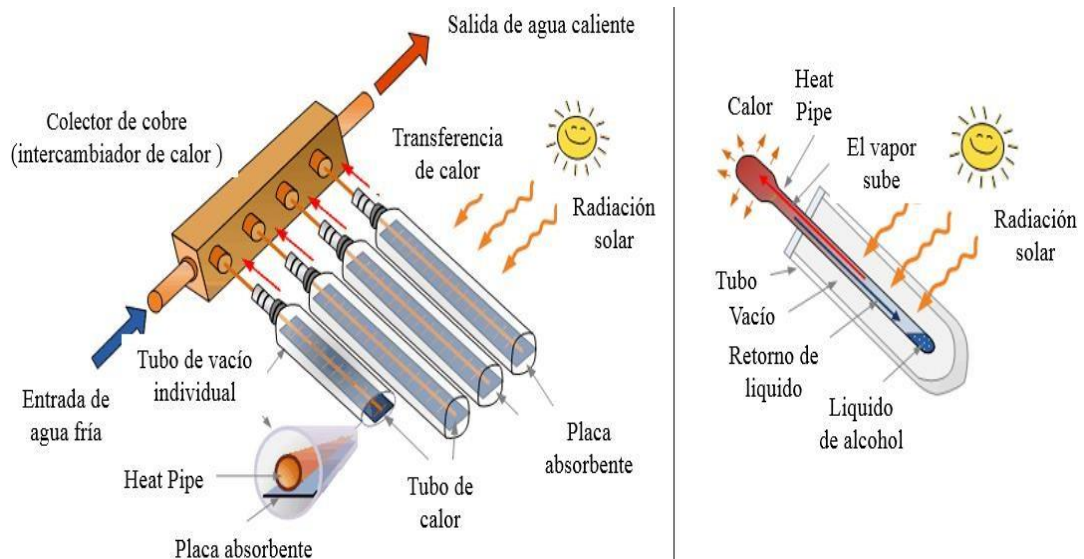


Figura 9. Colectores de tubo de vacío Heat Pipe adaptado de (Energía Alternativa, 2024).

2.3.6. Proceso de funcionamiento de tubos de vacío

Los tubos de vacío fueron utilizados hace muchísimos años en los países: Alemania, Canadá, China y Reino Unido. Los tubos de vacío están conformados por dos paredes de vidrio y existe un vacío entre ellos para que se evite pérdidas termodinámicas por conducción y convección, la primera capa es de borosilicato de cobre, la segunda capa es de vidrio de alta consistencia. Para poder tener el efecto termosifón necesitamos del astro sol para poder calentar agua, cuando el líquido caliente sube por convección al tanque del calentador siendo remplazado por el líquido frío que a su vez se calienta y se repite el proceso (Pineda, 2014), en la Figura 10, se muestra el funcionamiento del sistema.

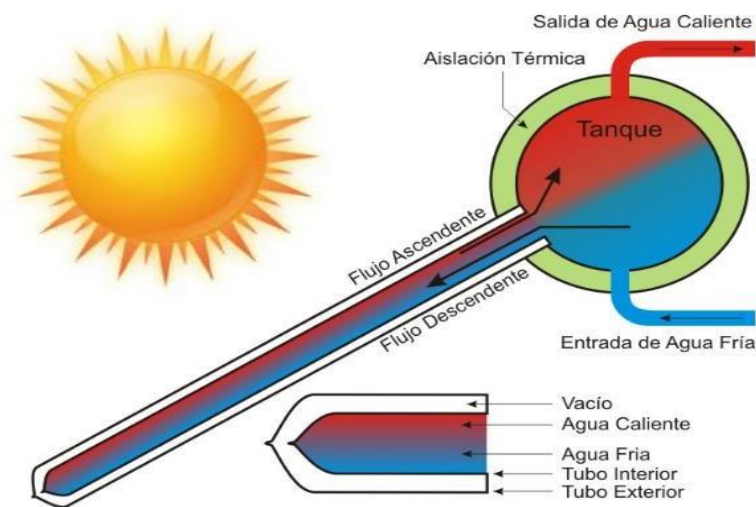


Figura 10. Ciclo de funcionamiento de agua caliente sanitaria (Pineda, 2014).

2.3.7. Radiación solar

La radiación solar es la energía que emite el sol a través de la radiación electromagnética de diferentes frecuencias en forma de longitud de onda, que atraviesa al exterior de la atmósfera terrestre y llega a una superficie perpendicular a los rayos solares se conoce como constante solar, la cual es un valor conocido de 1353 W/m^2 . La magnitud que mide la radiación solar que llega a la tierra es la irradiancia, que mide la energía por unidad de tiempo y área, su unidad de medida es en vatios por metro cuadrado W/m^2 (Quiñonez, 2023).

a. Componentes de radiación solar

La radiación solar está constituida por tres componentes:

- **Radiación directa:** Es la radiación que nos llega directamente del sol, sin haber sufrido cambio alguno en su dirección al encontrarse en su camino.
- **Radiación difusa:** Se denomina difusa a la radiación solar que atraviesa la atmósfera y luego es reflejada o absorbida por las nubes. No solo se ve afectado por la dispersión de las nubes, sino también por el polvo atmosférico.
- **Radiación reflejada o albedo:** La cantidad de radiación reflejada que alcanza un punto en la superficie terrestre depende del coeficiente de reflexión del suelo, conocido como albedo. Las superficies verticales suelen recibir más radiación reflejada.

En resumen, la energía solar directa y difusa varían según a las estaciones del año en la Figura 11. Se presentan los tres componentes principales de la radiación solar sobre una superficie receptora en este caso, la investigación se enfocará en el colectivo.

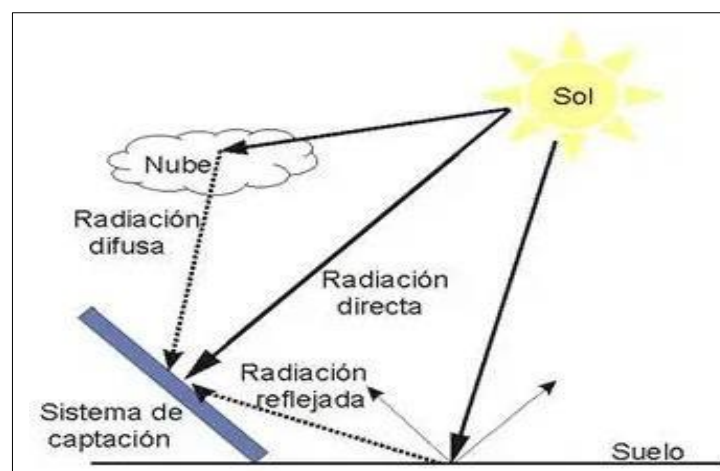


Figura 11. Componentes de la radiación solar terrestre (Caceres, 2014).

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Formulación de hipótesis

3.1.1. Hipótesis general

La implementación de un sistema de calefacción solar por piso radiante mejorará las condiciones de confort térmico del gabinete del Laboratorio de Control y Electrónica Básica de la EPIER.

3.1.2. Hipótesis específicas

El dimensionamiento de la tubería tipo PEX será adecuado para utilizarlo en el sistema de calefacción de piso radiante en el Laboratorio de Control y Electrónica Básica.

La implementación del algoritmo de control y adquisición de datos mediante un PLC tendrá un funcionamiento óptimo en el sistema de calefacción solar del Laboratorio de Control y Electrónica Básica.

Las ventajas del aislamiento del gabinete contribuyen en mantener la temperatura del sistema de calefacción del Laboratorio de Control y Electrónica Básica de la EPIER.

3.2. Materiales y equipos

Los materiales y equipos utilizados en el presente proyecto de investigación son los siguientes:

3.2.1. Componentes de piso radiante

a. Bomba periférica de agua

Para el presente proyecto se utilizó la bomba periférica trifásica de ½ HP como se muestra en la Figura 12, para forzar la circulación de agua caliente por los serpentines que está instalado en el exterior del gabinete, las especificaciones técnicas del motor se pueden visualizar con más detalle en Anexo 1 (Figura 52).



Figura 12. Bomba de agua caliente (*Pedrollo, 2020*).

b. Aislante térmico

Este material tiene un alto valor de aislamiento térmico. En la Figura 13, se observa poliestireno expandido con medidas de 2.40*1.20 metros que se empleara en este proyecto, el serpentín de fluido caloportador estará instalado sobre el aislante con la finalidad que no haya pérdidas en la parte interior de gabinete (Palomo, 2017).

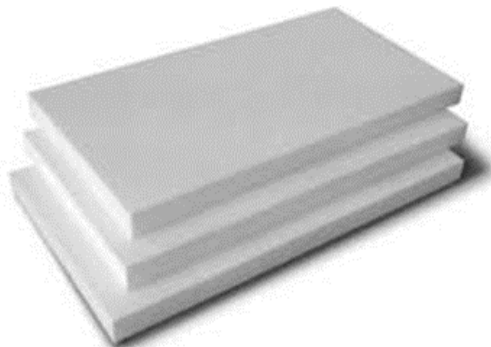


Figura 13. Plancha de poliestireno expandido (*Sundolitt, 2016*).

c. Tubería Pex al Pex

La tubería Pex de ½” está compuesto de polietileno reticulado como se observa en la Figura 14. Es utilizada para formar serpentín de forma espiral teniendo una flexibilidad en su instalación dentro del gabinete de laboratorista, esta tubería tiene la función de transportar fluido caloportador, también emiten calor en forma de convección y radiación hacia el interior del gabinete. Las especificaciones técnicas se visualizarán en Tabla 1, que se empleó en el presente proyecto.



Figura 14. Tubería caloportador de Pex al Pex (Gallardo, 2019).

Tabla 1.

Especificaciones técnicas de tubería Pex.

Característica	Valor	Unidades
Dilatación lineal	1.4×10^{-4}	K^{-1}
Conductividad térmica	0.38	W/mK
Temperatura máxima de trabajo	95	°C
Temperatura máxima puntual	110	°C
Presión máxima de trabajo a 95 °C	6 (para la serie 5)	bar
	10 (para la serie 3,5)	bar
	10(para la serie 3,2)	bar
Rugosidad	0.007	mm
Densidad	0.945	g/cm^2

Nota: Datos obtenidos de Gallardo (2019).

3.2.2. Sistema de control

El sistema de control desempeña un papel crucial en este proyecto, ya que se encargará de gestionar la temperatura, el flujo de agua y el tiempo de funcionamiento de la bomba. Su objetivo principal es recolectar datos precisos para un análisis a posterior. A seguir, se detallan los principales componentes de este sistema:

a. Controlador lógico programable

El Controlador Lógico Programable (PLC) es un dispositivo de control electrónico de Marca: SIEMENS, CPU: 1212C AC/DC/RLY, Fuente de alimentación: 220 V / 24 V, Gama: SIMATIC S7-1200 que se utiliza con mayor auge de acogimiento en los sectores de automatización industrial, química, minería, producción de alimentos y otros. Donde un PLC obedece entradas digitales, salidas digitales y entradas analógicas

para poder dar respuesta en tiempo determinado (Siemens, 2020). Para el proyecto se utilizó un PLC SIMATIC s7 – 1200 el cual su especificación técnica se encuentra en Anexo 1 (Figura 53). En la Figura 15, se observa PLC que es encargado de realizar el control del tiempo de funcionamiento del bombeo de fluido caloportador, también tenemos instalado el software Tía Portal encargado de la programación de control y de recolectar datos de temperatura en el interior y exterior del gabinete laboratorista.



Figura 15. Controlador lógico programable de marca SIEMENS Simatic S7-1200.

b. Variador de velocidad

El variador de velocidad de modelo Marca: SIEMENS, Alimentación: 220 V, Salida: 380 V trifásica, Gama: SINAMICS V20 es un dispositivo electrónico que puede regular la velocidad de un motor trifásico. Este dispositivo varia la frecuencia y con eso varia la velocidad de cualquier máquina rotativa que lo utilice (Yuquilema & Rodríguez, 2019). Para el presente proyecto se utilizó un variador de velocidad SINAMICS V20, las especificaciones técnicas se observan en la Tabla 2, el variador trabajó a una frecuencia constante de 25 Hz (1500 rpm), este dato fue obtenido a prueba y error, buscando siempre la mejor condición de transferencia de calor del ambiente del laboratorista. En la Figura 16, se observa el equipo que se utilizó para el presente proyecto.



Figura 16. Variador de velocidad SINAMICS V20.

Tabla 2.

Especificaciones generales del equipo variador de frecuencia SINAMICS V20.

Especificaciones técnicas de variador de frecuencia SINAMICS V20	
Marca	SIEMENS
Modelo	SINAMICS V20
Entrada	
Voltaje	200-400 V CA +/- 10%
Intensidad	10A
Frecuencia	50/60 Hz
Output	
Voltaje	0 – input V
Intensidad	4.2 A
Frecuencia	0 – 550 Hz
Motor	0.5 HP / 0.373 KW

Nota: Datos obtenidos de Siemens (2020).

c. Sensor de temperatura

El sensor que mide la temperatura PT 100, un RTD de tres hilos, es el dispositivo clave para medir la temperatura del interior como del exterior del gabinete del laboratorio, como se muestra en la Figura 17. Este sensor funciona como una resistencia variable que cambia su valor en función de la temperatura ambiente. Las especificaciones técnicas detalladas del PT 100, utilizadas en este proyecto, se pueden consultar en la Tabla 3.



Figura 17. PT 100 industrial de tres terminales (Estudiez, 2022).

Tabla 3.

Especificaciones técnicas de sensor de temperatura extraída de la hoja de fabricante.

Características técnicas de PT100	
Comportamiento lineal	Si
Tipo de resistencia	Resistencia de platino PT100
Resistencia a 0°C	100 Ohm [Ω]
Exactitud	0.5 °C
Rango de temperatura	-200°C a +850°C
Conexión	3 cables (RTD. Compensación)

Nota: Datos obtenidos de Gallardo (2019).

d. Transmisor de temperatura analógico

El transmisor analógico se encarga de convertir la señal que reciben directamente de sensor de temperatura PT 100, como se observa en la Figura 18, el transmisor tiene una salida analógica estandarizada de 4 a 20 mA la cual se conecta directamente al controlador (PLC), para su posterior medición de temperatura de manera óptima (Disai, 2023), en el Anexo 1 (Figura 54) se detalla la ficha técnica.



Figura 18. Transmisor de temperatura (Kobold, 2019).

3.2.3. Materiales para adecuación del gabinete

En la Tabla 4, se describirá los diversos materiales que se utilizó para la adecuación del gabinete, para el acabado se consideró materiales que tengan un alto concentrado de aislante térmico así mantener a un nivel confortable, también se consideró que se mantenga la estética del gabinete para el ocupante del laboratorista.

Tabla 4.

Materiales de adecuación al gabinete.

Nombre	Figura	Descripción
Cinta de 2x2"		Longitud: 3 m Ancho: 2" Altura: 2" Se utilizó para la separación de guía de tubería Pex.
Clavo de 1"		Cantidad: ½ kg Numero: 1" Se utilizó para el traslape de cintas uno con el otro.
Marcos de ventana para el gabinete.		Marco: Aluminio. Medida: 1m*1m Sirve para fijar a la medida de la ventana.
Vidrio templado para el gabinete.		Vidrio: Templado gris oscuro. Espesor: 6 mm Medida: 1m*1m Se empotra en el marco de la ventana.
Plancha de OSB.		Triplay OSB Medida: 2.44m*1.22m Espesor: 8 mm Se utilizó para el piso falso dentro del gabinete.
Silicona para vidrios.		Silicona: Sirve para pegar los vidrios e para tapar fugas de aire en los contornos del gabinete.

3.2.4. Sistema de circuitos electrónicos

a. Arduino Uno R3

Al ser de hardware y software libre podemos utilizar la placa Arduino para crear todo tipo programación, una vez conectado a una PC mediante un cable USB se le pueden grabar instrucciones y subir al microcontrolador quien se encarga de interactuar y ejecutar. Para el presente proyecto se utilizó un Arduino Uno R3 para recolectar datos de humedad relativa que se encuentra instalado dentro del gabinete, como se visualiza en la Figura 19. El Arduino utilizado.

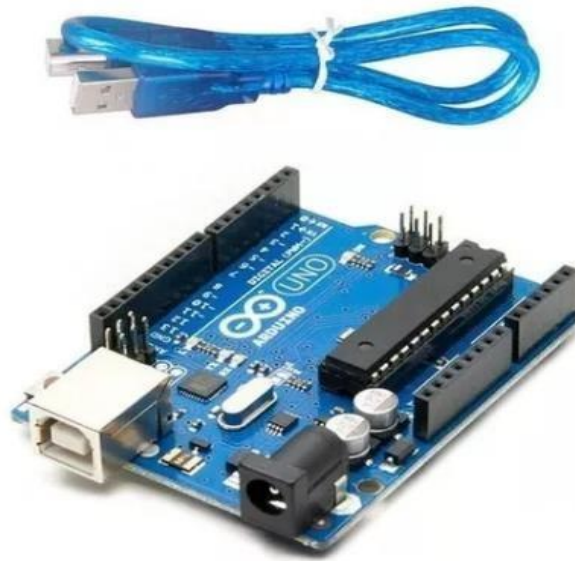


Figura 19. Arduino uno R3 más cable USB.

b. Tarjeta SD para Arduino

Se utilizó una tarjeta para Arduino que tiene para insertar micro SD que cumple la función de almacenar datos requeridos de humedad relativa. Como se muestra en la Figura 20 lector de tarjeta SD.



Figura 20. Tarjeta para lector micro SD.

c. Módulo (RTC) DS 3231

Se utilizó un módulo reloj en tiempo real (RTC) que nos proporciona la hora y fecha con exactitud medido por los testistas, que se almacena directamente en la tarjeta micro SD. Como se aprecia en la Figura 21.



Figura 21. Módulo RTC DS3231.

d. Sensor de humedad relativa DHT22

El DHT22 es un sensor digital que se encarga de medir humedad relativa en función a la temperatura que tiene un buen rendimiento y un bajo costo que se encuentra instalado dentro del gabinete de laboratorista.



Figura 22. Sensor de humedad DHT22.

Tabla 5.

Especificación técnica DHT 22.

Sensor	DHT22
Rango de medición de humedad	0-100% HR
Rango de medición de temperatura	-40 hasta 100 °C
Precisión de temperatura	± 0.5°C
Precisión de humedad	± 2% HR
Tiempo de respuesta	2s

Nota: Datos de elaboración propia.

3.3. Software del sistema de control con PLC

Para el presente proyecto de investigación el software utilizado para programar y adquisición de datos, son los siguientes.

- TIA Portal V17.
- Excel.
- Arduino IDE.

3.4. Metodología

El presente proyecto se enmarca en una investigación aplicada, ya que tiene como objetivo aplicar conocimientos técnicos para la implementación de un sistema de piso radiante en el gabinete del Laboratorio de Control y Electrónica Básica de la Escuela Profesional de Ingeniería en Energías Renovables (EPIER) de la sede Ayabacas. El nivel de la investigación es experimental, con un enfoque de causa-efecto, aplicando un diseño experimental de investigación aplicada. La secuencia metodológica seguida en el proyecto se describe a continuación:

- a. Evaluación de la adecuación del cubículo:** Se inició el proyecto evaluando las condiciones del cubículo del laboratorio para determinar su condición para la implementación del sistema de calefacción solar por piso radiante.
- b. Dimensionamiento de las cargas térmicas:** Posteriormente, se procedió al cálculo y dimensionamiento de las cargas térmicas necesarias para mantener el confort térmico en el gabinete del Laboratorio de Control y Electrónica Básica.
- c. Instalación del sistema de piso radiante y colector solar:** Se realizó la instalación física del piso radiante, utilizando tubería de polietileno reticulado (Pex), y del colector solar de 20 tubos de vacío, siguiendo los parámetros de diseño previamente establecidos.
- d. Implementación de los sistemas de control:** Se implementó el sistema de control utilizando el PLC en el tablero de control junto con los accesorios necesarios para la operación del sistema de calefacción.
- e. Desarrollo del sistema de monitoreo de humedad relativa:** Se implementó un sistema de monitoreo a través de un Arduino con sensores que permite registrar la humedad relativa en el gabinete, asegurando que se mantenga dentro de los límites deseados.

- f. Instalación de software y herramientas de control:** Se instalaron los programas TIA Portal V17 para el control y automatización del sistema, asegurando su correcto funcionamiento.
- g. Análisis de la dinámica de fluidos:** Finalmente, se aplicaron ecuaciones de mecánica de fluidos, permitiendo calcular la velocidad del fluido, el caudal, el flujo másico y optimizando así el rendimiento del sistema.
- h. Ciclo de trabajo de electrobomba:** El ciclo de trabajo de nuestra electrobomba trabajara con funcionamiento de 10 minutos y una parada de 8 minutos.
- i. Fecha de medición del proyecto:** La primera fase de prueba se realizó el 05 de abril a 05 de mayo con horas de funcionamiento 11am a 15pm; La segunda fase de prueba se realizó la ganancia calorífica con horas de funcionamiento 11am a 15pm, 10am a 15pm, 9am a 16pm; La tercera fase de prueba se realizó el 10 de mayo a 10 de junio con horas de funcionamiento 9am a 16pm; La cuarta fase de prueba se realizó el 13 y 14 junio con sistema de calefacción con carga de cuatro personas con horas de funcionamiento 9am a 16pm; La quinta fase de prueba se realizó el 15 y 16 junio tubería pex expuesto al aire libre dentro del gabinete con horas de funcionamiento 9am a 16pm; La sexta fase de prueba fue el comportamiento de temperatura interior sin sistema de calefacción realizado el día 11 y 12 junio durante las 24 horas.

3.4.1. Localización del proyecto

El sistema de calefacción solar se instalará en el gabinete del Laboratorio de Control y Electrónica Básica de la Escuela Profesional de Ingeniería en Energías Renovables de la Universidad Nacional de Juliaca (UNAJ), sede Ayabacas. La ubicación exacta del laboratorio, como se ilustra en la Figura 23 obtenida de Google Maps, está en las coordenadas geográficas con una latitud de -15.4096 , longitud de -70.090 altitud de 3844.6 msnm la temperatura media anual es de 15 °C, con un máximo de 18.8 °C en noviembre y un mínimo de -7.8 °C en julio (Senamhi, 2020) con un clima frío, con lluvias moderadas y variaciones de temperatura moderadas.

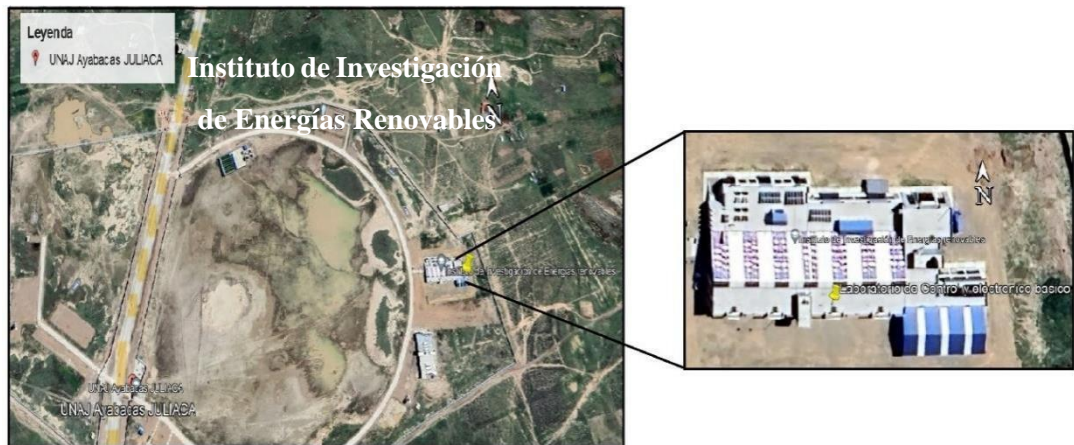


Figura 23. Localización e implementación de un sistema de calefacción solar (Google, 2024).

3.5. Adecuación del cubículo para el sistema de calefacción solar

El gabinete del Laboratorio de Control y Electrónica Básica tiene un área aproximada de 14 m^2 (Figura 24), en esta superficie será implementado el sistema de calefacción por piso radiante. Se instalará un sobre piso debajo del cual será instalado la tubería PEX. El techo del gabinete será cubierto con material adecuado para evitar pérdidas térmicas y serán realizadas todas las adecuaciones necesarias para mejorar las condiciones de confort térmico para el laboratorista que ocupará este gabinete.

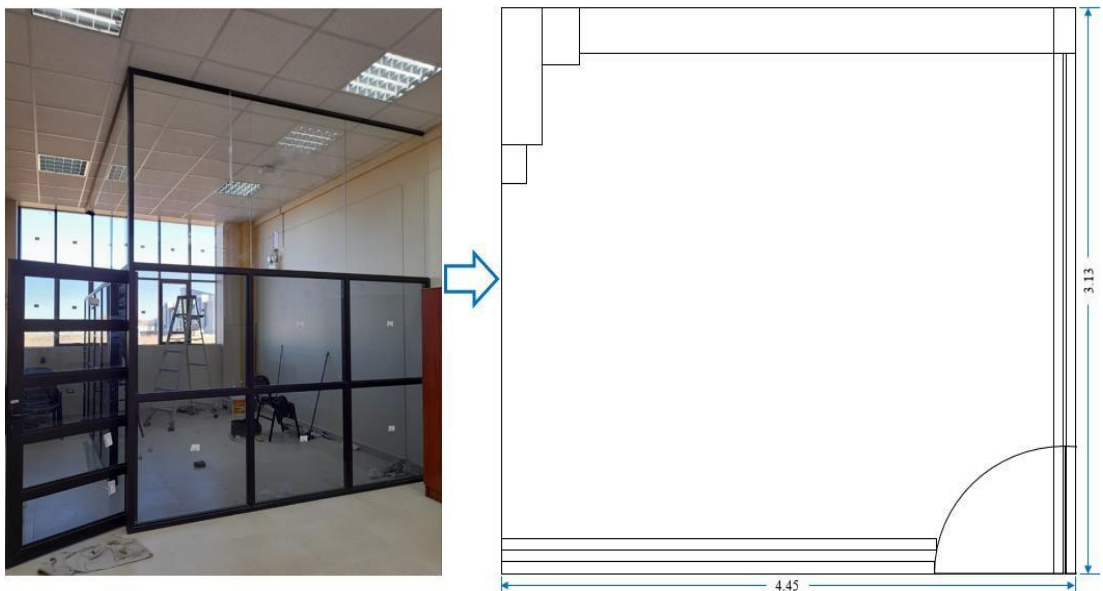


Figura 24. Plano del gabinete del laboratorio con su dimensión (Elaboración propia).

3.6. Dimensionamiento del sistema

Para el dimensionamiento del sistema de calefacción se empezará a determinar la carga térmica total del gabinete de control y electrónica básica.

3.6.1. Cargas térmicas de calefacción

Se realiza el cálculo de la carga térmica teniendo en cuenta las características del gabinete de control y se toma en cuenta lo siguiente:

- Longitud de los muros exterior e interior del gabinete.
- Altura de la pared y del material que implemento.
- Mediciones del piso y el techo.

3.6.2. Carga térmica de diseño

La carga térmica del diseño (Q_D) de calefacción de un espacio dado será uniforme la temperatura se obtiene la suma de tres cargas:

- Cargas de transmisión por un cerramiento (Q_T)
- Cargas de ventilación e infiltración de aire (Q_V)
- Cargas internas o calentamiento de la vivienda (Q_I)

Por lo siguiente la ecuación se determina la carga total de calefacción en W será:

$$Q_D = Q_T + Q_V + Q_I \quad (1)$$

a. Cargas por transmisión

La carga de calor que se disipa por la unidad de tiempo por las paredes del gabinete por tal se calcula de la siguiente manera:

$$Q_T = f_k * A * U * (T_{int} - T_e) \quad (2)$$

Donde:

f_k : Factor de corrección de la temperatura de la UNE-EN 12831 Anexo 2 (Figura 55).

A: Área del cerramiento atravesado por flujo de calor en m^2 .

U: Transferencia térmica, el documento DA DB-HE/1 en $W/(m^2 * K)$ Anexo 2 (Figura 56).

T_{int} : Temperatura interna

T_e : Temperatura externa

Sustituir en la formula (2), se calcula las cargas de transmisión con una temperatura tomada en el mes 5 abril a 5 mayo a partir de las 11:00 am hasta las 15:00 pm.

$$Q_T = 0.42 * 62.58 * 1.04 * (19.19 - 15.14)$$

$$Q_T = 110.706 \text{ W}$$

Sustituir en la formula (2), para hallar cargas de transmisión con una temperatura tomada en el mes 10 mayo a 10 junio a partir de las 9:00 am hasta las 16:00 pm.

$$Q_T = 0.42 * 62.58 * 1.04 * (16.48 - 12.18)$$

$$Q_T = 117.540 \text{ W}$$

Cabe precisar que el trabajo del sistema de calefacción del piso radiante no se tomara en cuenta el encerramiento donde se encuentra instalado los circuitos de tubería.

b. Carga térmica por infiltración

Dado que el gabinete del Laboratorio de Control y Electrónica Básica de EPIER no cuenta con ventilación mecánica regulada, la pérdida de calor se determina en función del flujo nominal. Para estimar el flujo de infiltración, se multiplica la densidad del aire en Juliaca, que es de 1.23 kg/m³, por el número de cambios de aire por hora. Los parámetros:

$$Q_V = 1.23 \text{ kg/m}^3 * V_{\min} * (T_{\text{int}} - T_e) \quad (3)$$

Donde:

V_{min}: Caudal mínimo de ventilación o infiltración de aire expresado en m³/h. Según UNE-EN 12831.

T_{int}: Temperatura interna °C.

T_e: Temperatura externa °C.

Para aulas y sala de reuniones en las que no existe ventilación, podemos estimar la infiltración multiplicando el volumen interior del gabinete por el número de renovaciones que se visualiza en la Anexo 2 (Figura 57).

$$V_{\min} = n_{\min} * V \quad (4)$$

Teniendo la ecuación (4) se calcula el caudal mínimo de ventilación para luego remplazarlo en la ecuación (3).

$$V_{\min} = 0,2 * 61.285 \text{ m}^3$$

$$V_{\min} = 12.257 \text{ m}^3/\text{h}$$

Teniendo como dato hallado sustituir en ecuación (3) para hallar las cargas de transmisión con una temperatura tomada en el mes 5 abril a 5 mayo a partir de las 11:00 am hasta las 15:00 pm.

$$Q_V = 1.23 * 12.257 \text{ m}^3/h * (19.19 - 15.14)$$

$$Q_V = 61.058 \text{ W}$$

Teniendo como dato hallado sustituir en ecuación (3) para hallar las cargas de transmisión con una temperatura tomada en el mes 10 mayo a 10 junio a partir de las 09:00 am hasta las 16:00 pm.

$$Q_V = 1.23 * 12.257 \text{ m}^3/h * (16.48 - 12.18)$$

$$Q_V = 64.827 \text{ W}$$

c. Cargas internas

La carga interna o capacidad de calentamiento representa la potencia necesaria para compensar las pérdidas de calor durante las paradas del sistema, como los apagados nocturnos. Los parámetros que se consideran en el cálculo son:

$$Q_I = A * f_{RH} \tag{5}$$

Donde:

A: Área del piso en m^2

f_{RH} : Factor de recalentamiento, la norma UNE-EN 12831. En W/m^2 Anexo 2 (Figura 58).

Teniendo la ecuación (5) remplazaremos para poder hallar las cargas internas dentro del gabinete.

$$Q_I = 13.928 \text{ m}^2 * 9$$

$$Q_I = 125.352 \text{ W}$$

Para hallar el cálculo de las cargas térmicas de diseño de calefacción de un espacio se remplace en la ecuación (1) cabe especificar es para el mes de 5 abril a 5 mayo.

$$Q_D = Q_T + Q_V + Q_I$$

$$Q_D = 110.706 \text{ W} + 61.058 \text{ W} + 25.352 \text{ W}$$

$$Q_D = 197.116 \text{ W}$$

Para hallar el cálculo de las cargas térmicas de diseño de calefacción de un espacio se reemplaza en la ecuación (1) cabe especificar es para el mes de 10 mayo a 10 junio.

$$Q_D = Q_T + Q_V + Q_i$$

$$Q_D = 117.540 \text{ W} + 64.827 \text{ W} + 25.352 \text{ W}$$

$$Q_D = 207.719 \text{ W}$$

3.7. Dimensionamiento de carga térmica del gabinete de Laboratorio de Control y Electrónica Básica de EPIER

Para calcular la carga térmica del gabinete, es fundamental conocer el coeficiente térmico de cada material de cerramiento. Estos valores se detallan en la tabla 6.

Tabla 6.

Coefficiente de conductividad térmica de los materiales.

Material de construcción	Coeficiente de conductividad térmica (W/m ² K)
Madera	0.274
Vidrio	0.84
Aire	0.026
Ladrillo hueco (tipo "King Kong")	0.470
Concreto armado	1.630
Ladrillo rectangular	0.38
Mortero de cemento arena	0.63
Cielorraso	0.05

Nota: Datos obtenidos de (Peña, Peña, & Gómez, 2013; Wieser, Onnis, & Meli, 2019; Ruiz, 2019).

Tabla 7.

Cálculo de carga térmica por transmisión.

Paredes	Áreas(S)	Coeficiente térmica W/m ² K	Diferencia de temperatura (T _i -T _e)	Carga S*K*T
Pared ventana N	3.44*3.1=10.664 m ²	0.84	20.14-13.78=6.36	56.971
Pared ventana E	4.54*3.44-1.96=13.658 m ²	0.84	20.14-13.78=6.36	72.966
Puerta E	1.96*1=1.96 m ²	0.84	20.14-13.78=6.36	10.471
Pared ventana S	2.39*2.28=5.449 m ²	0.84	20.14-13.78=6.36	29.110
Muro S	2.39*1.14=2.725 m ²	0.470	20.14-13.78=6.36	8.146
Machón S	3.42*0.56=1.915 m ²	1.630	20.14-13.78=6.36	19.852
Ventana S	1.14*0.58=0.661 m ²	0.84	20.14-13.78=6.36	3.531
Muro O	4.04*3.42=13.816 m ²	0.470	20.14-13.78=6.36	41.299
Techo	4.70*3.42=16.074 m ²	0.38	20.14-13.78=6.36	38.848
Carga térmica total				281.194 W

Nota: Datos obtenidos de elaboración propia.

La tabla 7 presenta la determinación de las cargas térmicas necesarias para la calefacción del gabinete, teniendo en cuenta todos los elementos del cerramiento, como puertas, ventanas y techo, en el Laboratorio de Control y Electrónica Básica de EPIER.

Para determinar la carga térmica por infiltración es necesario saber que solo trabajaremos en las superficies de la puerta y ventanas. Se requiere conocer las siguientes ecuaciones.

$$S = S_p + S_v \quad (6)$$

Donde:

S_p: Superficie de la puerta

S_v: Superficie de la ventana

Remplazando en la ecuación (6) tenemos

$$S = 1.96 \text{ m}^2 + 0.661 \text{ m}^2$$

$$S = 2.621 \text{ m}^2$$

Volumen de aire infiltrado

$$\dot{v} = S * 27(\text{m}^3/\text{h} * \text{m}^2) \quad (7)$$

Ahora calculamos el volumen de aire infiltrado en la ecuación (7).

$$\dot{v} = 2.621 \text{ m}^2 * 27(\text{m}^3/\text{h} * \text{m}^2)$$

$$\dot{v} = 70.767 \text{ m}^3/\text{h}$$

3.7.1. Instalación de piso radiante

El sistema de suelo radiante se instalará directamente sobre el piso existente, elevando la superficie en aproximadamente 5 cm debido a la adición de varios componentes: tuberías PEX, aislamiento y un revestimiento de piso laminado, como se muestra en el Anexo 3. La Figura 25 ilustra detalladamente el proceso de instalación. Primero, se colocó un tanque de almacenamiento en el cuarto piso para proporcionar agua fría al calentador solar. Luego, en el tercer piso, se instaló un colector solar de tubos al vacío de 200 litros, encargado de aumentar la temperatura del fluido. El fluido portador de calor desciende por gravedad hacia un serpentín en espiral, que transfiere el calor al interior del gabinete. Posteriormente, se incorporó una bomba centrífuga de ½ HP para asegurar la circulación forzada del agua caliente. También se agregó una válvula de retención para garantizar el flujo en una sola dirección, evitando el regreso del fluido.

Cabe destacar que el sistema de calefacción solar funciona en un circuito cerrado con circulación forzada y operación de manera automática.

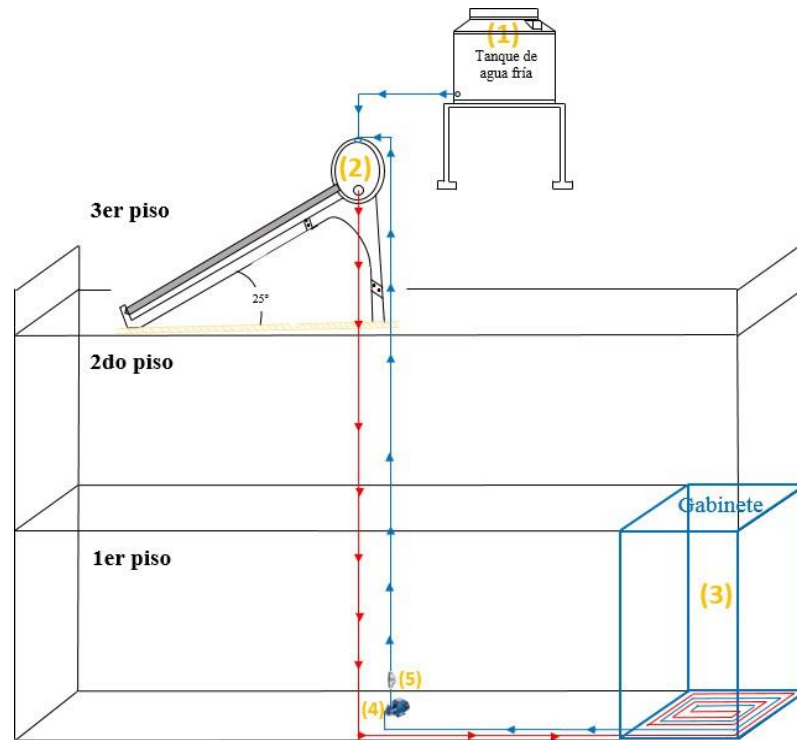


Figura 25. Esquema de representación del sistema de piso radiante calefacción del cubículo. (1) tanque de agua fría, (2) colector solar de tubos de vacío, (3) cubículo, (4) bomba centrífuga de 1/2HP, (5) válvula check.

Los procedimientos de la instalación se detallarán en el siguiente Anexo 3, donde se observará los diferentes materiales utilizados que conlleva esta instalación de calefacción solar dentro del gabinete de laboratorista.

3.7.2. Instalación de colector solar

El sistema emplea un colector solar de 20 tubos al vacío, instalado estratégicamente en el tercer piso de la Escuela Profesional de Ingeniería en Energías Renovables (EPIER). Este colector está montado con una inclinación de 25°, orientada hacia el norte, para optimizar la captación de energía solar durante todo el año, como se muestra en la Figura 26. Para garantizar el funcionamiento adecuado del sistema, se realizó una configuración de las conexiones de tuberías y accesorios relacionados. Además, se revisó la disposición de las conexiones para minimizar las pérdidas de calor y asegurar una circulación eficiente del fluido.



Figura 26. Instalación de colector solar de tubos de vacío y heat pipe.

En figura 27 se tiene un patrón detallado de la instalación, con sistemas de calefacción dentro del gabinete.

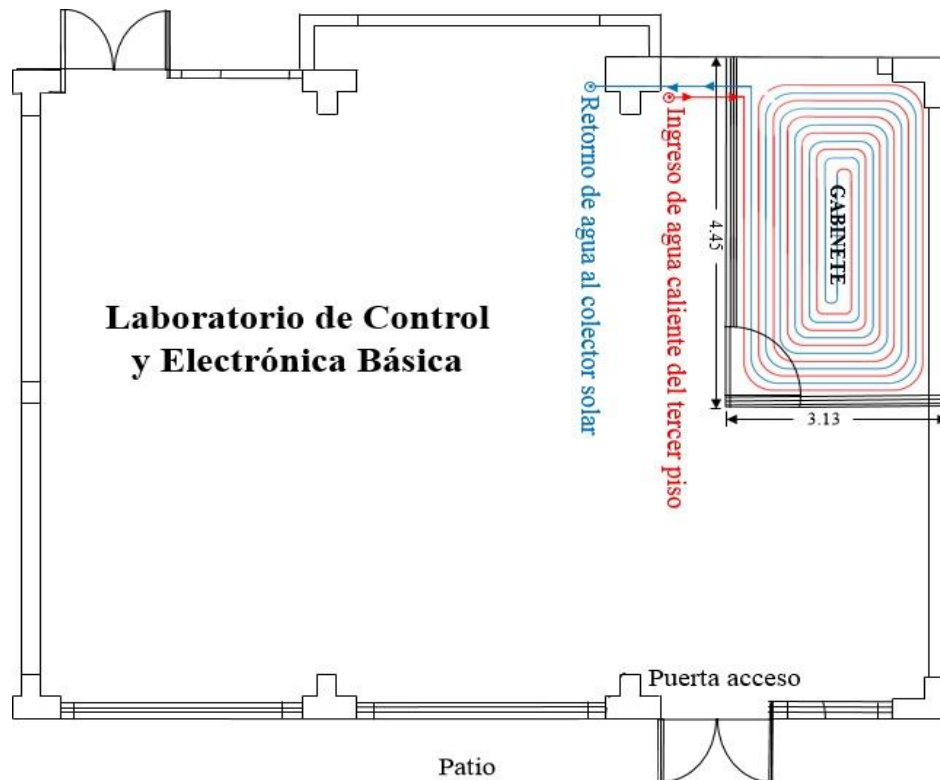


Figura 27. Vista de planta y de perfil del gabinete a calefaccionar (Elaboración propia).

3.8. Sistema de control

El sistema de control, instalado fuera del gabinete, fue responsable de gestionar y activar la electrobomba encargada de impulsar el fluido caloportador. La regulación del sistema se realizó mediante un PLC, que monitoreaba y registraba automáticamente las distintas temperaturas en tiempo real. Los datos recopilados fueron descargados y procesados periódicamente por los tesisistas, permitiendo un análisis detallado y la optimización del funcionamiento del sistema.

3.8.1. Diagrama de control unifilar

El diagrama unifilar, mostrado en la figura 28, proporciona una visión general detallada del sistema al ilustrar la interconexión de cada componente del tablero de control. Estas conexiones facilitan una comprensión integral de los equipos y su funcionamiento en conjunto. El controlador lógico programable (PLC) se destaca por su versatilidad y fiabilidad, siendo esencial para amplia variedad de funciones y registro de datos. Además, el variador de velocidad activaba automáticamente a la bomba centrífuga 3Ø de 0.5 HP, que operaba a una rapidez rotacional de 25 Hz (1500 rpm), asegurando el movimiento forzado del flujo caloportador en el interior del gabinete.

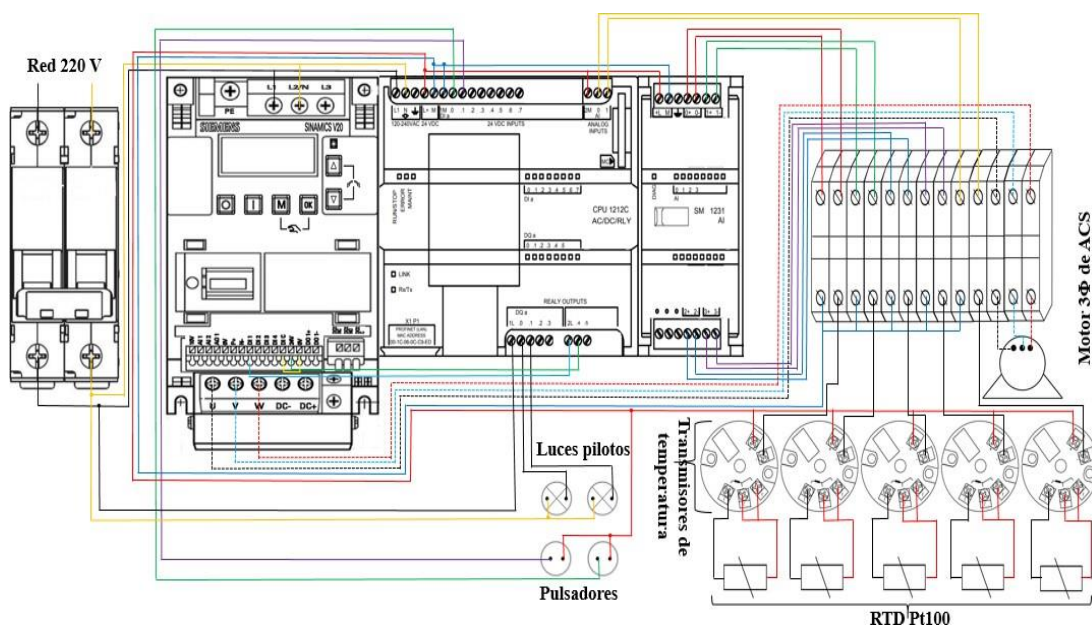


Figura 28. Diagrama unifilar esquemático del sistema de control.

3.8.2. Montaje del equipo en tablero de control

A seguir, se presenta una descripción detallada del tablero de control, que integra diversos dispositivos esenciales para la conexión, maniobra, comando, medición y protección del sistema, así como sus cubiertas y soportes correspondientes. Los componentes principales, ilustrados en la Figura 29, incluyen un interruptor termomagnético, un variador de velocidad, un controlador lógico programable (PLC), un módulo de expansión para entradas analógicas, pulsadores de tipo normalmente abierto (NA) y normalmente cerrado (NC), luces piloto, rieles metálicos, canaletas y borneras de protección, entre otros elementos. Para una descripción más detallada y específica, consulte el Anexo 4.

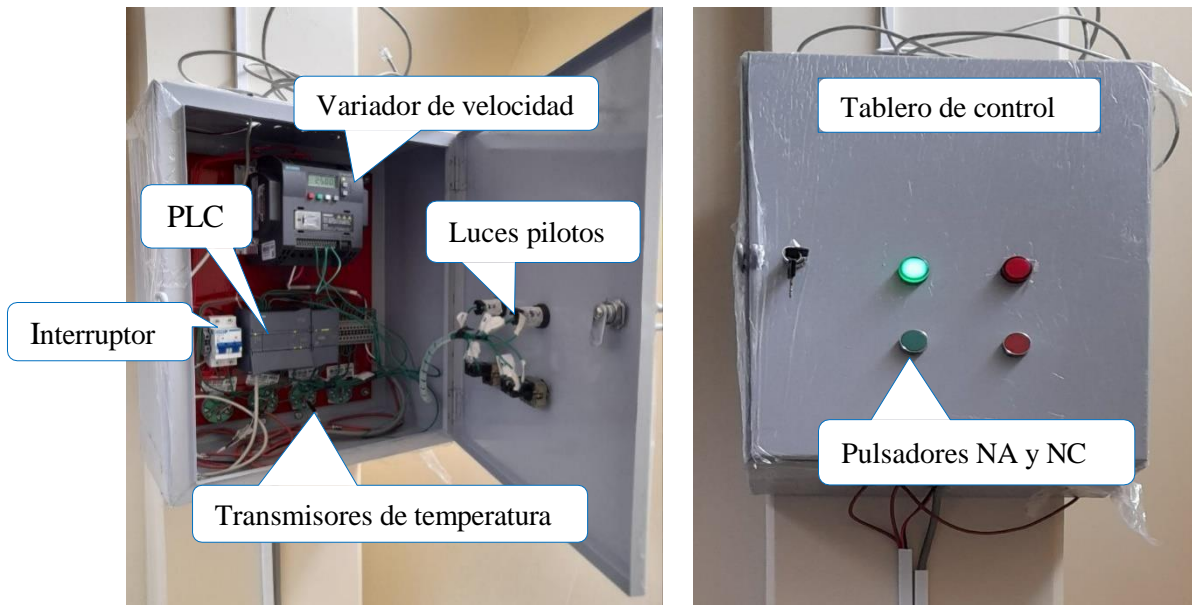


Figura 29. Cableado interno y vista externa del tablero de control para el sistema de calefacción solar.

3.9. Sistema de monitoreo de humedad relativa

Tenemos instalado HR% para recolectar datos, se empleó un sensor capacitivo junto con un termistor para medir las condiciones del aire dentro del gabinete. Para registrar los datos en tiempo real, se utilizó un módulo de reloj en tiempo real (RTC) DS3231, que capturó la fecha, la hora y el porcentaje de humedad relativa (HR%). Los datos registrados fueron almacenados en una tarjeta SD mediante un lector integrado, conectado a una placa Arduino. Todo el sistema fue alimentado por una fuente de 5 V de corriente continua (CC).

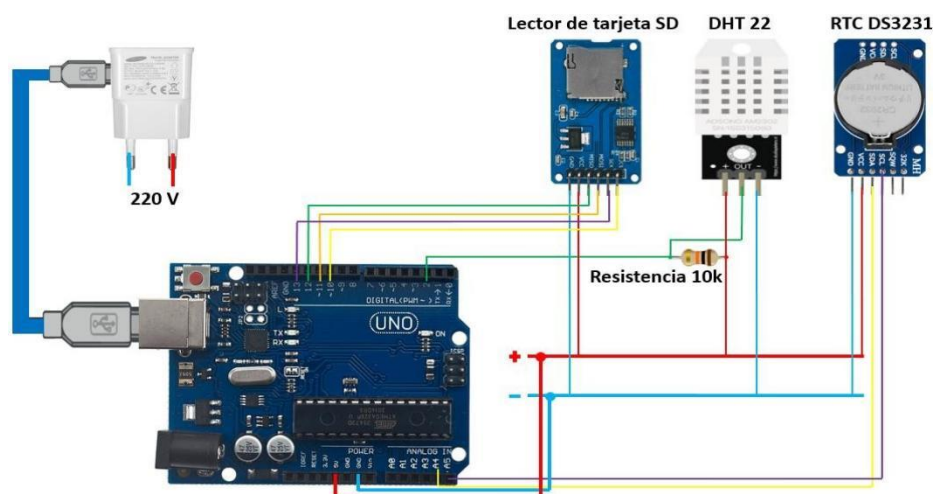


Figura 30. Diagrama de conexión para medir humedad relativa con Arduino (Adaptación propia).

3.10. Presupuesto para el proyecto de investigación

El costo del proyecto se toma en cuenta la adecuación del cubículo y la instalación de vidrio en el marco de aluminio posterior a ello retoqueado los espacios vacíos. Estos costos fueron asumidos en su totalidad por los dos tesistas.

Tabla 8.

Costo de adecuación para cubículo del laboratorista.

Adecuación del cubículo				
Materiales	Unidad de medida	Precio unitario	Cantidad	Precio total
Vidrio 1*1	m ²	137.50	8	1100.00
Aluminio rectangular de 8*4 cm para cuadros de ventana	Metros	100.00	3	300.00
Silicona Sikasil de 280 ml	Unidades	12.00	4	48.00
Total S/.				1448.00

3.10.1. Presupuesto para sistema de calefacción por suelo radiante utilizando tubería Pex al Pex

En el cuadro de la tabla 9, se especifica sus respectivos precios de cada componente utilizado en la instalación de un sistema de calefacción solar con tubería reticulado pex al pex, dentro del laboratorio de control y electrónica básica de EPIER.

Tabla 9.

Costo de implementación de piso radiante con tubería reticulado Pex al Pex.

Materiales	Unidad de medida	Precio unitario	Cantidad	Precio total
Tubería reticulado Pex al Pex	Metros	6.1	98	597.80
Poliestireno expandido	Unidades	27	6	162.00
Cinta de 2*2"	Unidades	18.9	18	340.20
Plancha de OSB	Unidades	42.5	5	212.50
Terma solar de 20 tubos	Unidad	2000	1	2000.00
Electrobomba periférica trifásica	Unidad	750	1	750.00
Tubería PVC hidro	Unidades	29.30	4	117.20
Unión universal ½"	Unidades	3	6	18.00

Continuación

Válvula check ½"	Unidad	29.9	1	29.90
Codo 90° de ½"	Unidades	1.5	10	15.00
Total S/.				4242.6

3.10.2. Costo de implementación con tubería reticulado Pex al Pex por metro cuadrado

El precio de implementación de un sistema de climatización con tubería Pex es de S/. 4242.6, para calefaccionar el gabinete tiene un área aproximado de 14 m². Para poder hallar su valor económico por m², se utiliza la siguiente formula.

$$\text{Costo}_{\text{por área}} = \frac{\text{Costo}_{\text{Total}}}{\text{Area}_{\text{Calefaccionar}}} = \frac{4242.6}{14} = 303.043 \frac{\text{S/}}{\text{m}^2}$$

El precio por m² a calefaccionar el gabinete es de 303.043 soles, empleando tubería reticulado Pex al Pex.

3.11. Estación meteorológica

La estación meteorológica se encuentra instalado en la azotea del pabellón académico de laboratorios UNAJ sede ayabacas, el equipo es muy robusto a las condiciones climáticas como es el campus universitario de la escuela profesional de EPIER. Esta estación meteorológica tiene instalado el fotodiodo que nos proporciona los datos de irradiación solar.



Figura 31. Estación meteorológica de modelo WS GP2.

3.12. Programación en Tía Portal v17 y software Arduino Uno

Para la adquisición de datos de las temperaturas se almacena en el PLC, también se utilizó el software Tía Portal v17 para realizar la programación requerida por los tesisistas para más detalles visualizar en el Anexo 5 por último se utilizó el software Arduino Uno para recolectar datos de humedad relativa en su lenguaje de programación para más detalles visualizar en el Anexo 6.



Figura 32. Programación de software Tía Portal v17 y software Arduino Uno.

3.13. Mecánica de fluidos

La mecánica de fluidos se basa en el estudio de las leyes de fuerza que están en movimiento de los fluidos a una sustancia líquida (Mott, 1996). También se afirma que los conocimientos van de la mano con la experimentación realizada por los dos tesisistas que se encuentra desarrollado la ecuación en Anexo 7.

A continuación se describe las ecuaciones empleadas para realizar pruebas de caudal, velocidad de flujo caloportador, flujo másico por último flujo en peso.

a. Densidad

La densidad, es una magnitud escalar más caracterizado de cada sustancia, se define como la masa por unidad de volumen (Mott, 1996).

Dónde: $\rho = \text{Densidad} \left(\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right)$; $m = \text{Masa}(\text{Kg})$; $V = \text{m}^3$

$$\rho = m/V \quad (8)$$

b. Peso específico

Dónde: $\gamma = \text{Peso específico } \left(\frac{\text{N}}{\text{m}^3}\right)$; $\rho = \text{Densidad } \left(\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}\right)$; $g = \text{Gravedad } \left(\frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)$

$$\gamma = \rho * g \quad (9)$$

c. Caudal

También llamado flujo volumétrico o gasto que esta el volumen del fluido que circula en una sección por unidad de tiempo (Mott, 1996).

Dónde: $Q = \text{Caudal } \left(\frac{\text{m}^3}{\text{Seg}}\right)$; $V = \text{Volumen}(\text{m}^3)$; $T = \text{Tiempo}(\text{Seg})$

$$Q = V/t \quad (10)$$

d. Velocidad del fluido

Dónde: $v = \text{Velocidad } \left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)$; $Q = \text{Caudal } \left(\frac{\text{m}^3}{\text{Seg}}\right)$; $A = \text{Area}(\text{m}^2)$

$$v = Q/A \quad (11)$$

e. Flujo en peso

El flujo de peso es el peso del fluido que circula en una sección por unidad de tiempo (Mott, 1996).

Dónde: $\dot{w} = \text{Flujo en peso } \left(\frac{\text{N}}{\text{Seg}}\right)$; $\gamma = \text{Peso específico } \left(\frac{\text{N}}{\text{m}^3}\right)$; $Q = \text{Caudal } \left(\frac{\text{m}^3}{\text{Seg}}\right)$

$$\dot{w} = \gamma * Q \quad (12)$$

f. Velocidad de flujo másico

El flujo másico es la masa del fluido que circula en una sección por unidad de tiempo (Mott, 1996).

Dónde: $\dot{m} = \text{flujo másico } \left(\frac{\text{Kg}}{\text{Seg}}\right)$; $\rho = \text{densidad } \left(\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}\right)$; $Q = \text{caudal}(\text{m}^3)$

$$\dot{m} = \rho * Q \quad (13)$$

g. Área transversal

Para poder hallar el área transversal es cuando se realiza un corte por medio de una tubería hidro de ½” utilizado en el proyecto de investigación.

Dónde: $A = \text{Area transversal}$; $D = \text{Diámetro de tubería hidro}$

$$A = \pi * D^2/4 \quad (14)$$

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIONES

En este apartado tenemos la interpretación de datos obtenidos durante la evaluación del trabajo de investigación con sistema de calefacción solar con suelo radiante instalado en el gabinete de Laboratorio de Control y Electrónica Básica de EPIER.

4.1. Interpretación y análisis de gráficos

La interpretación y el análisis de gráficos fueron fundamentales para comprender los comportamientos de cada temperatura instalada en el transcurso del tiempo. Para ello, se realizaron pruebas de ganancia de calor en diferentes meses, lo que permitió identificar patrones y variaciones estacionales en la eficiencia del sistema de calefacción solar instalado.

Durante el análisis, se observó cómo las temperaturas respondían a las distintas condiciones ambientales, como energía solar junto con el grado de calor exterior, influyendo los factores internos, como la carga térmica generada por los equipos operativos en el laboratorio. También se estudiaron las fluctuaciones diarias y su impacto en la estabilidad térmica del gabinete, evaluando cómo el sistema de control, a través del PLC y la bomba centrífuga, regulaba la temperatura para mantener un ambiente adecuado para las actividades requeridas por el laboratorista.

4.2. Evaluación del sistema de calefacción solar por periodo

Se evaluó la ganancia calorífica luego del funcionamiento de suelo radiante con tubería reticulada Pex al Pex, mediante registro y análisis de grado de calor y el porcentaje máximo e mínimo de HR% en el interior del gabinete. Además, se monitoreó la temperatura ambiente en el Laboratorio de Control y Electrónica Básica de EPIER, así como la temperatura de entrada de la terma solar de agua caliente sanitaria ubicada en el tercer nivel. Paralelamente, se adquirieron datos de irradiación solar recopilados por la estación meteorológica para realizar un análisis detallado y calcular el promedio del comportamiento del sistema de calefacción solar. Estos registros fueron fundamentales para entender la eficiencia y el desempeño del sistema en diferentes condiciones operativas.

4.2.1. Sistema de calefacción solar con tubería Pex al Pex

Las mediciones del sistema de calefacción solar tuvieron dos fases. La primera fase inicio el 5 de abril y se prolongó hasta el 5 de mayo. Durante este período, la electrobomba operó en un rango horario de 11:00 a 15:00 horas. Posteriormente, se llevó a cabo una segunda fase de recolección de datos del 10 de mayo al 10 de junio. En esta etapa, la electrobomba funcionó en un intervalo extendido de 09:00 a 16:00 horas. Esta fase también incluyó la introducción de una carga simulada equivalente a 4 personas dentro del gabinete, esto con el objetivo de incrementar la carga térmica sobre el rendimiento del sistema. También fueron realizadas mediciones específicas con tubería reticulado pex al pex expuesto al aire libre, es decir sin el piso de madera.

Durante este análisis, se recolectaron datos de cinco sensores de temperatura y humedad relativa ubicados en el cubículo. La información sobre irradiación solar se obtuvo de la estación meteorológica del Instituto de Investigación en Energías Renovables y Eficiencia Energética. Para el análisis, nos enfocamos en el sensor de temperatura y humedad relativa situado en la parte central del gabinete, a un metro de altura del suelo, como se visualiza en la figura 33.

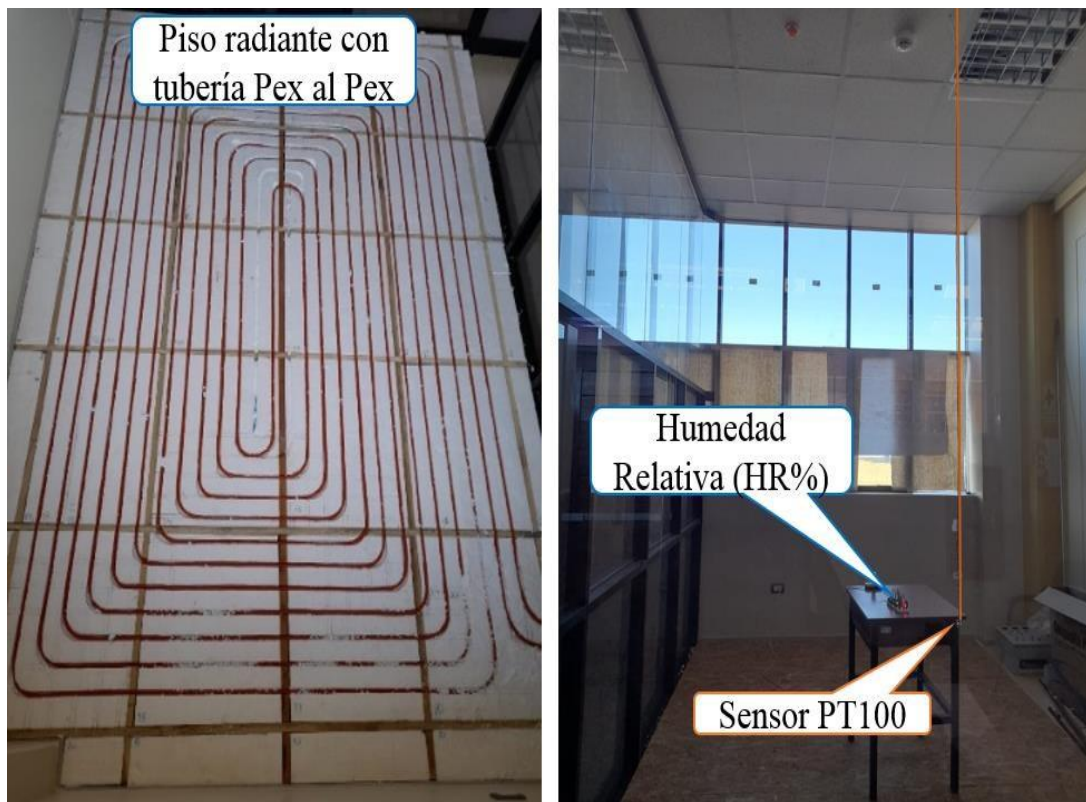


Figura 33. Instalado en un patrón espiral con tubería Pex, humedad relativa y sensor PT100.

4.2.2. Sistema de calefacción térmico equipado con tubería Pex periodo de trabajo con electrobomba (11:00 a 15:00 horas)

La primera fase de mediciones del sistema de calefacción solar que inició el 05 abril a 05 mayo en el horario de 11:00 a 15:00 horas. En el transcurso de esta evaluación, se tomaron datos de cinco termistores pt100 y humedad relativa figados en el gabinete. Los datos de irradiación solar fueron descargados periódicamente de la estación meteorológica del Instituto de Investigación en Energías Renovables y Eficiencia Energética. Los datos recolectados corresponden al promedio de dicho mes de las 24 horas de funcionamiento del sistema (datos completos ver Anexo 12 - Tabla 27).

En la Tabla 10, se presenta los resultados promedios de dicho mes con sistema basado en energía solar térmica. Durante esta evaluación, se observó que la temperatura interna del gabinete alcanzó un máximo de 20.14 °C, con un nivel máximo de humedad relativa que no supera el 50%. La temperatura mínima interna registrada fue de 16.56 °C, con una humedad relativa mínima del 48%. La temperatura exterior del laboratorio se registró con un máximo de 15.59 °C y un mínimo de 14.61 °C. Es importante destacar el incremento de grado térmico del agua caliente sanitaria, proveniente de terma solar instalado en el tercer nivel, el calor térmico alto y bajo oscila entre 77.82 °C, 59.03 °C respectivamente.

Tabla 10.

Promedio registro y evaluación del dicho mes 05 de abril al 05 de mayo del 2024 con sistema de calefacción por tubería Pex.

	Temp. Ingreso agua (°C)	Temp. Retorno agua (°C)	Temp. Exterior gabinete (°C)	Temp. Interior gabinete (°C)	Temp. Ingreso terma solar (°C)	Humedad relativa (HR%)	Irradiancia (W/m²)
Temp. Max.	69.43	59.15	15.59	20.14	77.82	50%	1003.14
Temp. Min.	18.51	14.70	14.61	16.56	59.03	48%	0.00
Prom. diario	61.81	51.75	15.14	19.19	65.78	50%	483.66

Tabla 11.

Salto térmico del sistema de calefacción solar en horario de funcionamiento de 11:00 a 15:00 hrs.

Promedio de temperatura interior (°C)	Promedio de temperatura exterior (°C)	Salto térmico (°C)
19.19	15.14	4.05

En la Tabla 11 se muestra el salto térmico con horarios de funcionamiento a partir de 11:00 a 15:00 horas, con un gran aporte calorífico de 4.05 °C. Este valor se calcula entre la diferencia de promedios de temperatura interior y exterior del gabinete. Es importante destacar que la temperatura promedio interior se encuentra cumpliendo con los estándares de confort térmico establecida por la Norma Técnica Peruana – NTP 501, que define un rango óptimo de 17 a 27 °C.

En la figura 34, se ilustra el comportamiento del aporte térmico que está sombreando de color verde entre la temperatura interior y sin sistema de calefacción del gabinete, así como el aporte calorífico del sistema de tubería PEX durante un periodo de 24 horas. La figura también nos detalla la variación de irradiación solar. Se nota que el nivel térmico exterior del ambiente aumenta de manera simétrica con la irradiación solar, mientras que la temperatura interior del gabinete presenta un ligero incremento cuando la electrobomba inicia la circulación del agua caliente sanitaria entre las 11:00 a 15:00 horas. El aumento máximo de la temperatura interior se alcanza a las 13:50 horas. La temperatura dentro del gabinete es consistentemente superior a la temperatura exterior, lo que demuestra la efectividad de la implementación de piso radiante.

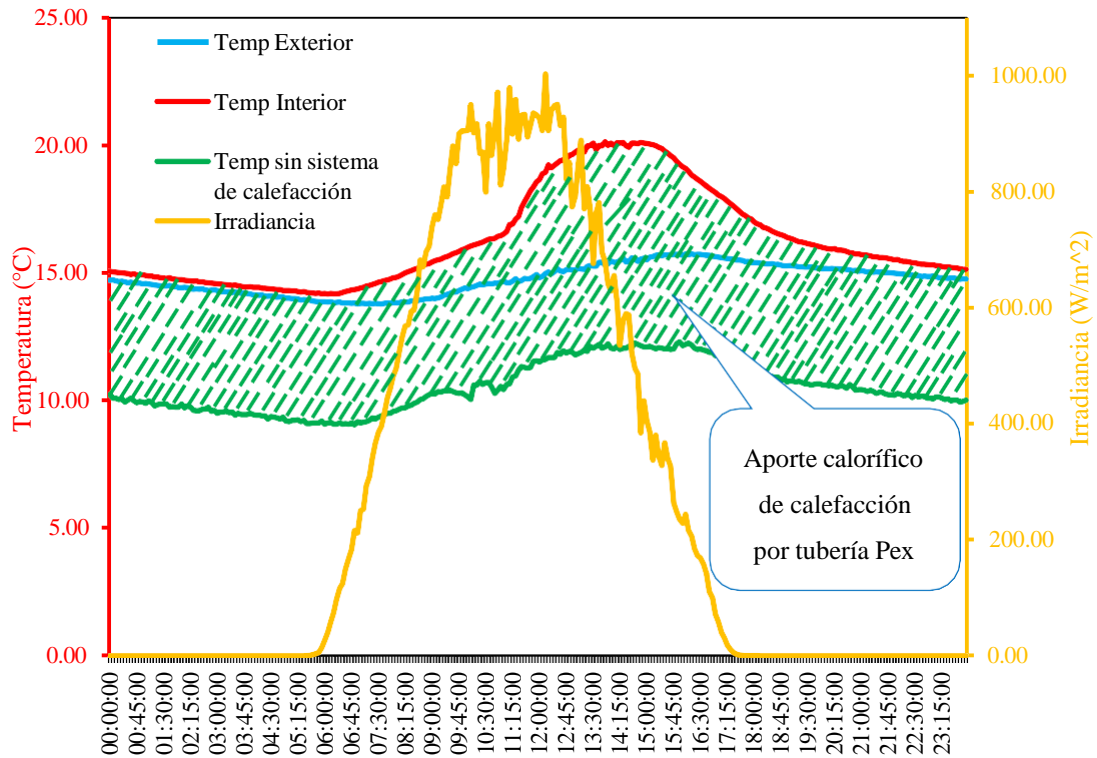


Figura 34. Comportamiento de temperatura interior y exterior del gabinete en el periodo de funcionamiento 11:00 a 15:00 horas.

En la Figura 34, el área sombreada de color verde nos indica la contribución calorífica proporcionada por sistema de tuberías polietileno reticulado. Esta área se encuentra en el intervalo de temperatura interior del gabinete color rojo y la temperatura sin sistema de calefacción color verde. La implementación del sistema de calefacción solar ha mejorado significativamente este aporte calorífico, se evidencia en la comparación de temperaturas.

En Figura 35, se visualiza la irradiación solar y los datos recopilados de temperatura del sistema de calefacción solar. La línea naranja representa la temperatura de salida de la terma solar, la línea azul muestra la temperatura de entrada al piso radiante, la línea gris indica la temperatura de salida de piso radiante, la línea roja refleja la temperatura interior del gabinete, y la línea celeste denota la temperatura exterior del laboratorio. La irradiación solar está representada por la línea verde. Durante el período de evaluación, la temperatura exterior del laboratorio alcanzó un máximo de 15.74 °C a las 16:05 y un mínimo de 13.78 °C a las 06:55. En cuanto a la temperatura interior del gabinete, el máximo registrado fue de 20.14 °C a las 13:50, mientras que

el mínimo fue de 14.18 °C a las 05:55 horas. La transferencia de calor máxima ocurre de 13:10 a 15:00 horas como se observa en la figura.

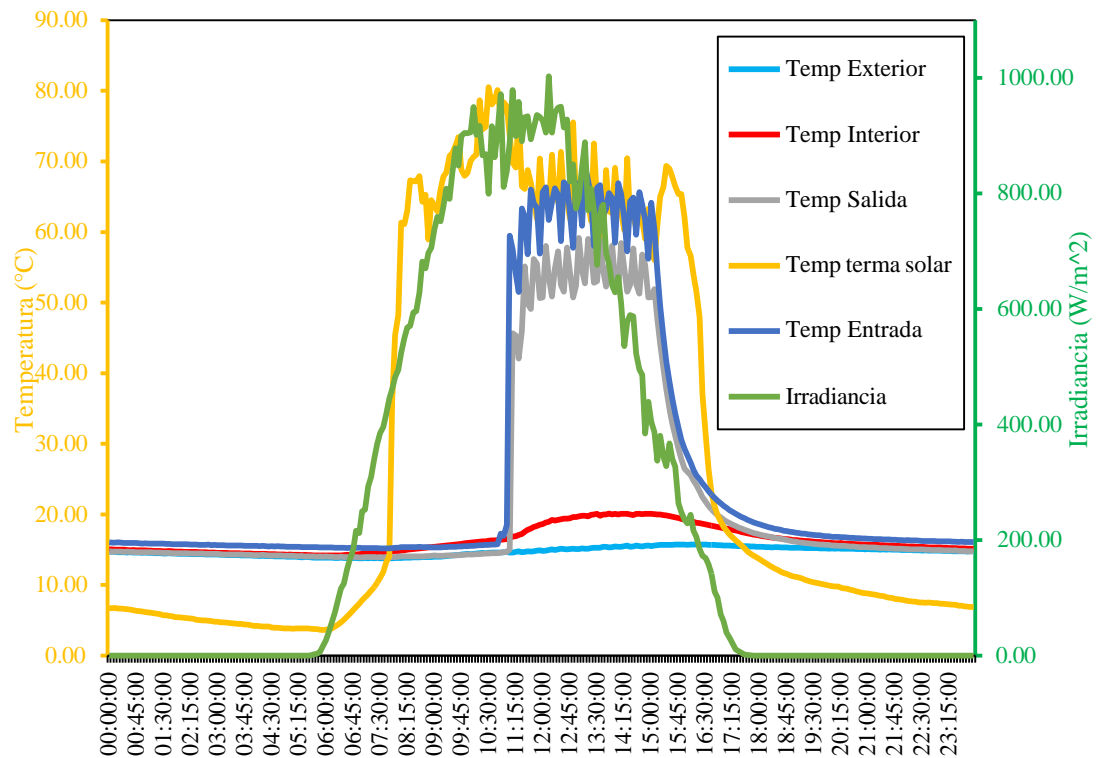


Figura 35. Comportamiento de cinco sensores de temperatura en periodo análisis 11:00 a 15:00 hrs.

La medición de la humedad relativa dentro del gabinete comenzó el 5 de abril y se extendió hasta el 5 de mayo. La Figura 36, muestra cómo varió la humedad relativa en relación con la temperatura interior del gabinete. Durante este período, la humedad relativa máxima se registró en un 51% a las 20:00 horas, mientras que la mínima fue del 48% a las 11:10 horas. La imagen de la figura nos hace entender que se comportan inversamente proporcional a mayor temperatura, menor es la humedad relativa.

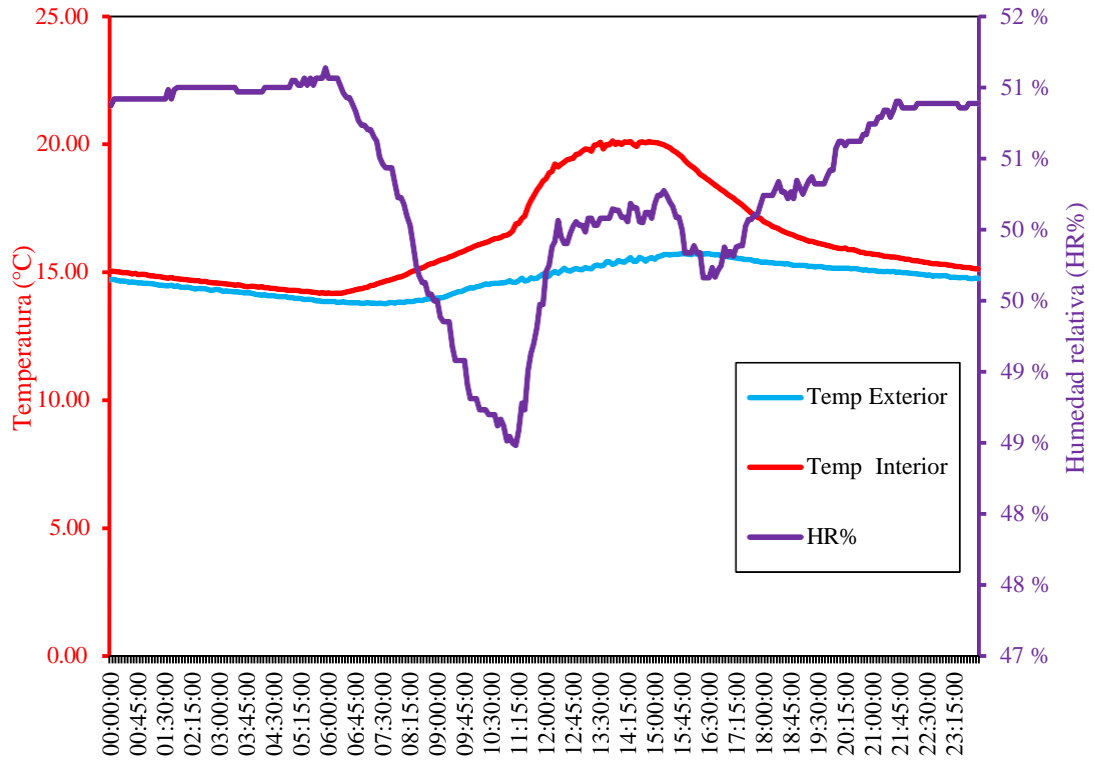


Figura 36. Registro de promedio de humedad relativa y temperatura dentro del gabinete.

4.2.3. Prueba de ganancia calorífica a partir de funcionamiento de 11:00 a 15:00, 10:00 a 15:00 y de 09:00 a 16:00 horas

La Figura 37, se ve la prueba de ganancia calorífica en horas diferentes de funcionamiento con sistema de calefacción por piso radiante en el Laboratorio de Control y Electrónica Básica de EPIER, mostrando diferentes días y horas de funcionamiento. El gráfico indica un mayor aporte calorífico cuando opera de 09:00 a 16:00 horas, como se destaca en color rojo. Este periodo muestra una ganancia de calor significativamente superior en comparación con los periodos de inicio del funcionamiento, representados en colores naranja y celeste, tal como se observa en la Figura.

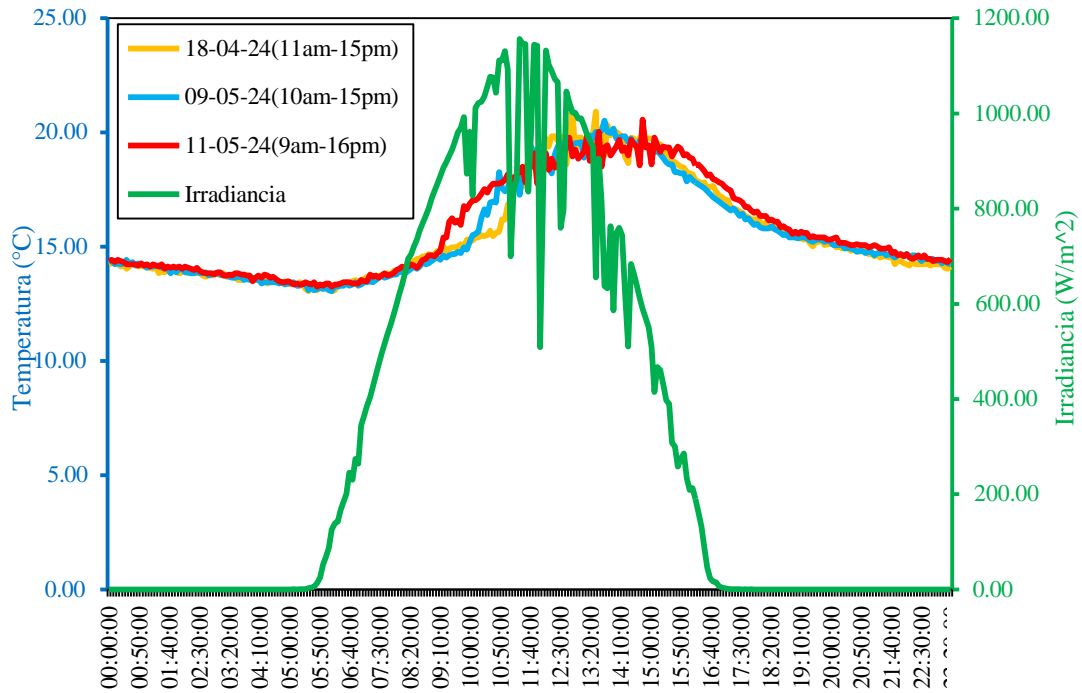


Figura 37. Prueba de ganancia calorífica en diferentes días y horas.

La Tabla 12, detalla el aporte calorífico del sistema para cada hora y día de funcionamiento, incluyendo la temperatura máxima, mínima y promedio diaria durante la prueba de ganancia calorífica, cumpliendo así con los estándares de confort térmico establecido por la Norma Técnica Peruana – NTP 501, que define un rango de 17 a 27 °C.

Tabla 12.

Prueba de ganancia calorífica de tres días diferentes a diferentes horas de funcionamiento.

	Temperatura Interior del gabinete (°C)			Irradiancia (W / m ²)
	18-04-24 (11am-15pm)	09-05-24 (10am-15pm)	11-05-24 (9am-16pm)	
Temp. Max.	20.91	20.52	20.57	1156.46
Temp. Min.	15.61	14.72	14.48	0.00
Prom. diario	18.97	18.45	18.15	557.80

La Figura 38, ilustra el comportamiento de humedad relativa y temperatura que se comportan inversamente proporcional en los días de pruebas realizadas, el incremento de temperatura, la humedad tiende a disminuir. Las mediciones se realizaron dentro del gabinete en tres fechas diferentes el 18 de abril, con un funcionamiento del sistema de 11:00 a 15:00 horas; el 9 de mayo, de 10:00 a 15:00 horas; y el 11 de mayo, de

09:00 a 16:00 horas. La información sobre promedios más altos y más bajos de HR% se detallan en la Tabla 13. Además, la Figura 38, destaca en color rojo el intervalo de 09:00 a 16:00 horas, indicando que este período es el más eficaz para funcionar y lograr aclimatar el gabinete en menor tiempo posible.

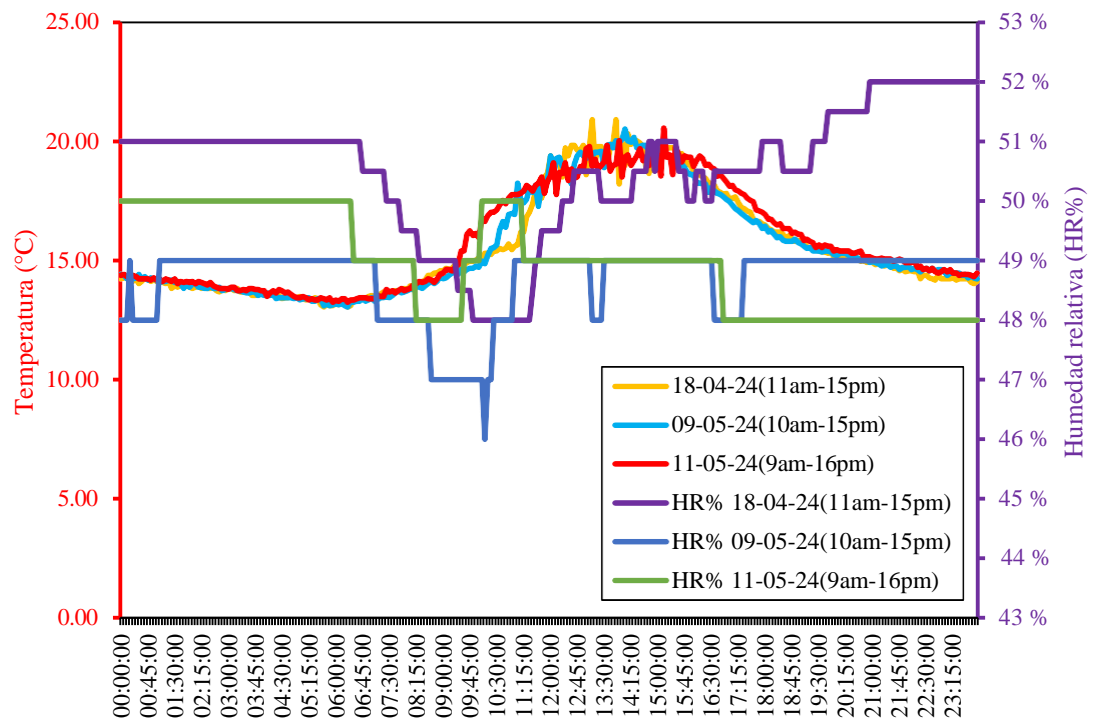


Figura 38. Comportamiento de temperatura interno del gabinete y humedad relativa.

Tabla 13.

Datos de humedad relativa en diferentes días de prueba.

	Humedad relativa dentro del gabinete (HR%)		
	18-04-24 (11am-15pm)	09-05-24 (10am-15pm)	11-05-24 (9am-16pm)
HR% Máxima	51%	49%	50%
HR% Mínima	48%	46%	48%
HR% Prom. Diario	50%	49%	49%

4.2.4. Sistema de transferencia calorífica con tubería Pex periodo de trabajo de la electrobomba de 09:00 a 16:00 horas

Las mediciones del sistema de calefacción solar se realizaron del 10 de mayo al 10 de junio, con la electrobomba operando de 09:00 a 16:00 horas. Durante este período, se registraron datos de cinco sensores de temperatura y humedad relativa ubicados dentro del gabinete. La información sobre irradiación solar fue proporcionada por la estación

meteorológica del Instituto de Investigación en Energías Renovables y Eficiencia Energética. Es fundamental destacar que el promedio de los datos del período de evaluación, que abarca 24 horas de funcionamiento del sistema, se detalla en el Anexo 12 (Tabla 28).

La Tabla 14, presenta los resultados de evaluación del sistema de calefacción solar por piso radiante con tubería Pex. Durante este período, la temperatura máxima dentro del gabinete alcanzó los 17.77 °C, con una HR% máxima de 44%. La temperatura más baja interior fue de 12.74 °C, con una humedad relativa mínima de 42%. La temperatura exterior del laboratorio se registró con un máximo de 12.98 °C y un mínimo de 11.36 °C. En cuanto a la incrementación de agua caliente sanitaria, proviene de los tubos de vacío que se encargan calentar el líquido, que está instalado en tercer piso, el calor térmico alto y bajo oscila entre 71.54 °C, 51.76 °C respectivamente.

Tabla 14.

Periodo de evaluación y promedio de datos del sistema de calefacción que utiliza con tuberías Pex en horas de funcionamiento a partir 09:00 a 16:00 horas.

	Temp. Ingreso agua (°C)	Temp. Salida agua (°C)	Temp. Exterior gabinete (°C)	Temp. Interior gabinete (°C)	Temp. Ingreso terma solar (°C)	Humedad relativa (HR%)	Irradiancia (W/m^2)
Temp. Max.	61.30	55.42	12.98	17.77	71.54	44%	1011.28
Temp. Min.	13.22	11.96	11.36	12.74	51.76	42%	0.00
Prom. diario	56.07	48.66	12.18	16.48	57.64	43%	522.21

La Tabla 15 muestra el salto térmico promedio de 4.31 °C obtenido durante el período de evaluación, que abarcó de 09:00 a 16:00 horas. Este valor se calcula entre la diferencia de promedios de temperatura interior y exterior del gabinete.

Tabla 15

Salto térmico obtenido de calefacción solar con tubería Pex en horario de funcionamiento de 09:00 a 16:00 horas.

Promedio de temperatura interior (°C)	Promedio de temperatura exterior (°C)	Salto térmico (°C)
16.48	12.18	4.31

La Figura 39, muestra el aporte calorífico que esta sombreado de color azul entre promedio de temperatura interior y sin sistema de calefacción del cubículo. La figura también muestra la variación temperatura ambiente exterior con respecto a la irradiación solar, mientras que la temperatura interior del gabinete presenta aumento ligeramente cuando funciona la electrobomba, que circula agua caliente sanitaria desde las 09:00 a 16:00 horas. La temperatura interior alcanza su punto máximo a las 15:50 horas. Además, teniendo en claro la visualización que la temperatura exterior es inferior a la temperatura dentro del gabinete, lo que demuestra la efectividad de aclimatar el cubículo del Laboratorio de Control y Electrónica Básica de EPIER.

En la Figura 39, el área sombreada color azul nos representa la contribución calorífica proporcionada por sistema de tuberías Pex al Pex. Esta área se encuentra en la intersección de temperatura interior del gabinete color rojo y la temperatura sin el sistema de calefacción color verde. La figura ilustra cómo el aporte calorífico se incrementó tras la implementación y ajuste del sistema de calefacción solar, evidenciando una mejora en la habitabilidad de una condición mínima de bienestar térmico al interior del gabinete.

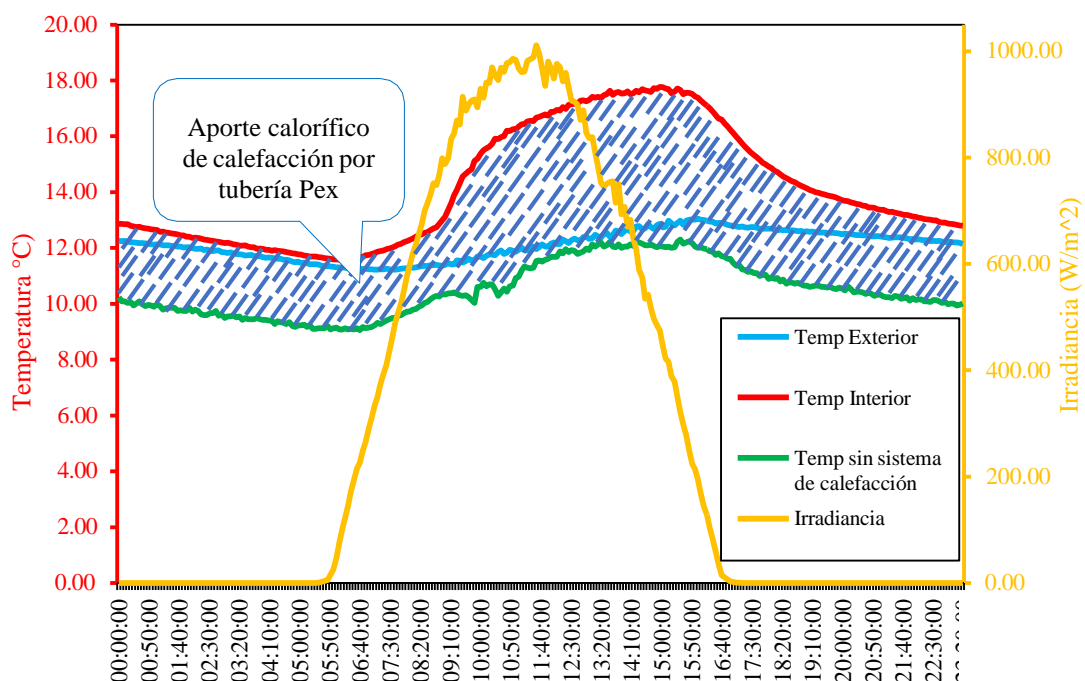


Figura 39. Comportamiento de temperatura interior y sin sistema de calefacción en funcionamiento 09:00 a 16:00 hrs.

En la Figura 40, se muestra el período de evaluación y la fluctuación promedio de los cinco sensores de temperaturas registrados en memoria interna de PLC, los colores

representaran los diferentes sensores. La línea naranja representa la temperatura de salida de la terma solar, la línea azul muestra la temperatura de entrada al piso radiante, la línea gris indica la temperatura de salida de piso radiante, la línea roja refleja la temperatura interior del gabinete, y la línea celeste denota la temperatura exterior del ambiente de laboratorio. En el lado derecho se encuentra representada la irradiación solar en línea de color verde.

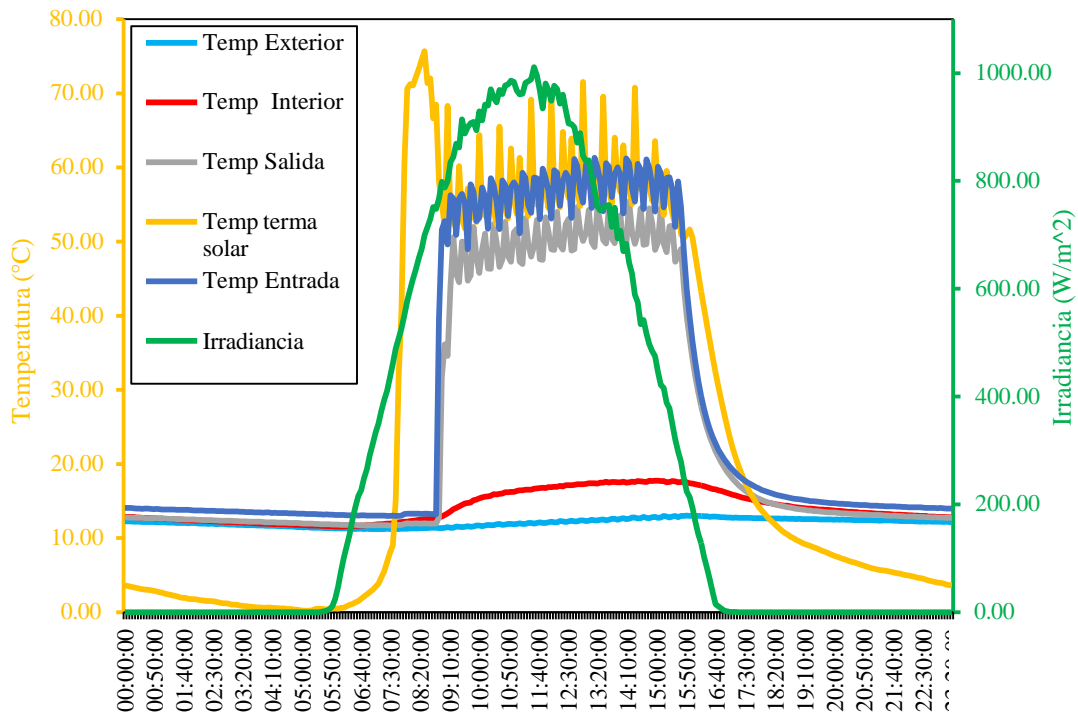


Figura 40. Comportamiento de cinco sensores de temperaturas durante el periodo de análisis 09:00 a 16:00 hrs.

Durante el período de evaluación, se registraron las temperaturas exteriores e interiores del laboratorio. La temperatura máxima exterior alcanzó los 12.98 °C a las 15:55 horas, y un mínimo de 11.36 °C a las 09:10 horas. En cuanto a la temperatura interior del gabinete, la máxima fue de 17.77 °C a las 15:20 horas, y la mínima fue de 12.74 °C a las 09:00 horas. En horas de 13:10 a 16:15 la temperatura interior del cubículo se mantuvo constante. Además, la temperatura del líquido al entrar y al salir coincidió a las 16:30:00 pm como se visualiza en la figura 40.

La Figura 41, muestra la medición de la humedad relativa dentro del gabinete, realizada desde el 10 de mayo hasta el 10 de junio. En esta figura se puede observar la variabilidad de la humedad relativa en proporción a la temperatura interior del gabinete. La humedad relativa máxima se registró en un 44% a las 14:55, mientras

que la mínima fue del 42% a las 08:35 am. La figura ilustra claramente que la humedad relativa (HR%) tiene una influencia con la temperatura ambiente del cubículo que son inversamente proporcional.

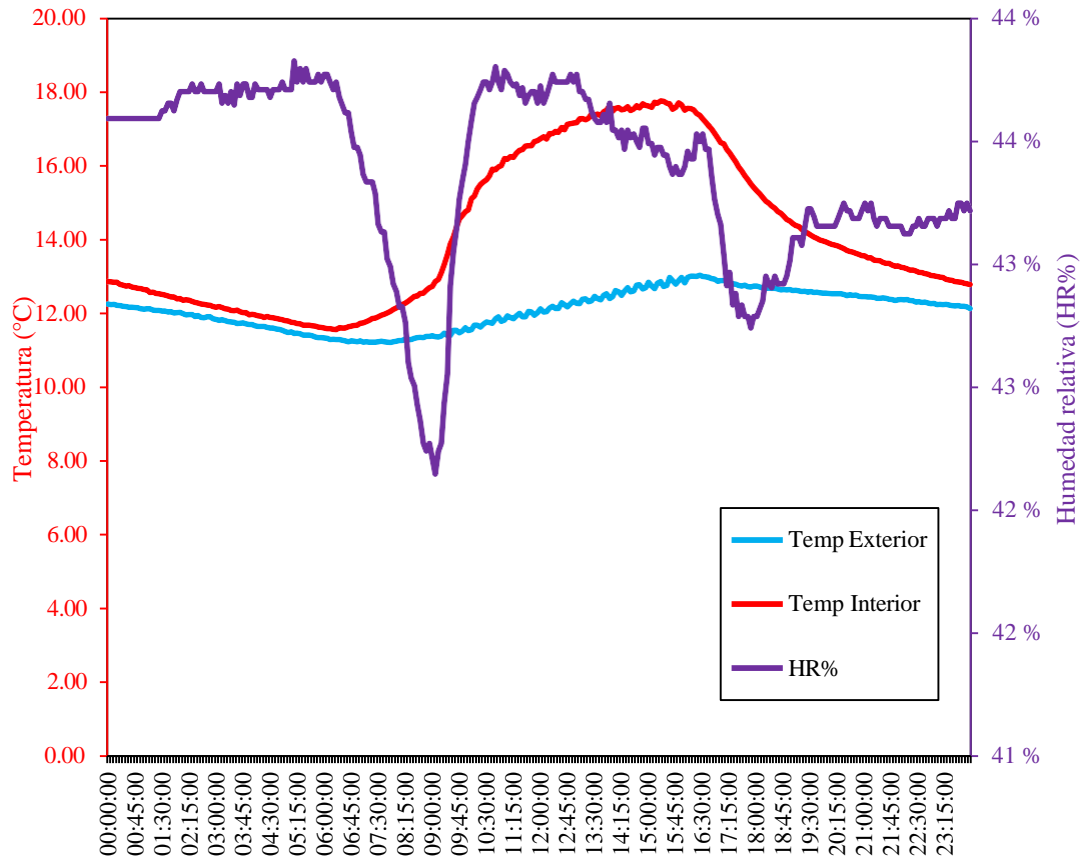


Figura 41. Registro de promedio de humedad relativa y temperatura dentro del gabinete.

4.2.5. Prueba del sistema de calefacción con carga de 4 personas dentro del gabinete con periodo de trabajo de la electrobomba 09:00 a 16:00 horas

La prueba del sistema de calefacción con carga de 4 personas dentro del gabinete se realizó los días 13 y 14 de junio. La electrobomba operó de 09:00 a 16:00 horas. Para el análisis, se enfocó en los datos del sensor de temperatura junto con la humedad relativa, ubicado en la parte central del gabinete a 1 metro de altura del suelo falso, tal como se revela en la figura. Este enfoque permitió observar el incremento de la temperatura de manera proporcional. Los datos recolectados durante las 24 horas que funcionó el sistema se presentan en la Tabla 16.



Figura 42. Sistema de calefacción con carga de 4 personas dentro del gabinete.

En la Tabla 16, se presenta una carga de cuatro personas con sus respectivas máquinas de trabajo esto para mejorar las condiciones de confort térmico dentro del gabinete. Durante esta evaluación, la temperatura interior del gabinete alcanzó un máximo de 19.81 °C, con un alto grado de humedad relativa máxima del 42%, la temperatura interior más baja fue de 10.99 °C, con una humedad relativa mínima del 37%. En el exterior del laboratorio, las temperaturas fluctuaron entre un máximo de 11.75 °C y un mínimo de 9.74 °C. La salida de agua caliente sanitaria del colector solar, ubicado en el tercer nivel, el calor térmico alto y bajo oscila entre 80.99 °C, 38.14 °C respectivamente. Además, se alcanzó la irradiancia promedio máximo 982.83 W/m².

Tabla 16.

Periodo de evaluación y promedio de datos del sistema de calefacción con carga de 4 personas dentro del gabinete.

	Temp. Ingreso agua (°C)	Temp. Salida agua (°C)	Temp. Exterior gabinete (°C)	Temp. Interior gabinete (°C)	Temp. Ingreso terma solar (°C)	Humedad relativa (HR%)	Irradiancia (W/m ²)
Temp. Max.	69.23	59.83	11.75	19.81	80.99	42%	982.82
Temp. Min.	11.68	10.42	9.74	10.99	38.14	37%	0.00
Prom. diario	60.43	52.41	10.69	16.68	62.52	39%	520.18

En la Tabla 17, se muestra un salto térmico promedio de 5.99 °C, registrado durante el periodo de evaluación de 09:00 a 16:00 horas. Este valor se determina con la sustracción de promedios de temperaturas interior y exterior del gabinete cuando se encontraban 4 personas dentro del gabinete teniendo un gran aporte calorífico. Es importante destacar que la temperatura promedio interior se mantuvo dentro de los estándares de confort térmico establecida por la Norma Técnica Peruana - NTP 501, que indica la temperatura óptimo entre 17 a 27 °C.

Tabla 17.

Salto térmico del sistema de tubería Pex con carga de 4 personas el horario de funcionamiento de 09:00 am a 16:00 pm.

Promedio de temperatura interior (°C)	Promedio de temperatura exterior (°C)	Salto térmico (°C)
16.68	10.69	5.99

En esta oportunidad en el gráfico de la Figura 43 se puede ver como varía la temperatura interior y sin sistema de calefacción del gabinete y la ganancia calorífica que tiene con sistema de tubería Pex, durante el funcionamiento de 24 horas. También se visualiza con gran incremento térmico exterior del ambiente crece paralelamente con la irradiación solar, cuando el sistema de programación hace el funcionamiento de la electrobomba empezando a forzar la circulación de agua caliente sanitaria a partir de 09:00 am a 16:00 pm, llegando así a una temperatura máxima a las 13:50 pm, asimismo se puede observar con precisión la temperatura del gabinete es superior a la temperatura exterior, esto indica la efectividad de aclimatar el cubículo del laboratorista.

El área sombreada es el aporte calorífico solar con tubería Pex con carga de 4 personas. Esta área sombreada está en el punto de cruce de intersección de temperatura interior del gabinete color rojo y sin sistema de calefacción color verde como se visualiza en la Figura 43. Este aporte calorífico se mejoró a partir del acondicionamiento e implementación del sistema de calefacción solar.

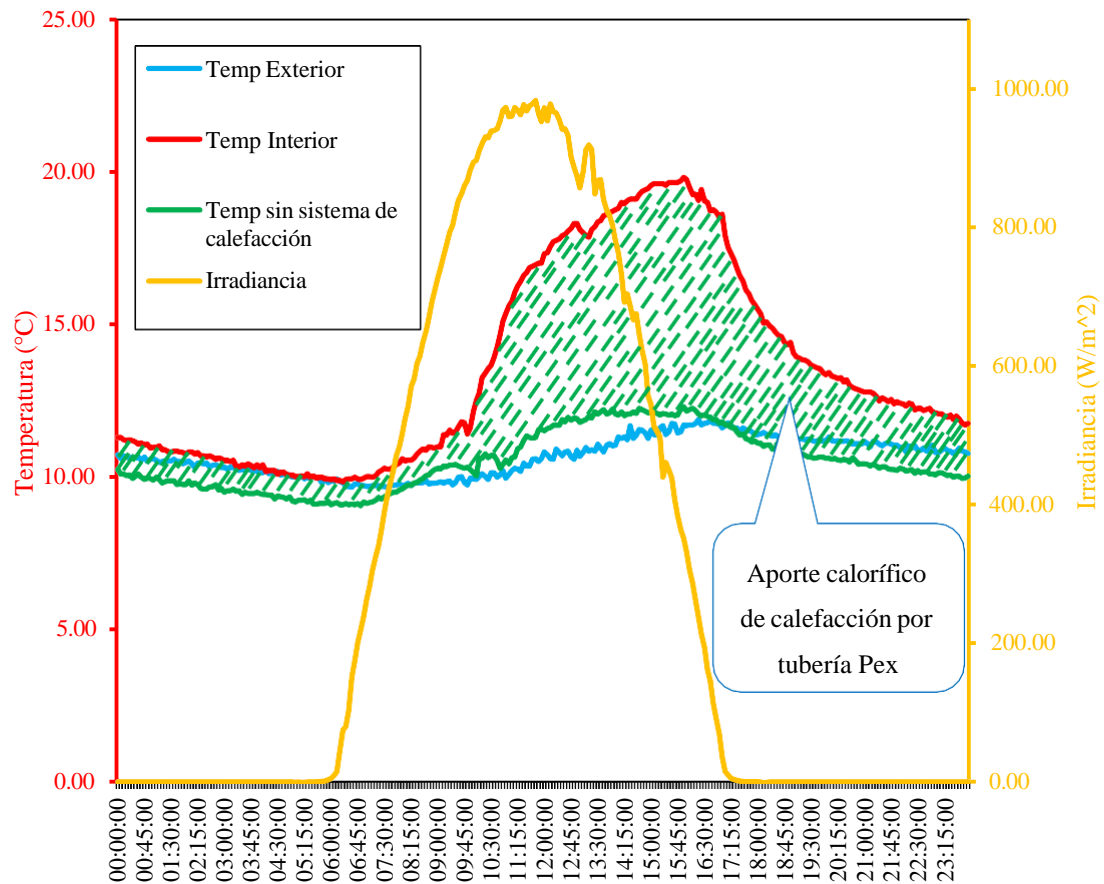


Figura 43. Aporte calorífico de 4 personas en el transcurso de funcionamiento 09:00 a 16:00 hrs.

En la Figura 44, se muestra el periodo de evaluación y el promedio de los cinco sensores temperaturas medido en el gabinete del Laboratorio de Control y Electrónica Básica de EPIER. En la figura, la línea naranja representa la temperatura de salida de la terma solar, la línea azul la temperatura de ingreso, la línea gris la temperatura de retorno, la línea roja la temperatura interior del gabinete y la línea celeste la temperatura exterior del ambiente del laboratorio. La irradiación solar, representada por la línea verde.

El registro y la evaluación de la temperatura exterior del ambiente del laboratorio muestran una temperatura más alta 11.75 °C, alcanzada a las 15:35 hrs, y una temperatura más baja 9.74 °C, registrada a las 09:50 horas. Por otro lado, dentro del gabinete, la temperatura máxima registrada fue de 19.81 °C a las 15:55 horas, mientras que la temperatura mínima fue de 10.99 °C, registrada a las 09:00 horas.

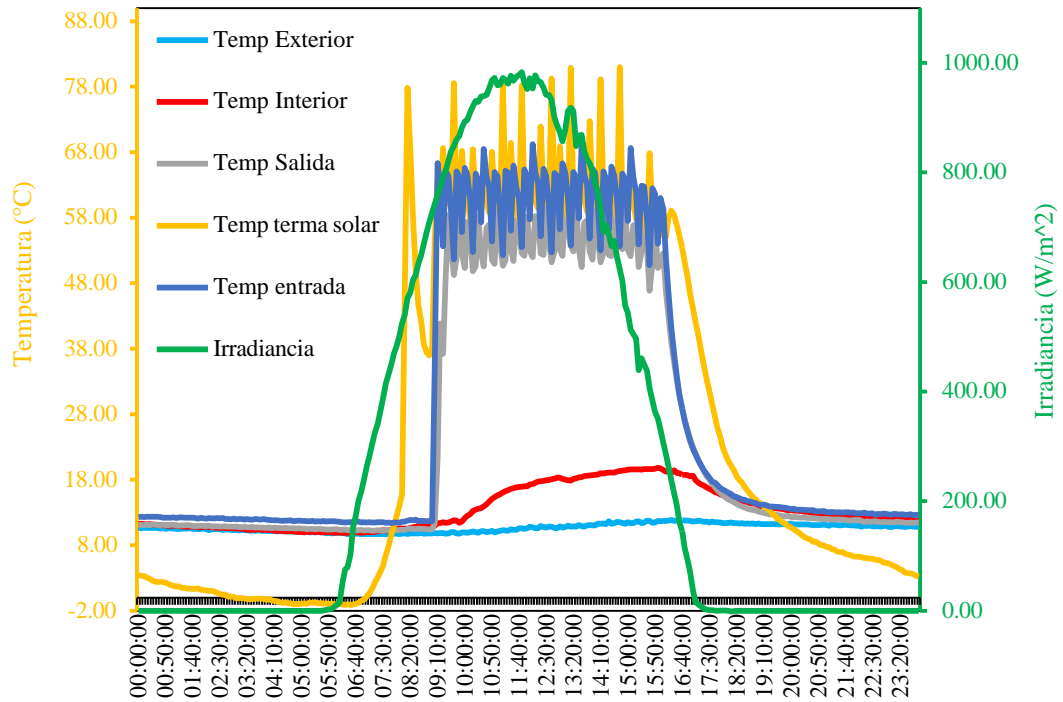


Figura 44. Comportamiento de las temperaturas a lo largo de periodo de evaluación con carga de 4 personas dentro del gabinete.

El registro y la evaluación promedio de la temperatura de ingreso y salida del fluido en el sistema de calefacción solar, utilizando una electrobomba trifásica de ½ HP, se realizaron durante dos días de prueba con una carga de 4 personas en el gabinete. El sistema operó de 09:00 a 16:00 horas, alcanzando la máxima transferencia de calor en el interior del gabinete entre las 15:10 y las 16:15 horas. Durante este período, la temperatura interior del gabinete se mantuvo constante, como se visualiza la figura 44, la temperatura del fluido caloportador al entrar y salir coincidieron en el mismo lugar a las 16:15 horas.

La Figura 45, muestra la medición de la humedad relativa dentro del gabinete, realizada del 13 al 14 de junio con una carga de 4 personas. La imagen se visualiza con fluctuación de humedad relativa en proporción a la temperatura interior del gabinete. La humedad máxima registrada fue del 42 % a las 09:50 horas de la mañana, mientras que la mínima fue del 37 % a las 13:50 horas de la tarde. Además, la Figura 45 muestra claramente que la temperatura y la humedad relativa son inversamente proporcional a mayor temperatura, menor es la humedad dentro del cubículo.

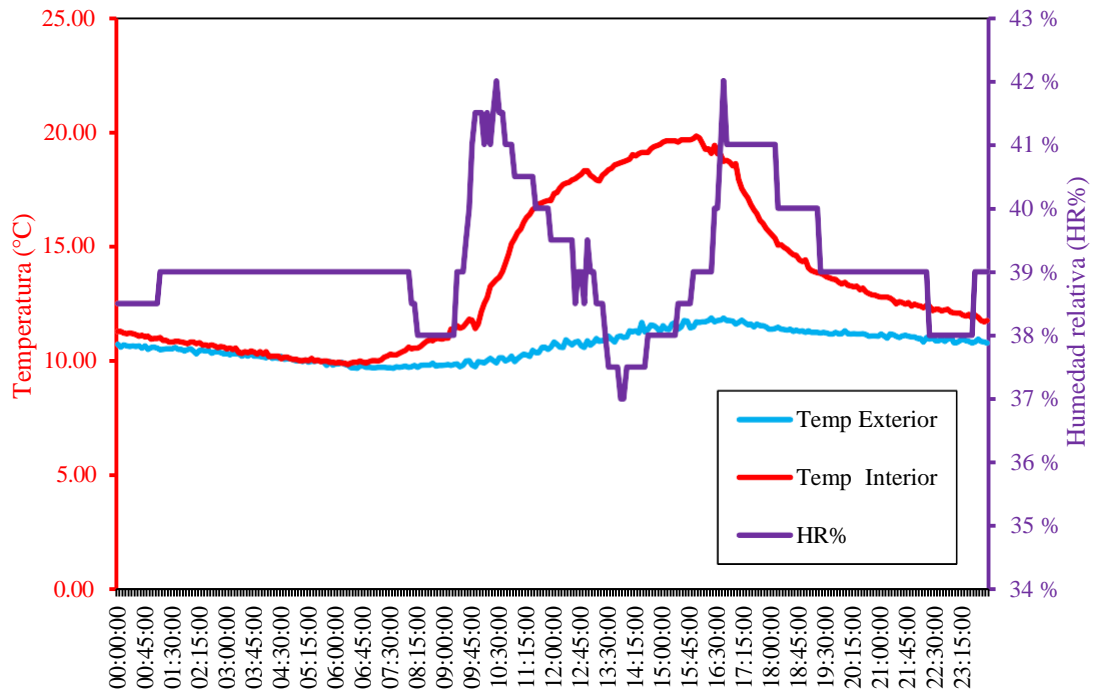


Figura 45. Registro de promedio de humedad relativa y temperatura dentro del gabinete con carga de 4 personas.

4.2.6. Mediciones con sistema de suelo radiante instalado tubería Pex expuesto al aire libre dentro del gabinete

Las mediciones obtenidas con calefacción equipada con tubería Pex expuesta aire libre sin piso de madera dentro del gabinete se llevó las mediciones los días 15, 16 de junio de 2024. Durante este periodo, la electrobomba operó de 09:00 a 16:00 horas. El análisis se centrará en los datos obtenidos del sensor ubicado en la parte central del gabinete, a 1 metro de altura sin piso de madera como detalla la figura 46, para evaluar el aumento de temperatura de manera precisa. Los datos recolectados representan 24 horas de trabajo continuo del sistema y se presentan en la Tabla 18.

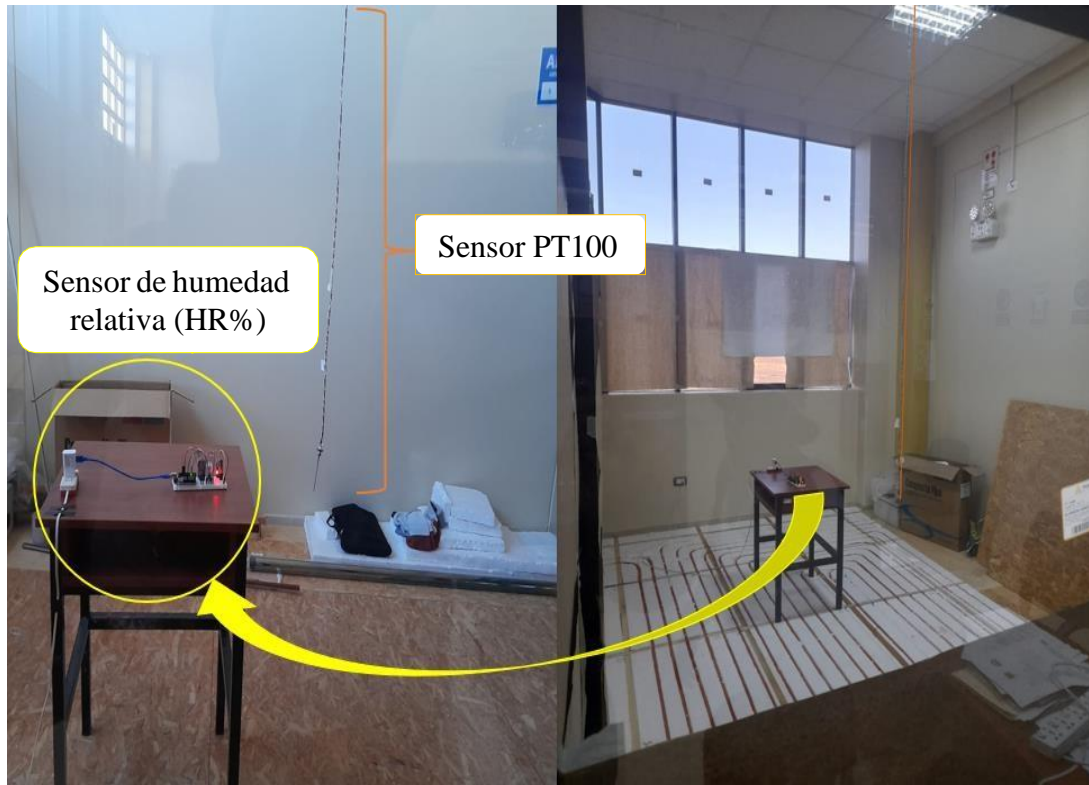


Figura 46. Sistema de calefacción solar expuesto al aire libre dentro del gabinete.

Tabla 18.

Mediciones del sistema de calefacción solar expuesto al aire libre dentro del gabinete (sin piso de madera).

	Temp. Ingreso agua (°C)	Temp. Salida agua (°C)	Temp. Exterior gabinete (°C)	Temp. Interior gabinete (°C)	Temp. Ingreso terma solar (°C)	Humedad relativa (HR%)	Irradiancia (W/m ²)
Temp. Max.	61.87	54.45	11.50	18.01	81.15	39%	1017.83
Temp. Min.	11.87	10.10	9.71	11.16	47.26	37%	0.00
Prom. diario	53.80	46.06	10.58	16.49	55.93	37%	497.86

En la Tabla 18, se visualiza las mediciones realizadas con sistemas de suelo radiante con tubería Pex expuesto al aire libre (sin piso de madera), llegando a una temperatura máxima al interior del gabinete de 18.01 °C, que presenta con una HR% máximo de 39% y una temperatura mínima al interior del cubículo 11.16 °C con una humedad relativa mínima de 37%. La temperatura exterior del laboratorio máximo y mínimo de 11.50 °C, 9.71 °C respectivamente. El ingreso de agua caliente sanitaria de terma solar se encuentra instalado el tercer nivel llegando con máximo y mínimo de 81.15 °C,

47.26 °C respectivamente. Teniendo una irradiancia máxima promedio de 1017.83 W/m².

La tabla 19 representa el salto térmico promedio de 5.91 °C, registrado durante el período de evaluación de 09:00 a 16:00 horas. Este valor representa la diferencia promedio entre calor interno y externo del gabinete, en cuando al sistema de calefacción solar está expuesto al aire libre. Este salto térmico indica la eficacia del sistema para mantener una temperatura interior superior a la exterior bajo las condiciones de prueba.

Tabla 19.

Salto térmico del sistema de tubería Pex expuesto al aire libre dentro del gabinete con sistema de calefacción solar el horario de funcionamiento de 09:00 am a 16:00 pm.

Promedio de temperatura interior (°C)	Promedio de temperatura exterior (°C)	Salto térmico (°C)
16.49	10.58	5.91

La Figura 47, muestra la variación de temperatura ambiente y exterior del cubículo, así como el calor aportado con sistema de tubería Pex durante un período de 24 horas. Se puede apreciar que el calor exterior del ambiente aumenta en sincronía con la irradiación solar. La temperatura interior del gabinete, por su parte, aumenta ligeramente cuando la electrobomba comienza a operar, forzando la circulación de agua caliente sanitaria entre las 09:00 a 16:00 horas. Se registra un pico cuando transfiere calor a 12:40:00. La figura también muestra que la temperatura del gabinete es superior a la exterior, indicando la efectividad de calefacción con piso radiante. Este sistema tiene mejor ganancia calorífica y más eficiente en comparación con el sistema que incluía un piso falso sobre tubería Pex.

El área sombreada de color verde de la Figura 47, nos indica el calor aportado proporcionado con sistema de tubería Pex. Esta área se encuentra entre la temperatura interior del gabinete (representada por la línea roja) y la temperatura sin sistema de calefacción (representada por la línea verde). Se observa que este aporte calorífico ha mejorado gracias al acondicionamiento e implementación del sistema de calefacción solar.

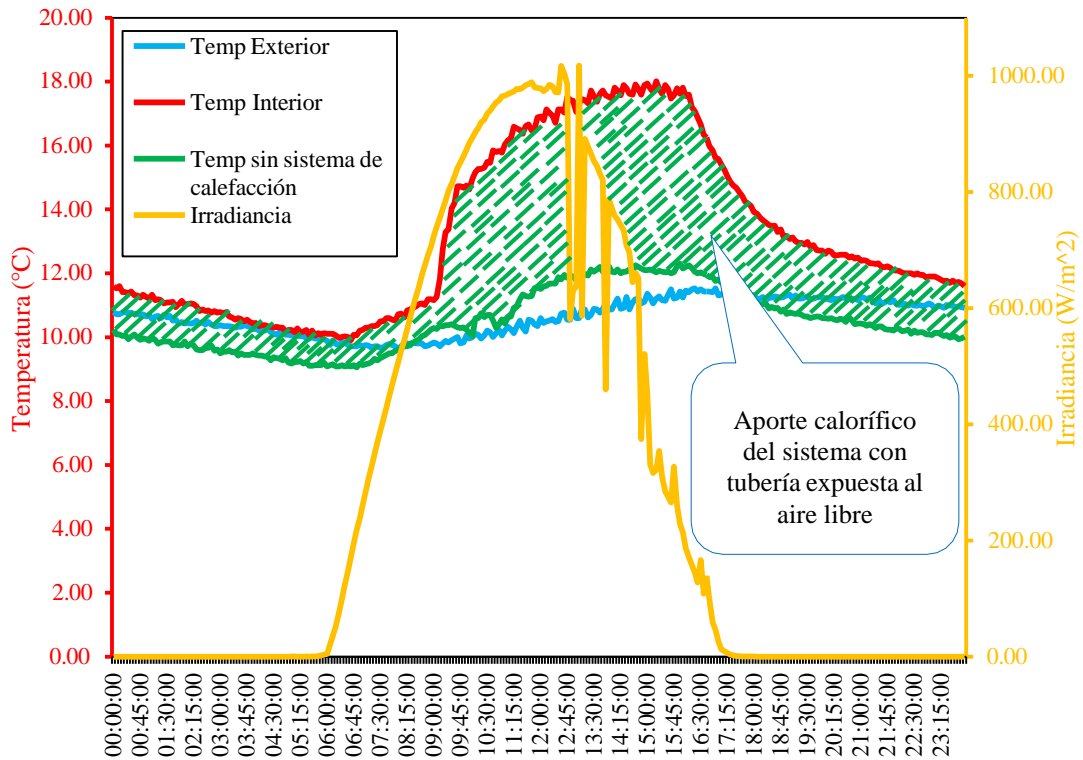


Figura 47. Aporte calorífico con tubería Pex para sistema de suelo radiante expuesta a aire libre.

En la Figura 48, se muestra el periodo de evaluación y el comportamiento promedio de todas las temperaturas registradas en el gabinete del Laboratorio de Control y Electrónica Básica de EPIER. La línea naranja representa la temperatura del líquido al salir del captador solar, la línea azul indica la temperatura de entrada al sistema de calefacción, la línea gris muestra la temperatura de salida del sistema de calefacción, la línea roja corresponde a la temperatura interior del gabinete y la línea celeste señala la temperatura exterior del ambiente del laboratorio. La irradianción solar está representada por la línea de color verde.

El registro y evaluación de las temperaturas exteriores e interiores del laboratorio muestran que la temperatura máxima exterior alcanzó los 11.50 °C a 15:40 horas, mientras que la temperatura mínima fue de 9.71 °C a las 09:10 am. Por otro lado, en el interior del gabinete, la temperatura máxima registrada fue de 18.01 °C a las 15:15, y la temperatura mínima fue de 11.16 °C a las 09:00 am.

El análisis de ingreso de fluido caloportador y retorno del mismo agua en sistema de calefacción con una electrobomba trifásica de ½ HP, realizado durante dos días de prueba con la tubería Pex expuesta al aire libre dentro del gabinete, muestra que el

máximo de transferencia de calor se registró entre las 12:20 y las 16:15. Durante este período, la temperatura interior del gabinete se mantuvo constante, como indica el comportamiento de la figura 48. Además, la temperatura del líquido al entrar y al salir coincidió a las 16:15:00 pm.

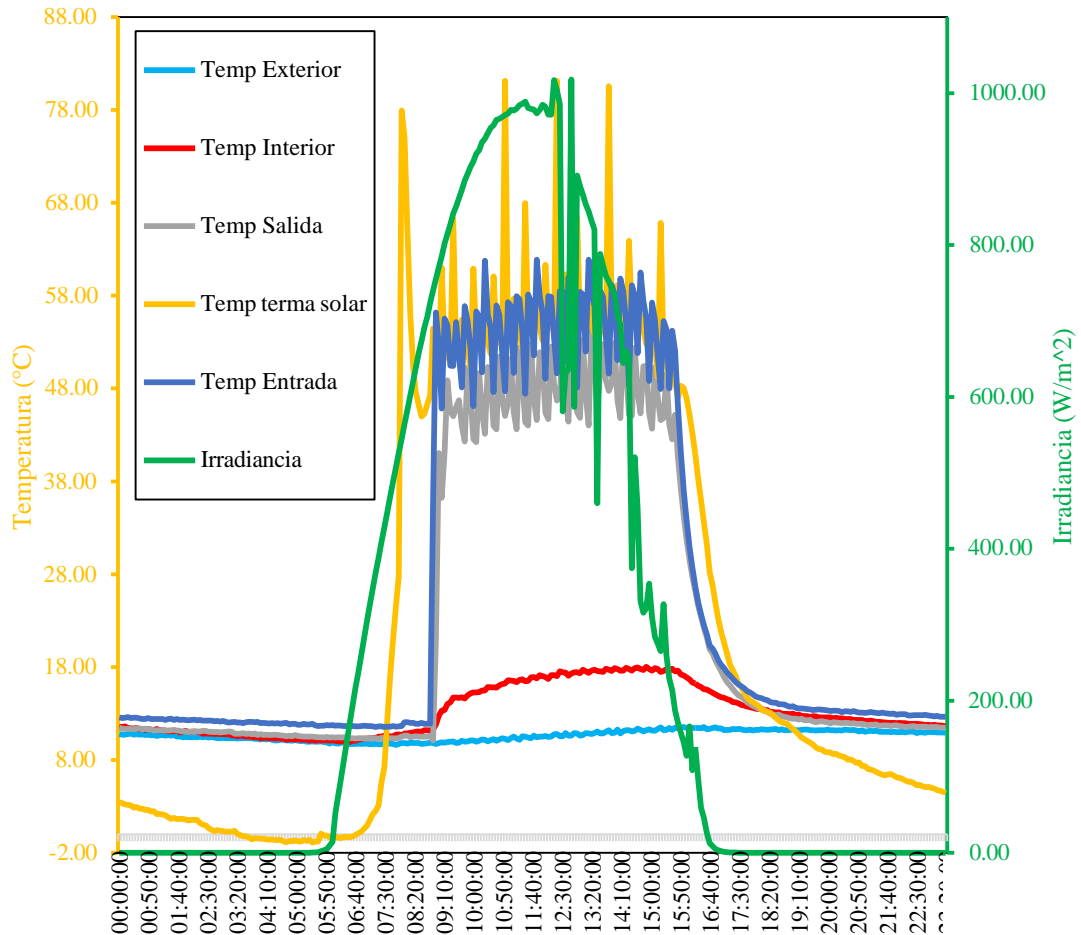


Figura 48. Comportamiento de todas las temperaturas, tubería expuesta al aire libre dentro del gabinete.

La Figura 49 ilustra el gráfico con la obtención de datos de humedad relativa dentro del gabinete, con la tubería Pex expuesta al aire libre. Esta prueba fue realizada del 15 al 16 de junio. Se observa una variación de HR% con respecto a la temperatura interior del gabinete. La humedad relativa máxima alcanzó el 39% a las 09:20 am, mientras que la mínima fue del 37% a las 09:35 am. La figura destaca que, en el gabinete expuesto al aire libre, la temperatura y la humedad relativa son inversamente proporcional a mayor temperatura, menor es la humedad relativa.

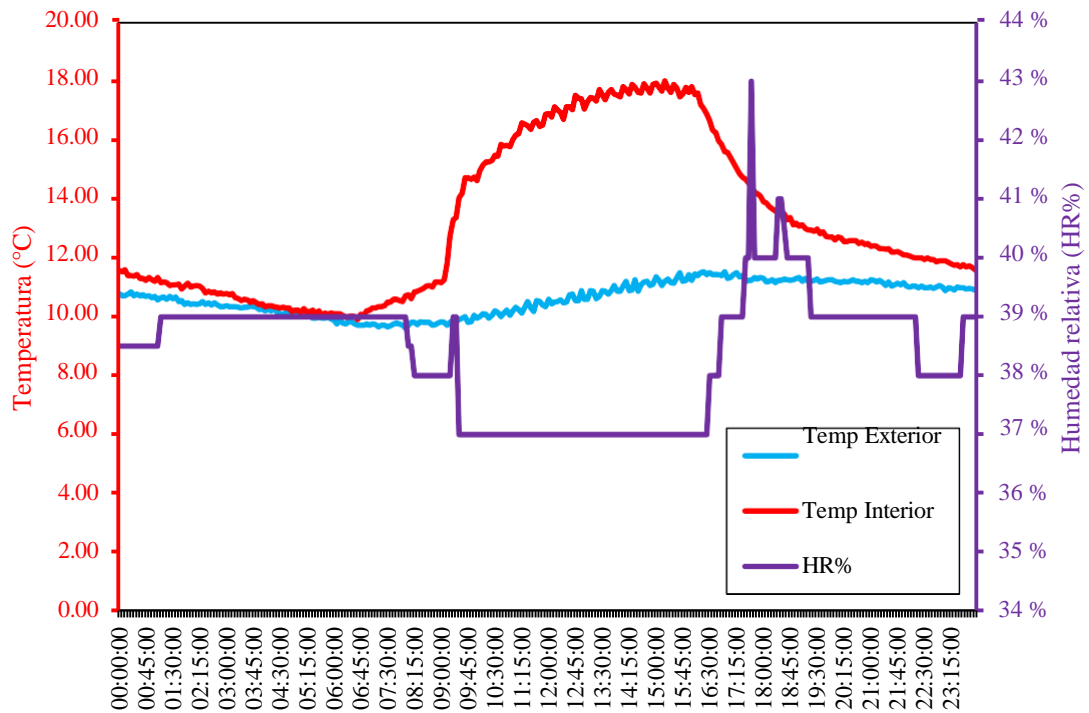


Figura 49. Registro de promedio de humedad relativa y temperatura dentro del gabinete expuesto al aire libre.

4.2.7. Comportamiento de temperatura interior sin sistema de calefacción

En la forma en que varía el calor interno del gabinete sin sistema de calefacción solar fue registrado del 11 al 12 de junio. Durante este periodo, la temperatura promedio exterior fue de 10.23 °C, mientras que la temperatura promedio interior del gabinete alcanzó los 10.50 °C, conforme a los datos presentes en la Tabla 20. Con Figura 50, muestra la variación de las temperaturas durante este período. Además, la Figura 51 muestra la evolución de la humedad relativa dentro del gabinete, basada en la recolección de datos durante 24 horas.

Tabla 20.

Promedio de temperaturas y humedad relativa sin sistema de calefacción en mes de junio.

	T. Ingreso agua (°C)	T. Retorno agua (°C)	T. Exterior gabinete (°C)	T. Interior gabinete (°C)	T. Ingreso terma solar (°C)	(HR%)	Irradiancia (W/m²)
Promedio diario	11.99	10.71	10.23	10.50	26.20	36	517.86

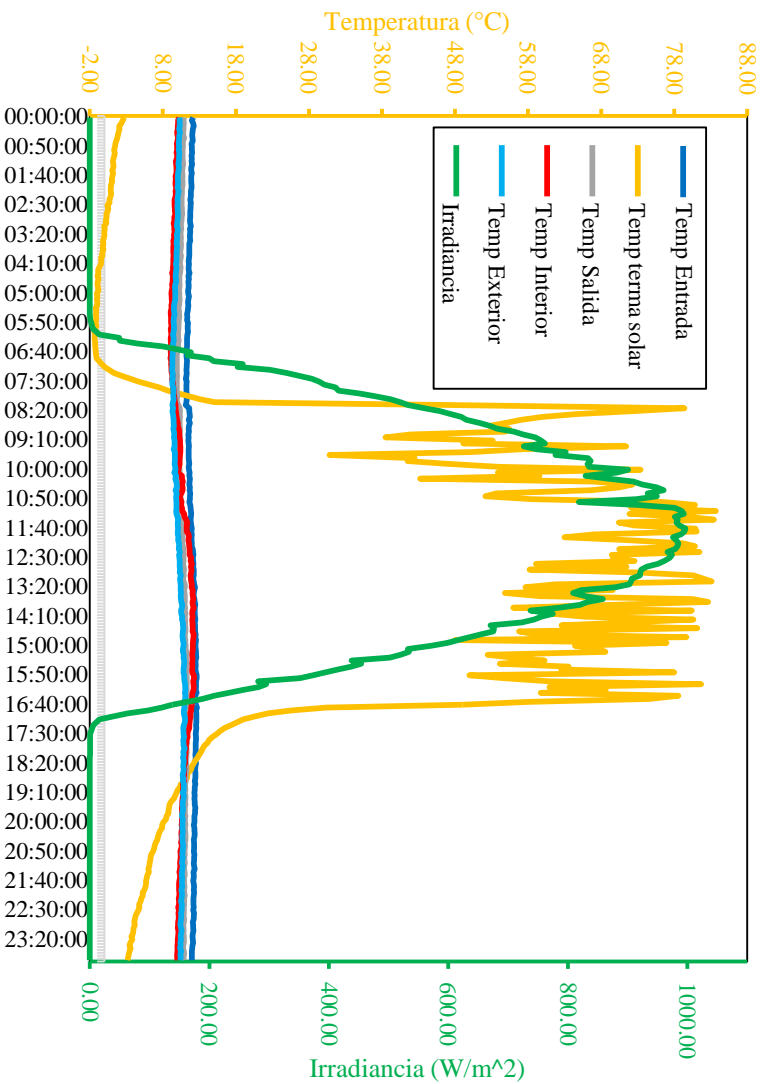


Figura 50. Funcionamiento de temperatura interior sin calefacción en el mes de junio.

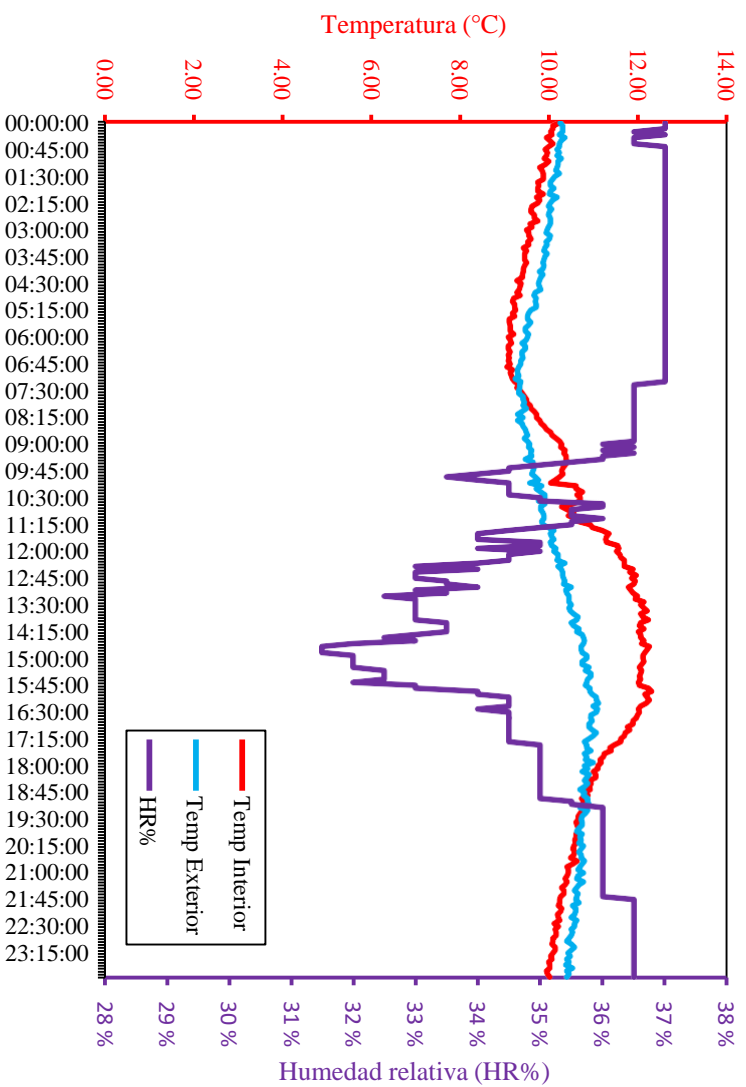


Figura 51. Registro de humedad relativa y temperatura dentro del gabinete sin calefacción solar mes de junio.

4.3. Cálculo de caudal, velocidad de flujo, flujo másico, flujo en peso en una tubería hidro de ½”

Para poder hallar lo mencionado, se utiliza una bomba periférica trifásica de ½ HP, operando a una frecuencia de 25 Hz y 1500 rpm, para forzar la circulación de agua desde el primer al tercer piso, con una altura total de 8 metros. A lo largo de la tubería hidráulica de ½”, se han calculado diversos parámetros, incluyendo el caudal, velocidad de agua caliente, flujo másico y flujo en peso. Los resultados detallados de estos cálculos se resumen en la Tabla 21. Para una explicación completa de las ecuaciones y sus resoluciones, consulte el Anexo 7.

Tabla 21.

Resumen de cálculo de caudal, velocidad de flujo, flujo másico, flujo en peso a una frecuencia de 25 Hz a 1500 rpm.

Frecuencia rpm	Caudal	Velocidad de fluido caloportador	Flujo másico	Flujo en peso
25 Hz	62.242 ml/seg	1.417 m/s	0.060 Kg/seg	0.618 N/seg

4.4. Pérdidas de calor en el gabinete de Laboratorio de Control y Electrónica Básica

En la transferencia de calor por suelo radiante dentro del gabinete, se identifican pérdidas de calidez en muro construido con ladrillos, pared de vidrio, ventanas, puertas y techo. Estas pérdidas se calculan utilizando la ecuación de Fourier, con la ley de enfriamiento de Newton. Para un detalle completo del procedimiento y los cálculos, consulte el Anexo 10.

a. Pérdida por pared de vidrio lado norte, lado este y una parte de lado sur

En esta parte de procedimiento se determinaron la transferencia de calor mediante la pared de vidrio que la resistencia de aire interior, grosor de vidrio y aire exterior teniendo así una pérdida de 1.7 W.

b. Pérdida por los muros del gabinete

La pérdida de calor mediante los muros del gabinete con resistencias térmicas de aire interior, mortero de cemento arena, ladrillo, mortero de cemento arena y aire exterior teniendo así una pérdida de 0.920 W.

c. Pérdidas mediante ventana del gabinete

Las pérdidas de calor a través de las ventanas del gabinete con resistencia térmica de aire interior, grosor de vidrio y aire exterior teniendo así una pérdida de 0.037 W.

d. Pérdida por la puerta del gabinete

La pérdida de calor mediante la puerta del gabinete con resistencia térmica de aire interior, grosor de vidrio y aire exterior teniendo así una pérdida de 0.1 W.

e. Pérdida por techo del gabinete

La pérdida de calor mediante el techo del gabinete con resistencias térmicas de aire interior, cielorraso, aire estático entre ladrillo, concreto de vaciado, madera vinílico en forma espiga y aire exterior teniendo así una pérdida de 0.833 W.

f. Pérdida total de calor en el gabinete

Las pérdidas de calor dentro del gabinete es la sumatoria total de pérdidas de pared de vidrio, muro, ventana, puerta y techo, se obtuvo un resultado de 3.6 Watts, que representa la pérdida de calor que tiene el gabinete de Laboratorio de Control y Electrónica Básica de EPIER.

4.5. Eficiencia de los colectores solares

El rendimiento térmico de un captador solar que está en relación de energía térmica útil dividido con energía solar. Se ha determinado que el captador solar presenta una eficiencia del 61.4%. Esta eficiencia se calcula teniendo en cuenta diversos factores, como las pérdidas térmicas y la absorción efectiva de la radiación solar.

Para un entendimiento detallado del proceso de cálculo y los métodos utilizados para determinar esta eficiencia, consulte el Anexo 11. En dicho anexo se incluyen las fórmulas empleadas, los datos experimentales, y el análisis que respalda.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

En el presente proyecto de investigación se implementó un sistema de calefacción solar de piso radiante con tubería Pex para poder mejorar las condiciones de confort térmico y tener mejor habitabilidad dentro del gabinete del Laboratorio de Control y Electrónica Básica de EPIER. Este sistema alcanzó un nivel mínimo de bienestar térmico, asegurando un ambiente interior más cómodo y eficiente para el laboratorio.

- Se realizó el dimensionamiento de la tubería de polietileno reticulado Pex con un diámetro exterior de 15.8 mm y un diámetro interior de 12.32 mm, instalada en un patrón espiral que es lo más idónea que otros serpentines circulando el fluido caloportador hacia la parte interior y viceversa, generando calor de forma uniforme en cualquier punto del gabinete con una longitud total de 98 metros, que abarca un área de 14 m². La transferencia de calor lograda con el sistema de tubería Pex en el piso es de 1.99 kW. En conclusión, la tubería de polietileno reticulado Pex resulta ser una opción muy ventajosa y económica para sistemas de calefacción solar por piso radiante debido a su flexibilidad, durabilidad de 40 a 50 años.

- Se implementó un algoritmo de control avanzado basado en programación de bloques y adquisición de datos, desarrollado inicialmente en una computadora y posteriormente transferido a un Controlador Lógico Programable (PLC) de fabricante Siemens con modelo SIMATIC S7-1200 mediante una conexión Ethernet TCP/IP. El PLC a su vez, está vinculado a un variador de velocidad Siemens SINAMICS V20, que regula una bomba periférica trifásica de ½ HP operando a 1500 rpm y 25 Hz. Esta bomba es responsable de forzar la circulación de agua caliente en el interior del sistema de calefacción. El sistema de control automatizado sigue un ciclo de operación que consta de 10 minutos de funcionamiento continuo seguido de una pausa de 8 minutos, operando diariamente de 09:00 a 16:00 horas. Los datos de operación, que incluyen registros de 5 sensores de temperatura PT100 y de humedad relativa, se recopilan y almacenan en la memoria interna del PLC. La adquisición de datos se realiza con un tiempo de muestreo de cinco minutos, asegurando una cobertura continua de 24 horas al día.

- Se evaluó el desempeño del sistema de calefacción solar utilizando un aislante de poliestireno expandido que es un material de aislante térmico más ventajoso y con

mayor retención calorífica que otros aislantes térmicos. La evaluación incluyó períodos de funcionamiento de la electrobomba en dos intervalos: de 11:00 a 15:00 horas y de 09:00 a 16:00 horas. Estos resultados demuestran que el aislamiento con poliestireno expandido es altamente eficaz y económico para sistemas de calefacción solar por piso radiante. El uso de este material permitió un incremento en la temperatura del gabinete de hasta 4.05 °C, 4.31 °C, 5.99 °C y 5.91 °C, lo que resulta muy beneficioso, especialmente para los laboratorios ubicados en el sur del edificio que experimentan sombra permanentemente en el año.

5.2. Recomendaciones

Basándonos con los resultados adquiridos en el presente proyecto de investigación, se sugieren las próximas recomendaciones:

- El sistema de calefacción solar con suelo radiante agregar radiadores en cada lado de las paredes del gabinete así poder transferir calor de forma más rápida.
- Desarrollar un programa de control que opere en función de que la temperatura de la salida de la terma solar sea \geq a 80 °C, y que el ciclo de funcionamiento sea continuo para el sistema de suelo radiante.
- Se sugiere llevar a cabo pruebas y estudios en las mismas ranuras utilizando tubería de cobre, ya que su conductividad térmica y capacidad de transferencia de calor son superiores a las de la tubería Pex.
- Se recomienda revisar constantemente la ejecución del programa de almacenamiento de datos, debido a los repentinos cortes de luz que existe en la zona de ubicación del proyecto. Respalدارlo con una alimentación de energía eléctrica solar aislado.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Qquelcca, E., & Aguilar, E. Y. (2022). Construcción e implementación de una vivienda rústica de la región puno para pruebas de calefacción solar por piso radiante. Juliaca.
- AENOR. (2017). Reglamento particular de la marca aenor para sistemas de calefacción por suelo radiante. Obtenido de <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/19926/1/CD-9383.pdf>
- Andrades, M. (2017). Implementación de sistema de calefacción en seco de losa de residencias urbanas en las zona sur de Chile. Chile.
- Aquino, E. R. (2018). Determinación de la energía solar para el diseño bioclimático de viviendas en la ciudad de Juliaca región Puno. Juliaca-Puno-Perú.
- Berrio, W. R., & Hanco, F. (2017). "Diseño de un prototipo de calefacción por m2 de superficie de piso radiante utilizado pcms aprovechando la energía solar térmica en la ciudad de Puno". Puno - Perú.
- Caceres, J. A. (2014). Análisis de un sistema de autoconsumo híbrido fotovoltaico. Madrid.
- Carribero, L. (2010). Diseño de una instalación solar térmica para la producción de agua caliente sanitaria y calefacción por suelo radiante en una vivienda. España.
- Castro, P. R. (2018). Evaluación y simulación de un piso radiante en el albergue del centro poblado de imata ubicado a 4500 msnm en el departamento de arequipa. Arequipa - Perú.
- Diaz, J. W., & Tinta, F. (2017). Diseño y construcción de un modulo experimental de suelo radiante a energia solar. Cusco.
- Disai. (2023). Transmisor de temperatura. Obtenido de <https://www.disai.net/producto/transmisor-de-temperatura-wika/>
- Energía Alternativa. (11 de 06 de 2024). Colectores de tubo de vacío Heat Pipe. Obtenido de Colectores de tubo de vacío Heat Pipe: <https://www.alternative-energy-tutorials.com/solar-hot-water/evacuated-tube-collector.html>
- Estudiez, B. (2022). PD3060-PT100 Lector de 6 canales para sensores de temperatura PT100, conexión RS-485 (ModBus RTU). Obtenido de <http://slicetex.com/modules/temperature/pd3060-pt100/docs/PD3060-PT100-DS.pdf>

- Feliciano, R. A. (2019). Sistemas fotovoltaicos con módulos bifaciales: estudio comparativo de su rendimiento (PR) en distintas condiciones de irradiancia y temperatura. España.
- Gallardo, P. (2019). Ficha técnica de producto tubo pex al pex.
- Google, E. (2024). Obtenido de <https://www.google.com/intl/es/earth/>
- Ilutop . (30 de Noviembre de 2017). Obtenido de Ilutop: <https://www.ilutop.com/blog/es/calefaccion-suelo-radiante-agua/>
- Kobold. (2019). Catálogo general de transmisor de temperatura. Obtenido de https://web.koboldperu.com/2022/02/p_9184_Catalogo-Kobold-Nuevo-2019.pdf
- Méndez, J. M., & Cuervo, R. (2007). Energía solar fotovoltaica. FC EDITORIAL.
- Mott, R. L. (1996). Mecánica de fluidos aplicada. México: Stephen Helba.
- Olivera, D. A. (2011). Diseño energético de un suelo radiante para una sala de 12 m² ubicada a 4000 msnm en langui-cuzco. Lima.
- Palomo, M. (2017). Aislantes térmicos criterios de selección por requisitos energéticos. Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid.
- Pedrollo. (2020). Catálogo general de bombas periféricas . Obtenido de <https://www.casadelriegoecuador.com/wp-content/uploads/2020/09/CATALOGO-GENERAL-PEDROLLO-60Hz.pdf>
- Pineda, J. G. (2014). Modificaciòn, evaluaciòn y anàlisis de eficiencia del colector solar de tubos al vacio comercial. Universidad Tecnològica de Pereira.
- Pizarro, H., Ramos, J. M., Aquino, E. R., Sarmiento , V., & Beltrán, N. J. (2019). Implementaciòn de un sistema de calefacciòn solar para un aula universitaria de la Universidad Nacional de Juliaca. ÑAWPARISUN, 1-6.
- Quiñonez, J. C. (2023). "Diseño de sistema termosolar de torre con espejos refractarios para calentar agua para un local de duchas calientes en la provincia de san Roma -Juliaca. Puno - Perù.
- Quispe, S. (2021). "Anàlisis comparativo de la eficiencia tèrmica en termas solares de tres colores de tubos de vacio, para dos àngulos de inclinaciòn de 25° y 35° para la ciudad de Juliaca". Juliaca.
- Rodea, O. E. (2012). Calefacciòn hidrònico solar por piso radiante una alternativa eficiente para climatizar un espacio. México.

- Saavedra, J. P. (2019). "Diseño, implementación y prueba de un sistema para el cálculo de la eficiencia térmica de un colector solar de placa plana para el centro de energías renovables de la escuela ing. electrónica y telecomunicaciones - UNP PERÚ.2019". Piura - Perú.
- Sánchez, J. A. (2015). El estrés térmico laboral: ¿Un nuevo riesgo con incidencia creciente? Revista Colombiana de Salud Ocupacional, pág. 06.
- SENAMHI. (2017). Senamhi estación meteorológica. Recuperado el 5 de 03 de 2024
- Senamhi. (2020). Juliaca: Pronóstico del tiempo para Juliaca (Puno).
- Siemens. (2020). Especificaciones generales del variador de frecuencia SINAMICS V20 . Obtenido de https://automaq.pe/w_files/otros/producto/producto_6sl3210-5bb21-5uv0_20200623193724.pdf
- Siemens. (2024). SIMATIC S7-1200, CPU 1212C, compacta, AC/DC/relé. Obtenido de [file:///C:/Users/usuariopc/Downloads/6ES72121BE400XB0_datasheet_es%20\(4\).pdf](file:///C:/Users/usuariopc/Downloads/6ES72121BE400XB0_datasheet_es%20(4).pdf)
- Silva, S. A., & Vásquez, A. S. (2023). Uso de la energía solar térmica para obtención de agua caliente en centro turístico rural en Piura . Piura.
- Sundolitt. (2016). Poliestireno expandido. Recuperado el 02 de 07 de 2024, de <https://www.sundolitt.no/landing/global>
- Torrel, E. J. (2023). Uso de la energía solar para climatización, por suelo radiante, en vivienda rural de Cajamarca. Piura.
- Uponor. (17 de 06 de 2017). Manual Técnico de climatización invisible por suelo radiante. Recuperado el 2024, de Manual Técnico de climatización invisible por suelo radiante: <https://www.solarcondicionado.pt/files/catalogs/Cat%C3%A1logo-Piso-Radiante-Uponor-2017.pdf> Ma
- Vargas, C. L. (2017). Metodo Teórico experimental para la evaluación de colectores solares de placa plana en viviendas unifamiliares en la ciudad de guayaquil. Latacunga - Ecuador.
- Vilca, D. A., & Roque, H. B. (2016). "Diseño y construcción de un módulo de suelo radiante utilizando gas natural en la ciudad de Juliaca". Juliaca - Perú.

Villarruel, R. A. (2010). "Anteproyecto de calefacción por piso radiante para salón de eventos de centro de ferias parque saval". Valdivia - Chile.

Yuquilema, R. X., & Rodríguez, J. S. (2019). "Implementación de un módulo de sincronización y secuencia de arranque de dos motores trifásicos jaula de ardilla comandados por relés programables y variadores de frecuencia". Ecuador .

ANEXOS

Anexo 1. Especificaciones técnicas de sistema de calefacción solar.

A continuación, veremos en la Figura 52, las especificaciones técnicas de bomba Pedrollo. La principal característica de las bombas periféricas pues tiene mucha presión, eso nos indica que se puede llevar agua a mayor distancia, pero tiene menor caudal esto nos indica que se puede llenar agua en más tiempo de lo debido. Por esos motivos decidimos elegir esta bomba periférica.

CAMPO DE PRESTACIONES

- Caudal hasta **90 l/min** (5.4 m³/h)
- Altura manométrica hasta **100 m**

LÍMITES DE USO

- Altura de aspiración manométrica hasta **8 m**
- Temperatura del líquido de **-10 °C** hasta **+60 °C**
- Temperatura ambiente hasta **+40 °C** (**+50 °C** para PK 60)
- Presión máxima en el cuerpo de la bomba:
 - **6 bar** para PK 60, PK 60-MD, PK 65,
 - **7 bar** para PK 70, PK 80
 - **10 bar** para PK 90, PK 100, PK 200, PK 300
- Funcionamiento continuo **S1**

EJECUCIÓN Y NORMAS DE SEGURIDAD

EN 60335-1
IEC 60335-1
CEI 61-150

EN 60034-1
IEC 60034-1
CEI 2-3



CERTIFICACIONES

Empresa con sistema de gestión certificado DNV
ISO 9001: CALIDAD

Figura 52. Ficha técnica de la bomba periférica (Pedrollo, 2020).

Características:

- Rango de voltaje de alimentación: 85 a 264VAC
- Consumo (valor nominal): 80 mA con 120 VAC; 40 mA con 240VAC
- Memoria de trabajo integrada de 75 kbyte
- Memoria de carga integrada: 2 Mbyte
- Número de entradas digitales: 8
- Número de salidas digitales: 6, relé
- Número de entradas analógicas: 2
- Sin salidas analógicas
- Interfaz PROFINET (estándar abierto de Ethernet)
- Funciones integradas de contadores, alarmas, regulador PID
- Dimensiones: 100x90x75mm

Figura 53. Especificaciones técnicas Controlador Lógico Programable (Siemens, 2024).

Transmisor de temperatura (p. montaje en cabezal, rail o pared)



- Rango:
-200 ... +250 °C ... -50 ... +1768 °C
- Entrada: RTD, TC, Ω , mV
- Salida analógica



Figura 54. Ficha técnica de transmisor de temperatura (Kobold, 2019).

Anexo 2. Diseño de calefacción con la norma española UNE-EN 12831 y viabilidad de ecuaciones utilizadas para el presente proyecto de investigación.

Pérdidas térmicas	fk	Observaciones
Directamente al exterior	1,00	Puentes térmicos aislados
	1,40	Puentes térmicos sin aislamiento
	1,00	Puertas y ventanas
Hacia un espacio no calentado	0,80	Puentes térmicos aislados
	1,12	Puentes térmicos sin aislamiento
Hacia el terreno	0,30	Puentes térmicos aislados
	0,42	Puentes térmicos sin aislamiento
Hacia el espacio del tejado	0,90	Puentes térmicos aislados
	1,26	Puentes térmicos sin aislamiento
Suelo suspendido	0,90	Puentes térmicos aislados
	1,26	Puentes térmicos sin aislamiento
Hacia un edificio adyacente	0,50	Puentes térmicos aislados
	0,70	Puentes térmicos sin aislamiento
Hacia un edificio colectivo adyacente	0,30	Puentes térmicos aislados
	0,42	Puentes térmicos sin aislamiento

Figura 55. Factor de corrección de la temperatura f_k de la UNE-EN 12831 (AENOR, 2017).

B'	R_a	D = 0.5 m					D = 1.0 m					D ≥ 1.5 m				
		R_a (m ² ·K/ W)					R_a (m ² ·K/ W)					R_a (m ² ·K/ W)				
	0,00	0,50	1,00	1,50	2,00	2,50	0,50	1,00	1,50	2,00	2,50	0,50	1,00	1,50	2,00	2,50
1	2,35	1,57	1,30	1,16	1,07	1,01	1,39	1,01	0,80	0,66	0,57	-	-	-	-	-
2	1,56	1,17	1,04	0,97	0,92	0,89	1,08	0,89	0,79	0,72	0,67	1,04	0,83	0,70	0,61	0,55
3	1,20	0,94	0,85	0,80	0,78	0,76	0,88	0,76	0,69	0,64	0,61	0,85	0,71	0,63	0,57	0,53
4	0,99	0,79	0,73	0,69	0,67	0,65	0,75	0,65	0,60	0,57	0,54	0,73	0,62	0,56	0,51	0,48
5	0,85	0,69	0,64	0,61	0,59	0,58	0,65	0,58	0,54	0,51	0,49	0,64	0,55	0,50	0,47	0,44
6	0,74	0,61	0,57	0,54	0,53	0,52	0,58	0,52	0,48	0,46	0,44	0,57	0,50	0,45	0,43	0,41
7	0,66	0,55	0,51	0,49	0,48	0,47	0,53	0,47	0,44	0,42	0,41	0,51	0,45	0,42	0,39	0,37
8	0,60	0,50	0,47	0,45	0,44	0,43	0,48	0,43	0,41	0,39	0,38	0,47	0,42	0,38	0,36	0,35
9	0,55	0,46	0,43	0,42	0,41	0,40	0,44	0,40	0,38	0,36	0,35	0,43	0,39	0,36	0,34	0,33
10	0,51	0,43	0,40	0,39	0,38	0,37	0,41	0,37	0,35	0,34	0,33	0,40	0,36	0,34	0,32	0,31
12	0,44	0,38	0,36	0,34	0,34	0,33	0,36	0,33	0,31	0,30	0,29	0,36	0,32	0,30	0,28	0,27
14	0,39	0,34	0,32	0,31	0,30	0,30	0,32	0,30	0,28	0,27	0,27	0,32	0,29	0,27	0,26	0,25
16	0,35	0,31	0,29	0,28	0,27	0,27	0,29	0,27	0,26	0,25	0,24	0,29	0,26	0,25	0,24	0,23
18	0,32	0,28	0,27	0,26	0,25	0,25	0,27	0,25	0,24	0,23	0,22	0,27	0,24	0,23	0,22	0,21
≥20	0,30	0,26	0,25	0,24	0,23	0,23	0,25	0,23	0,22	0,21	0,21	0,25	0,22	0,21	0,20	0,20

Figura 56. Transferencia térmica U , el documento DA DB-HE/1 (AENOR, 2017).

Tipo de recinto	n_{min} h ⁻¹
Recinto habitable (defecto)	0,5
Cocina o baño, con ventana	1,5
Despacho	1,0
Sala de reuniones, aula	2,0

Figura 57. Número de renovación mínima n_{min} del aire exterior (AENOR, 2017).

Tiempo de recalentamiento en horas	f_{RH} W/m ²								
	Caída de temperatura interior asumida durante la desconexión ^a								
	2 K			3 K			4 K		
	masa del edificio			masa del edificio			masa del edificio		
	baja	media	alta	baja	media	alta	baja	media	alta
1	18	23	25	27	30	27	36	27	31
2	9	16	22	18	20	23	22	24	25
3	6	13	18	11	16	18	18	18	18
4	4	11	16	6	13	16	11	16	16

^a En edificios estancos y bien aislados, no es frecuente asumir una caída de la temperatura interior mayor de 2 K a 3 K durante la parada nocturna. Dependerá de las condiciones climáticas y de la masa térmica del edificio.

Figura 58. Factor de recalentamiento la norma UNE-EN 12831, para edificios no residenciales (AENOR, 2017).

a. Viabilidad del sistema

Para la viabilidad del sistema de calefacción según (Andrades, 2017) tienen que cumplir que el flujo máximo de calor por unidad de área sea mayor que cargas térmicas de diseño. De lo cual calcularemos el flujo máximo de calor.

b. Carga máxima de calor

$$q_{max} (W/m^2) = 8.92(T_{suelo} - T_{int})^{1.1} \quad (15)$$

Donde:

Temperatura del suelo (29 °C límite máximo permisible según la norma DIN EN (1264).

Temperatura interior del gabinete.

Remplazando en la ecuación en la ecuación 15 tenemos la carga máxima.

$$q_{max} = 8.92(29 - 20.14)^{1.1} = 98.297 W/m^2$$

Anexo 3. Proceso de construcción y adecuación del cubículo e instalación de piso radiante. Primeramente, se realizó las respectivas mediciones, para su construcción y adecuación del cubículo.



Figura 59. Medición del cubículo.

En seguida se empezó la colocación de vidrio durante 3 días para formar una pared de vidrio con las medidas diseñadas.



Figura 60. Elevación de pared de vidrio para el gabinete.

El trazado del serpentín será de forma espiral y será instalado en un sobrepiso del actual, es decir tendrá una elevación de 5 cm por los componentes de cintas, aislamiento que tendrán sus respectivas ranuras de fijación con una separación de 10 cm y una profundidad de 2.5 cm por donde encajara perfectamente la instalación de tubería PEX.



Figura 61. Trazado sobrepiso actual del gabinete.

El piso radiante se instaló en un sobrepiso del actual, es decir existirá unos 5 cm de levantamiento por los componentes, tubería PEX, aislamiento de poliestireno expandido y piso laminado de madera de forma similar al mostrado en la Figura 62.

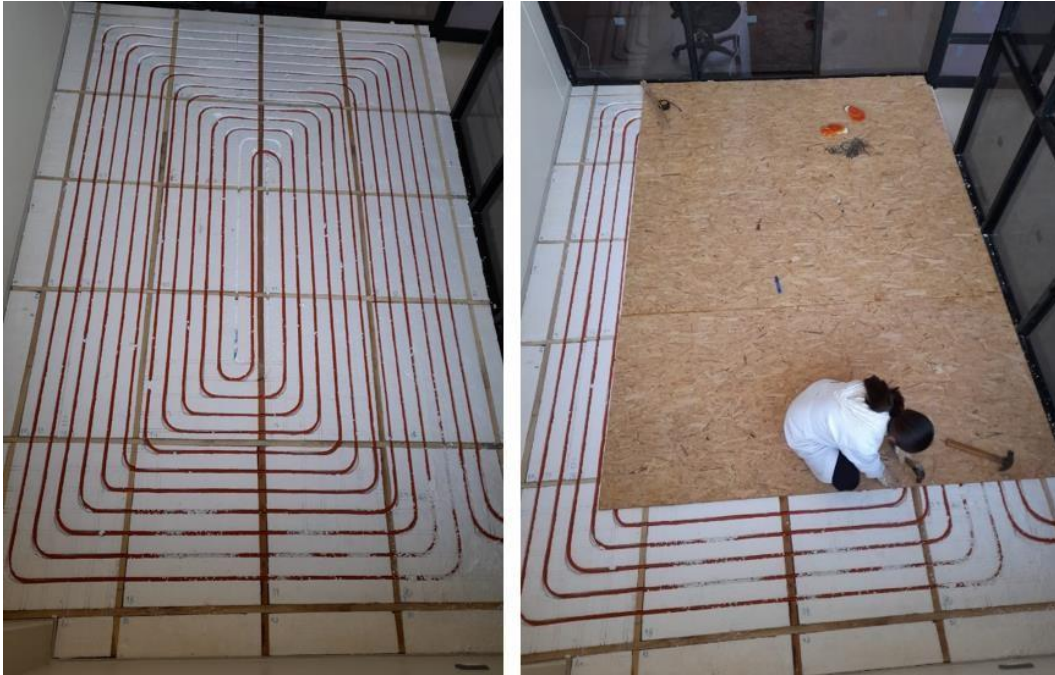


Figura 62. Detalle de la instalación del piso radiante debajo de piso de madera.

Anexo 4. Instalación del tablero de control con sus respectivos componentes.

En esta parte se prosigue la adecuación de los equipos en el gabinete de tablero de control.



Figura 63. Adecuación de equipos de control.

En seguida se verifica la continuidad con un multímetro, para verificar que la conexión fue correcta, para su posterior funcionamiento de tablero de control.



Figura 64. Prueba de continuidad, para su posterior puesto en marcha.

Por último, tenemos la instalación de 5 sensores de temperatura que fueron instalados estratégicamente y está listo para el funcionamiento del tablero de control.



Figura 65. Armado y cableado del sistema de control.

Anexo 5. Programación en Tía Portal v17 para el sistema de control.

La programación se realizó en software Tía Portal v17, Tenemos el diagrama de bloques de 5 sensores de temperatura que tienen entradas analógicas de 4 a 20 mA que han sido calibrados de forma independiente los sensores de temperatura para su posterior recolección de datos fiables como se visualiza en la Figura 66.

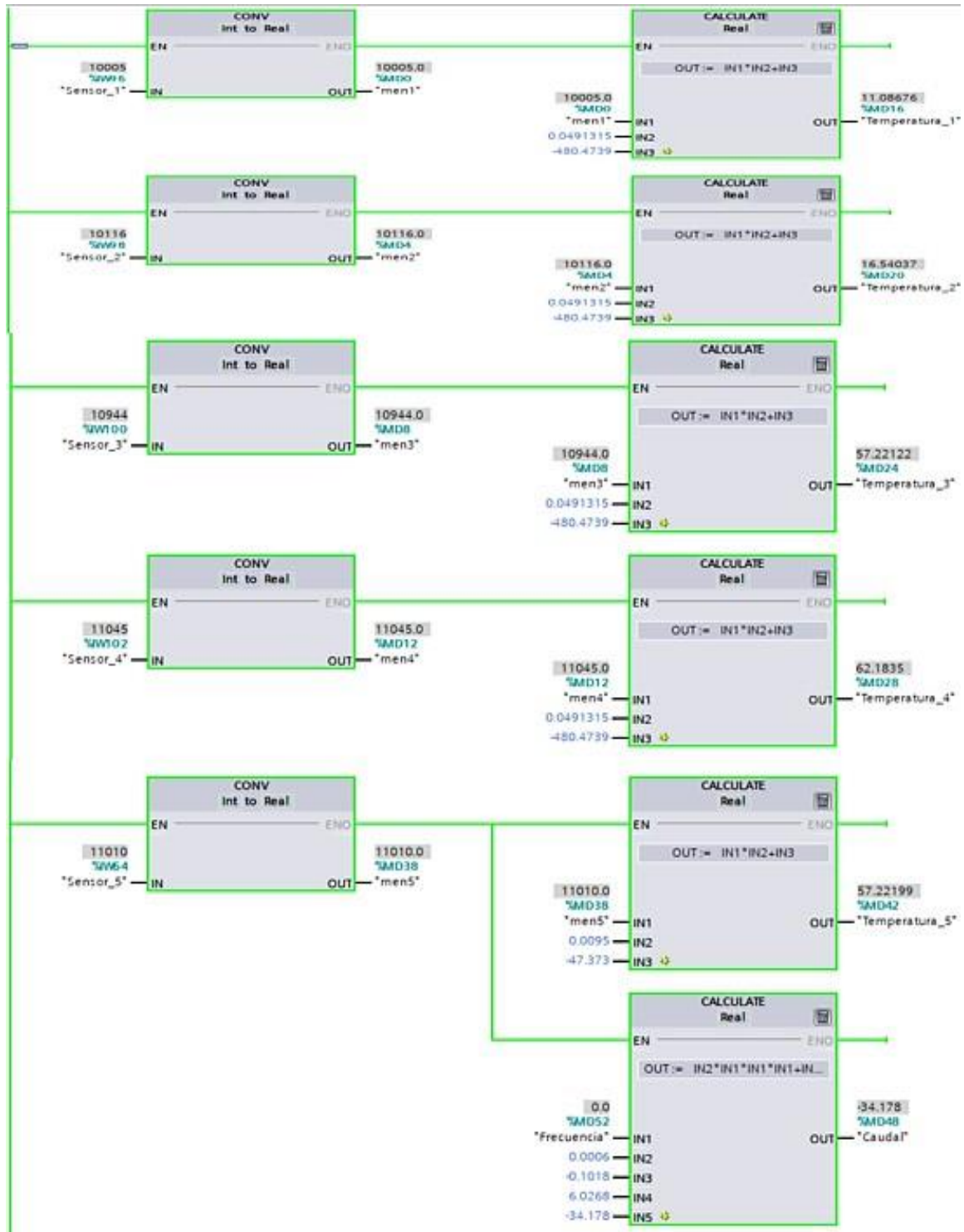


Figura 66. Programación de entradas analógicas de cinco sensores de temperatura.

En la Figura 67 tenemos la programación de la segunda parte donde el funcionamiento de la bomba periférica de ½ HP que ordena el PLC y la parada que es de 8 minutos, el recirculamiento de fluido caloportador es de 10 minutos cumpliendo esos minutos se reinicia el ciclo de funcionamiento hasta la hora establecido por los testistas.

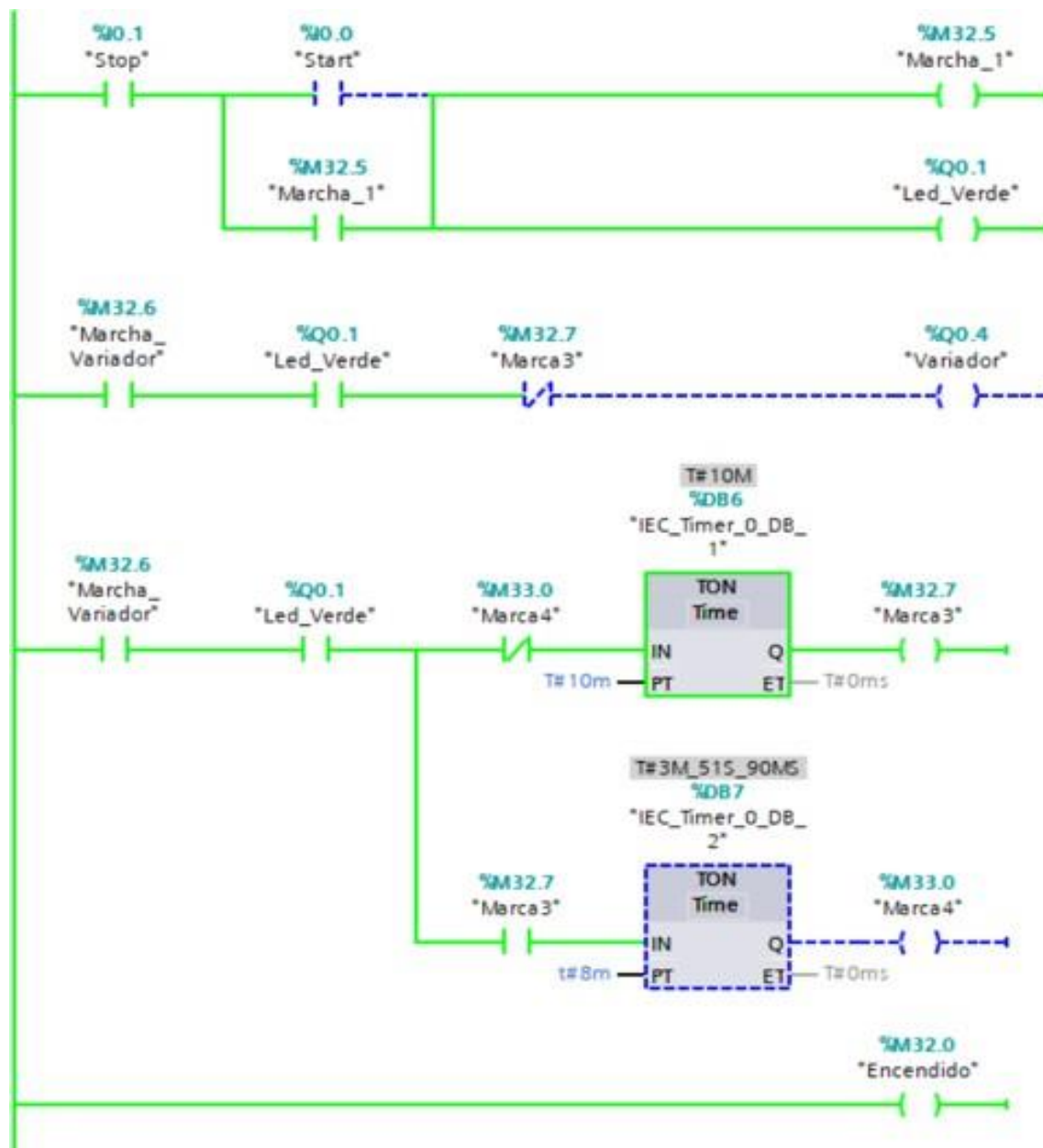


Figura 67. Horas de funcionamiento de circulación de fluido caloportador y parada.

En la tercera Figura 68 de programación se visualiza la recolección de datos cada 5 minutos durante las 24 horas del día, también podemos observar el funcionamiento de la bomba periférica que tiene mucha presión y menor caudal empieza a funcionar a partir de las 09:00:00 am a 16:00:00 pm.

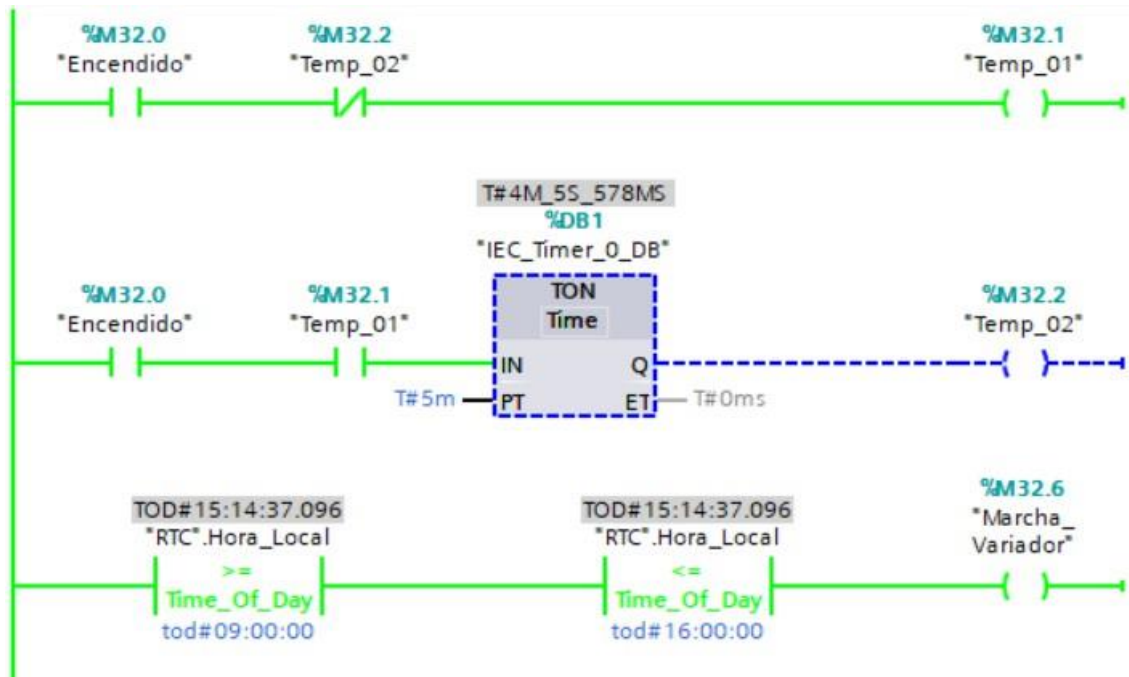


Figura 68. Horas de trabajo del sistema de calefacción solar y recolección de datos.

En la Figura 69 se observa la recolección de datos cada 5 minutos durante las 24 horas de los cinco sensores de temperatura que fueron ubicados por los tesisas estratégicamente.

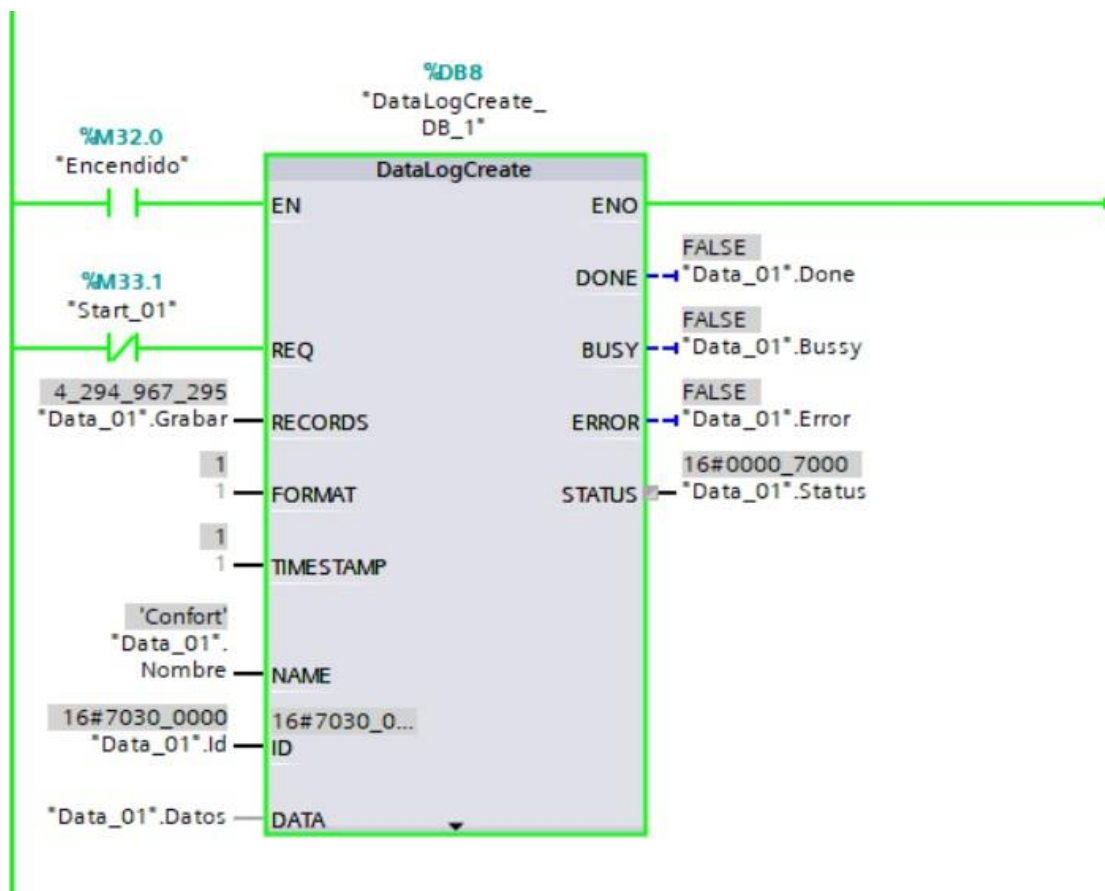


Figura 69. Programa de adquisición de datos.

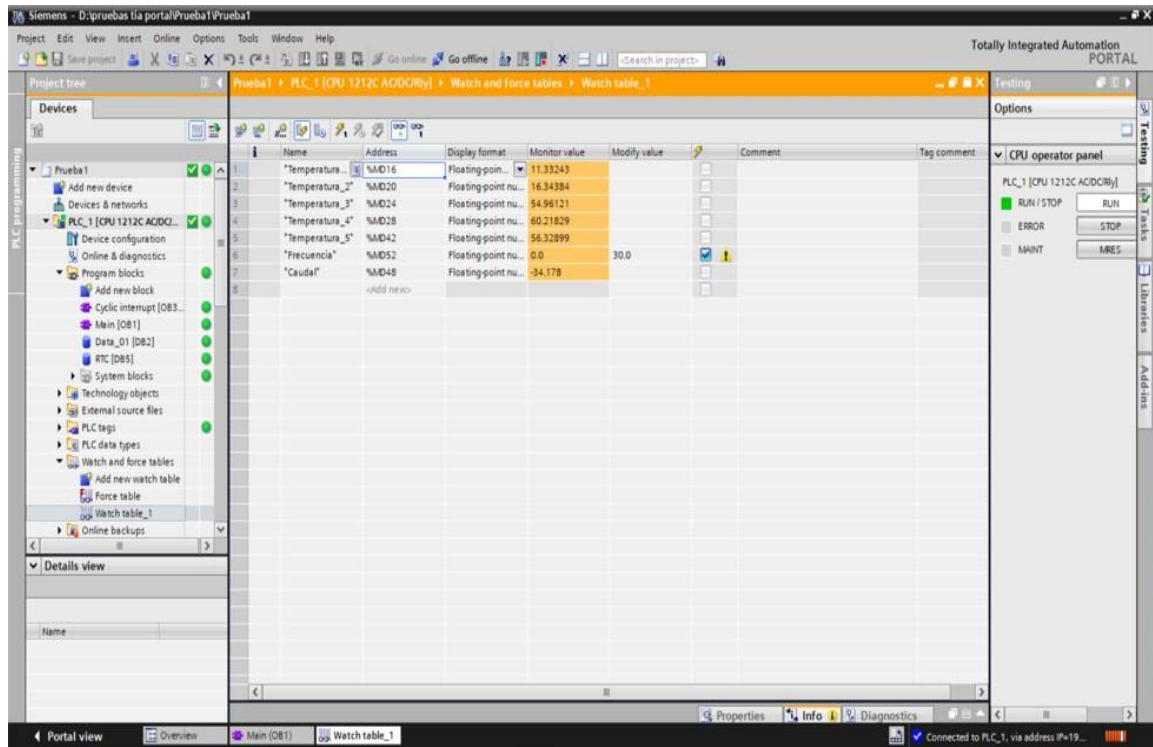


Figura 70. Visualización de datos en tiempo real.

Anexo 6. Sistema de programación de Arduino Uno para recolección de datos cada un minuto de humedad relativa dentro del gabinete durante las 24 horas.

```

PROYECTO_DE_TESIS_DE_PISO_RADIANTE_HR_ $
//=====TESISTAS=====
//===== HEMELIN ARASELI BENAVENTE SALAZAR =====
//===== NESTOR NAVIEL CAPACOILA GRANDE =====
//-----Incluir Librerias
#include "RTClib.h"

#include "DHT.h"

#include <SD.h>
#include <SPI.h>
//-----

RTC_DS1307 rtc; //--> Inicializar RTC_DS3231

#define DHTPIN 2 //--> Pin Arduino conectado a la salida de pin DHT22
#define DHTTYPE DHT22 //--> El tipo de sensor DHT utilizado
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);

File myFile; //--> Inicialización de archivos
const int chipSelect = 10; //--> Pin de selección

unsigned long previousMillis = 0; //--> se almacenará la última vez que se actualizó
const long interval = 1000; //--> intervalo (1000 = 1 segundo)

unsigned long previousMillis = 0; //--> se almacenará la última vez que se actualizó
const long interval = 1000; //--> intervalo (1000 = 1 segundo)

void setup() {
  // ponga su código de configuración aquí, para ejecutarlo una vez:
  Serial.begin(9600);

  Serial.println("Inicializando RTC DS3231...");
  delay(100);

  //-----Inicializando RTC DS3231
  if (! rtc.begin()) {
    Serial.println("No se pudo encontrar RTC");
    while (1);
  }
  //-----

  Serial.println("Inicializando exitosamente el RTC DS3231");
  Serial.println();

  Serial.println("Comenzando a ejecutar RTC DS3231...");
  delay(100);

  //-----Comprueba si el RTC DS3231 se puede ejecutar o no

```

```

//-----Comprueba si el RTC DS3231 se puede ejecutar o no
if (! rtc.isrunning()) {
  Serial.println("RTC NO está funcionando!");
  // rtc.adjust(DateTime(2024, 3, 18, 19, 32, 00));
}
//-----

//-----Configure la fecha y la hora en el RTC DS3231
//Serial.println("Setting the Date and Time..");
//rtc.adjust(DateTime(F(__DATE__), F(__TIME__))); //-> Utilice esta línea de código si no funciona en "if (! rtc.isrunning())"
//rtc.adjust(DateTime(2024, 4, 18, 19, 32, 00));
//delay(100);
//Serial.println("Successfully Setting Date and Time");
//Serial.println();
//-----

Serial.println("Ejecutando exitosamente RTC DS3231");
delay(100);

//-----Puesta en marcha del sensor DHT22
Serial.println("Start DHT22");
dht.begin();
delay(100);
Serial.println();

```

Anexo 7. Ecuaciones de mecánica de fluidos utilizados en el presente proyecto.

a. Cálculo de caudal de una bomba periférica de ½” HP.

Para poder hallar el caudal se utilizó la ecuación 10 donde se realizó las pruebas correspondientes, primeramente debemos de tener un recipiente que tenga un marcaje de litros o mililitros así poder referenciamos de una manera muy rápida, en seguida se tiene que programar progresivamente la frecuencia llegando a su máxima capacidad de revoluciones por minuto (rpm) en el variador de velocidad, por último se toma los datos como se visualiza en la Tabla 22 en la Figura 71 se muestra la ecuación polinómica de orden 3 que más se ajusta a las pruebas realizadas. Donde se precisa en el eje de las abscisas tiene un aumento frecuencia (Hz) y en el eje de las ordenadas tiene un aumento de caudal.

Tabla 22.

Pruebas realizadas para hallar el caudal.

Frecuencia rpm	Volumen	Tiempo (Segundos)	Caudal
20 Hz	625ml	12.38 Seg	50.48 ml/seg
30 Hz	625ml	8.69 Seg	71.88 ml/seg
40 Hz	625ml	7.53 Seg	82.94 ml/seg
50 Hz	625ml	6.96 Seg	89.79 ml/seg
60 Hz	625ml	6.67 Seg	93.70 ml/seg

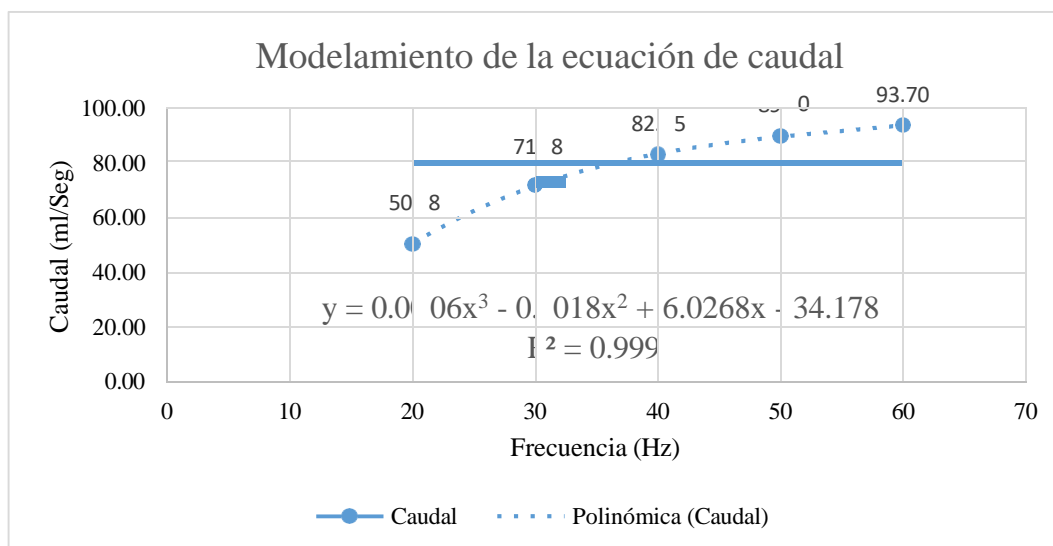


Figura 71. Ecuación polinómica de orden tres, para hallar caudal a diferentes frecuencias (Elaboración propia).

Como respuesta tenemos un alto valor de confianza del coeficiente de determinación (R^2) y la ecuación empírica. Lo cual se obtuvo el siguiente valor.

$$R^2 = 0.9997$$

$$y = 0.0006x^3 - 0.1018x^2 + 6.0268x - 34.178$$

De acuerdo a la ecuación obtenida, la bomba periférica trabaja a una frecuencia de 25 Hz a 1500 rpm, reemplazando en la ecuación se obtiene un caudal de 62.242 ml/seg.

$$y = 0.0006x^3 - 0.1018x^2 + 6.0268x - 34.178$$

$$y = 0.0006(25)^3 - 0.1018(25)^2 + 6.0268(25) - 34.178$$

$$y = 62.242 \text{ ml/seg}$$

b. Cálculo de velocidad del fluido caloportador

Para poder hallar la velocidad de fluido caloportador se visualiza los datos en la Tabla 23 que recorre el flujo en una tubería hidro de ½” con diámetro interior de 0.00725 m, se utilizó las siguientes ecuaciones 11 y 14. En la Figura 72 se muestra la ecuación polinómica de grado 3 que más se ajusta a la gráfica. Como se precisa en el eje horizontal tenemos el aumento periódicamente de revoluciones por minuto (RPM), en el eje vertical tenemos la velocidad de fluido caloportador.

Tabla 23.

Hallando la velocidad de fluido caloportador dentro de tubería hidro ½”.

Frecuencia rpm	Área transversal de tubería hidro de ½”	Caudal	Velocidad de fluido caloportador
20 Hz	$4.123 \times 10^{-5} \text{ m}^2$	50.48 ml/seg	1.222 m/s
30 Hz	$4.123 \times 10^{-5} \text{ m}^2$	71.88 ml/seg	1.741 m/s
40 Hz	$4.123 \times 10^{-5} \text{ m}^2$	82.94 ml/seg	2.009 m/s
50 Hz	$4.123 \times 10^{-5} \text{ m}^2$	89.79 ml/seg	2.175 m/s
60 Hz	$4.123 \times 10^{-5} \text{ m}^2$	93.70 ml/seg	2.269 m/s

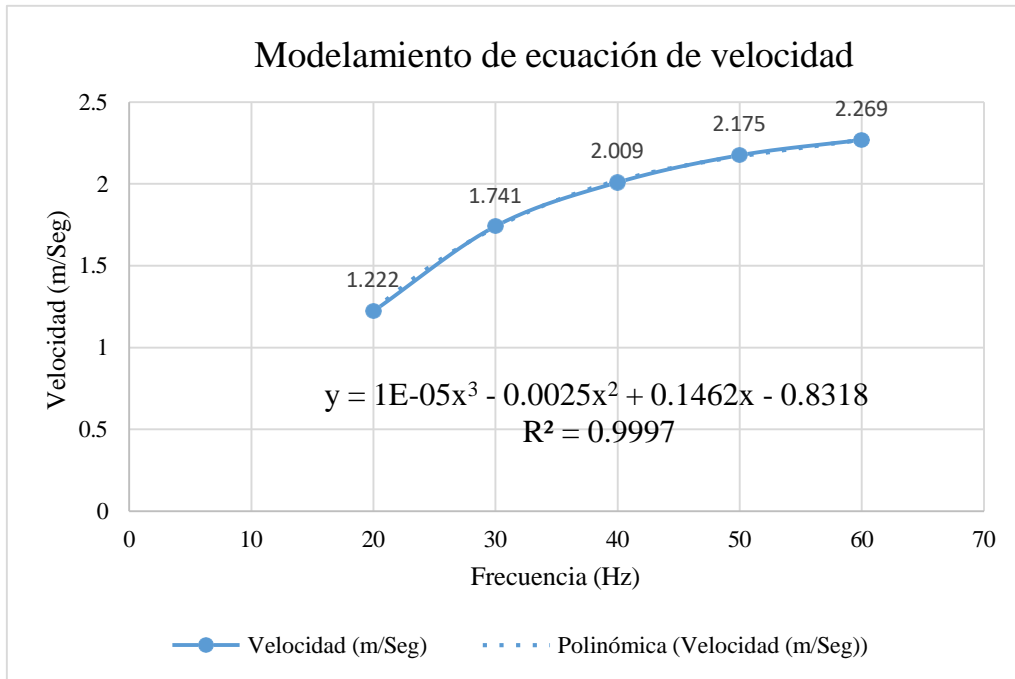


Figura 72. Ecuación polinómica de orden tres, para hallar velocidad a diferentes frecuencias (Elaboración propia).

Como respuesta tenemos un alto valor de confianza que más se asemeja a la unidad el coeficiente de determinación (R^2) y la ecuación empírica. Lo cual se obtuvo el siguiente valor.

$$R^2 = 0.9997$$

$$y = 1E - 05x^3 - 0.0025x^2 + 0.1462x - 0.8318$$

De acuerdo a la ecuación obtenida, la bomba periférica trabaja a una frecuencia de 25 Hz a 1500 rpm, reemplazando en la ecuación se obtiene una velocidad del fluido caloportador de 1.417 m/s.

$$y = 1E - 05x^3 - 0.0025x^2 + 0.1462x - 0.8318$$

$$y = 1E - 05(25)^3 - 0.0025(25)^2 + 0.1462(25) - 0.8318$$

$$y = 1.417 \text{ m/s}$$

c. Cálculo del flujo másico

Para poder hallar el flujo másico en una tubería hidro de ½" se visualiza en la Tabla 24 los datos para reemplazar en las fórmulas mencionadas 8 y 10. En la Figura 73 se muestra la ecuación polinómica de grado 3 que más se ajusta a la gráfica. Como se precisa en el eje

horizontal tenemos el aumento periódicamente de frecuencia (Hz), en el eje vertical tenemos el aumento de flujo másico.

Tabla 24.

Hallando el flujo másico en una tubería hidro de ½”.

Frecuencia rpm	Caudal	Densidad de agua	Flujo másico
20 Hz	50.48 ml/seg	1000 kg/m ³	0.05 Kg/seg
30 Hz	71.88 ml/seg	1000 kg/m ³	0.071 Kg/seg
40 Hz	82.94 ml/seg	1000 kg/m ³	0.082 Kg/seg
50 Hz	89.79 ml/seg	1000 kg/m ³	0.089 Kg/seg
60 Hz	93.70 ml/seg	1000 kg/m ³	0.093 Kg/seg

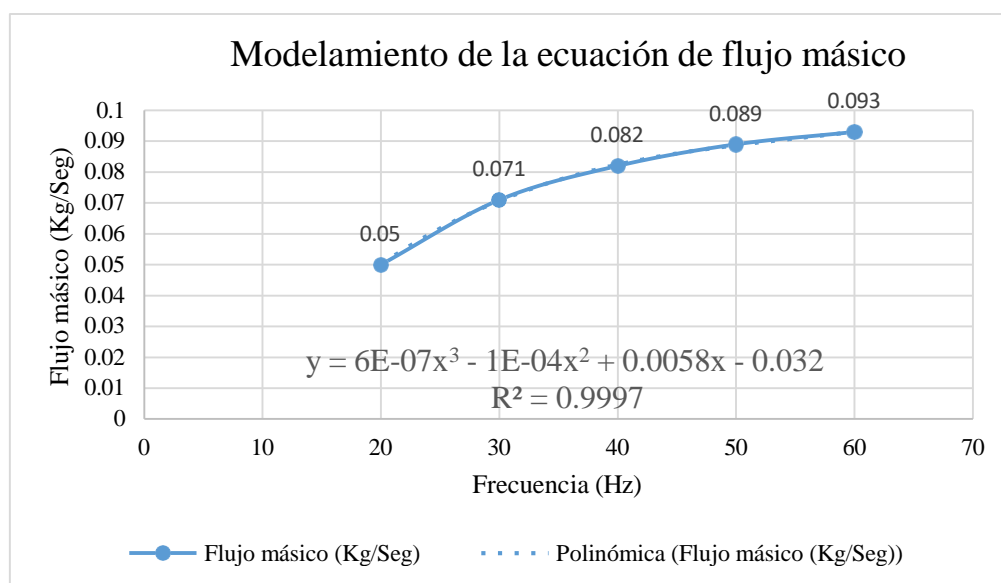


Figura 73. Ecuación polinómica de orden tres, para hallar flujo másico a diferentes frecuencias (Elaboración propia).

Como respuesta tenemos un alto valor de confianza del coeficiente de determinación (R^2) y la ecuación empírica. Lo cual se obtuvo el siguiente valor.

$$R^2 = 0.9997$$

$$y = 6E - 07x^3 - 1E - 04x^2 + 0.0058x - 0.032$$

De acuerdo a la ecuación obtenida, la bomba periférica trabaja a una frecuencia de 25 Hz a 1500 rpm, reemplazando en la ecuación se obtiene un flujo másico de 0.060 Kg/seg.

$$y = 6E - 07x^3 - 1E - 04x^2 + 0.0058x - 0.032$$

$$y = 6E - 07(25)^3 - 1E - 04(25)^2 + 0.0058(25) - 0.032$$

$$y = 0.060 \text{ Kg/seg}$$

d. Cálculo del flujo en peso

Para poder hallar el flujo en peso en una tubería hidro ½” que fluye agua se visualiza los datos en la Tabla 25 para reemplazar en las fórmulas mencionadas 9, 12 y 10. En la Figura 74 se muestra la ecuación polinómica de grado 3 que más se ajusta a la gráfica. Como se precisa en el eje horizontal tenemos el aumento periódicamente de revoluciones por minuto (RPM), en el eje vertical tenemos el aumento de flujo en peso.

Tabla 25.

Demostración de flujo de agua en peso en tubería hidro de ½”.

Frecuencia rpm	Caudal	Peso específico	Flujo en peso
20 Hz	50.48 ml/seg	9810 N/m ³	0.495 N/seg
30 Hz	71.88 ml/seg	9810 N/m ³	0.705 N/seg
40 Hz	82.94 ml/seg	9810 N/m ³	0.813 N/seg
50 Hz	89.79 ml/seg	9810 N/m ³	0.88 N/seg
60 Hz	93.70 ml/seg	9810 N/m ³	0.919 N/seg

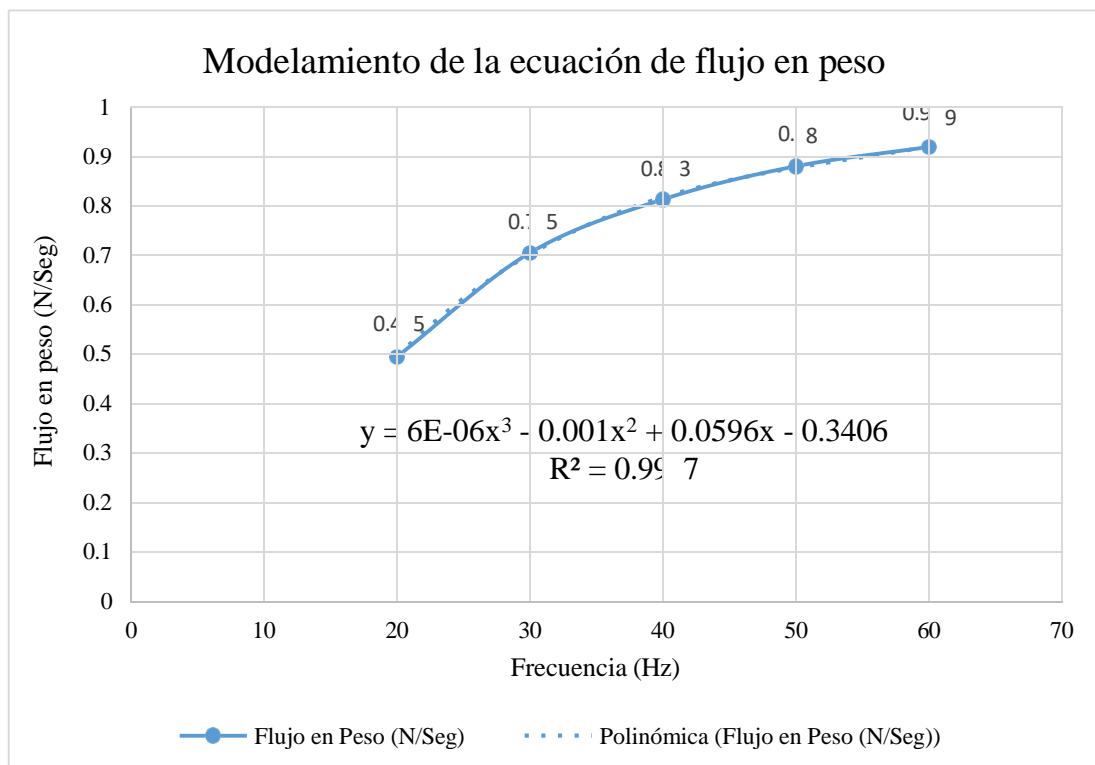


Figura 74. Ecuación polinómica de orden tres, para hallar flujo en peso a diferentes frecuencias (Elaboración propia).

Como respuesta tenemos un alto valor de confianza del coeficiente de determinación (R²) y la ecuación empírica. Lo cual se obtuvo el siguiente valor.

$$R^2 = 0.9997$$

$$y = 6E - 06x^3 - 0.001x^2 + 0.0596x - 0.3406$$

De acuerdo a la ecuación obtenida, la bomba periférica trabaja a una frecuencia de 25 Hz a 1500 rpm, reemplazando en la ecuación se obtiene un flujo en peso de 0.618 N/seg.

$$y = 6E - 06x^3 - 0.001x^2 + 0.0596x - 0.3406$$

$$y = 6E - 06(25)^3 - 0.001(25)^2 + 0.0596(25) - 0.3406$$

$$y = 0.618 \text{ N/seg}$$

En las pruebas realizadas en este proyecto de investigación, con la bomba periférica trifásica de ½ HP trabaja a una frecuencia de 25 Hz a 1500 rpm, para forzar la circulación de agua del primer al tercer piso que tiene una altura de 8 metros, en la trayectoria del fluido caloportador en una tubería hidro de ½” se hallaron las ecuaciones de caudal, velocidad de flujo, flujo másico y por ultimo tenemos flujo en peso mostrado en Tabla 26.

Tabla 26.

Resumen detallado de cálculo de caudal, velocidad de flujo, flujo másico, flujo en peso a una frecuencia de 25 Hz a 1500 rpm.

Frecuencia rpm	Caudal	Velocidad de fluido caloportador	Flujo másico	Flujo en peso
25 Hz	62.242 ml/seg	1.417 m/s	0.060 Kg/seg	0.618 N/seg

Anexo 8. Dimensionamiento de calentador solar para elevar la temperatura de líquido.

a. Determinación del volumen de agua

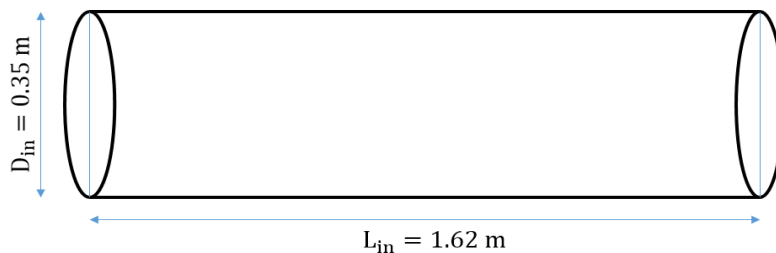
Especificaciones técnicas del calentador solar:

Volumen : $V_{termotanque} = ?$

Diámetro interior : $D_{interno} = 0.35 \text{ m}$

Longitud : $L_{long,interior} = 1.62 \text{ m}$

El termotanque es donde se almacena el fluido caloportador y está instalado en eje de abscisas, se utiliza la fórmula 16 para determinar el volumen de un cilindro.



$$V_{termotanque} = 1/4 * \pi * D_{int}^2 * L_{long,interior} \quad (16)$$

Reemplazando en la ecuación 15 tenemos

$$V_{termotanque} = \frac{1}{4} * \pi * 3.142 * (0.35)^2 * 1.62$$

$$V_{termotanque} = 0.1559 \text{ m}^3$$

$$V_{agua,termotanque} = 0.1559 \text{ m}^3 = 155.9 \text{ L}$$

b. Determinación de la masa de líquido en termotanque

Densidad de líquido a 16 °C, 19 °C es 999 Kg/m^3 , 998.49 Kg/m^3 respectivamente.

$$m_{agua,termotanque} = \rho_{agua,19^\circ c} * V_{agua,termotanque} \quad (17)$$

$$m_{agua,termotanque} = 998 \text{ Kg/m}^3 * 0.1559 \text{ m}^3$$

$$m_{agua,termotanque} = 155.588 \text{ kg}$$

c. Determinación del volumen en los tubos de vacío

La hoja de fabricante de colector solar de tubos de vacío con los siguientes datos:

Cantidad de tubos : 20 unidades

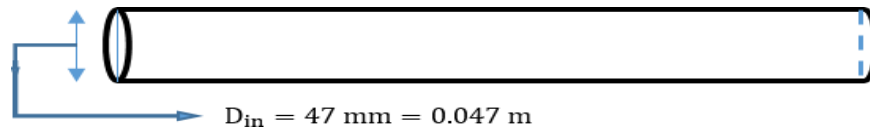
Diámetro exterior : 58 milímetros = 0.058 metros

Diámetro interior : 47 milímetros = 0.047 metros

Longitud de fabricante : 1800 milímetros = 1.8 metros

Longitud utilizada : 1650 milímetros = 1.65 metros

Ahora hallaremos el volumen de un tubo de terma solar es:



$$V_{tubo,vacío} = \frac{1}{4} * \pi * D_{interior}^2 * L_{longitud,útil} \quad (18)$$

$$V_{tubo,vacío} = \frac{1}{4} * \pi * (0.047)^2 * 1.65$$

$$V_{tubo,vacío} = 0.002863 \text{ m}^3 = \mathbf{2.863 \text{ L}}$$

La terma solar tiene 20 tubos de vacío (V_{agua}):

$$V_{agua,tubo-vacío} = 20 * 2.863 \text{ L}$$

$$V_{total-agua,tubo-vacío} = \mathbf{57.26 \text{ L}}$$

d. Determinación de la masa de agua en los tubos de vacío

Densidad de líquido a 16 °C, 19 °C es 999 Kg/m^3 , 998.49 Kg/m^3 respectivamente.

$$m_{agua,tubo-vacío} = \rho_{agua} * V_{agua,tubo-vacío} \quad (19)$$

$$m_{agua,tubo-vacío} = 998 \text{ Kg}/\text{m}^3 * 0.002863 \text{ m}^3$$

$$m_{agua,tubo-vacío} = \mathbf{2.857 \text{ kg}}$$

Para 20 tubos de vacío ($m_{agua \text{ total,tubos vacio}}$)

$$m_{agua \text{ total,tubos vacio}} = 20 * 2.857 \text{ kg}$$

$$m_{agua \text{ total,tubos vacio}} = \mathbf{57.145 \text{ kg}}$$

e. Determinación del volumen total de agua en el calentador solar

Ahora calcularemos el volumen total de líquido en un terma solar más 20 tubos de vacío.

$$V_{total,terma solar} = V_{agua \text{ termotanque}} + V_{total \text{ tubo vacio}} \quad (20)$$

$$V_{total,terma solar} = 155.9 \text{ L} + 57.26 \text{ L}$$

$$V_{agua \text{ total,terma solar}} = \mathbf{213.16 \text{ L}}$$

Ahora enfoquémonos en determinar la masa total del líquido en el calentador solar.

$$m_{\text{agua,terma solar}} = m_{\text{agua,termotanque}} + m_{\text{agua total,tubos vacio}} \quad (21)$$

$$m_{\text{agua total,terma solar}} = 155.588 \text{ Kg} + 57.14548 \text{ Kg}$$

$$m_{\text{agua total,terma solar}} = \mathbf{212.733 \text{ Kg}}$$

f. Determinación de la energía útil almacenada en el calentador solar con agua

Teniendo los siguientes datos, se reemplazara en las ecuaciones correspondientes:

Temperatura de ingreso de agua : $T_{\text{ingreso de agua}} = 16 \text{ }^\circ\text{C}$

Temperatura de salida de agua : $T_{\text{salida de agua}} = 66 \text{ }^\circ\text{C}$

Calor específico de agua : $C_{p, \text{ de agua}} = 4.185 \text{ KJ/Kg }^\circ\text{C}$

Variación de tiempo : $\Delta t_{\text{tiempo}} = 8h = 28800 \text{ s}$

Calor útil acumulado

$$Q_{\text{útil,agua}} = m_{\text{agua,terma solar}} * C_{p_{\text{agua}}} * (T_{\text{salida}} - T_{\text{ingreso}}) \quad (22)$$

$$Q_{\text{útil,agua}} = 212.733 \text{ kg} * 4.185 \text{ KJ/Kg }^\circ\text{C} * (66 - 16) \text{ }^\circ\text{C}$$

$$Q_{\text{útil,agua}} = \mathbf{44513.334 \text{ kJ}}$$

En 8h (28800s) la razón de flujo de calor absorbido ($Q_{\text{abs,agua}}$), se tiene:

$$Q_{\text{abs,agua}} = \frac{44513.334 \text{ kJ}}{28800 \text{ s}}$$

$$Q_{\text{abs,agua}} = \mathbf{1.546 \text{ kW}}$$

En 8h (28800s) la razón de flujo másico de calentamiento (\dot{m}_{agua}), se tiene:

g. Determinación de la energía absorbida por irradiancia solar

Donde:

Calor absorbido por los colectores solares : $Q_{\text{colectores}}$

Calor por irradiación solar : $Q_{\text{Irradiación}}$

Determinar el área de captación solar (A_c) : ?

$$A_{\text{captación solar}} = \frac{\pi * D_c * L_c}{2} * n_{\text{tubos}} \quad (23)$$

Donde:

Diámetro exterior del colector de tubos de vacío : D_c

Longitud útil de los tubos de vacío : L_c

Cantidad de tubos al vacío : n_{tubos}

$$A_{captación\ solar} = \frac{\pi * 0.058 * 1.65}{2} * 20$$

$$A_{captación\ solar} = \mathbf{3.006\ m^2}$$

Sustituyendo en la ecuación, se obtiene:

$$I_{solar,anual\ promedio-juliaca} = 6.632\ kWh/m^2$$

$$Q_{colectores} = 6.632\ kWh/m^2 * \frac{3.006\ m^2}{8h}$$

$$Q_{colectores} = \mathbf{2.492\ kW}$$

h. Determinación de la tasa de flujo másico necesario para una absorción de 2.492 kW.

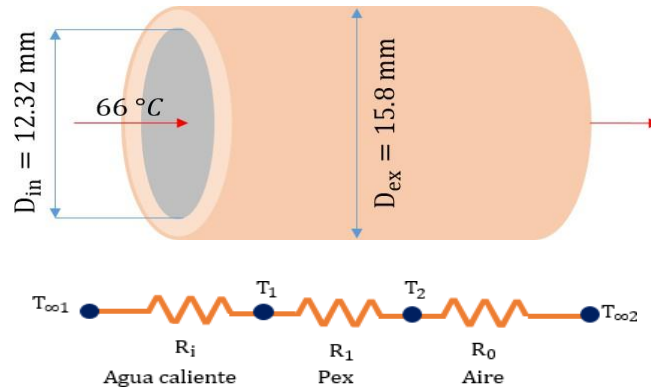
$$2.492\ kW = \dot{m} * 4.185\ KJ/Kg.^{\circ}C * (66 - 16)^{\circ}C$$

$$\dot{m} = \frac{2.492\ KJ/c}{4.185\ KJ/Kg.^{\circ}C * (66 - 16)^{\circ}C}$$

$$\dot{m} = \mathbf{0.011909\ kg/s = 11.909\ g/s}$$

Anexo 9. Dimensionamiento de la transferencia térmica en un sistema de suelo radiante con tubería pex.

El circuito está instalado en un patrón espiral con una longitud de 98 metros con tubería Pex dentro del piso falso en el gabinete del laboratorio, para poder hallar la transferencia de calor se calculará utilizando la ley de Fourier.



$$A_1 = 2\pi r_1 L = 2\pi(0.00616 \text{ m})(98 \text{ m}) = 3.793 \text{ m}^2$$

$$A_2 = 2\pi r_2 L = 2\pi(0.0079 \text{ m})(98 \text{ m}) = 4.864 \text{ m}^2$$

Como se visualiza el diámetro interior y exterior de tubería Pex, tiene tres resistencias térmicas para desarrollar.

$$R_i = R_{conv,1} = \frac{1}{h_1 A} = \frac{1}{\left(\frac{60 \text{ W}}{\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}\right)(3.793 \text{ m}^2)} = 0.00439 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{w}$$

$$R_1 = R_{tubo} = \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2\pi k_1 L} = \frac{\ln\left(\frac{0.0079}{0.00616}\right)}{\left(\frac{0.35 \text{ W}}{\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}\right)(98 \text{ m})} = 0.00725 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{w}$$

$$R_o = R_{conv,2} = \frac{1}{h_2 A_2} = \frac{1}{\left(\frac{18 \text{ W}}{\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}\right)(4.864 \text{ m}^2)} = 0.01142 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{w}$$

Ahora hallaremos la resistencia total se realiza la sumatoria como se encuentra en serie teniendo un total de 0.0231 °C/W:

$$R_{total} = R_i + R_1 + R_o = 0.00439 + 0.00725 + 0.01142 = 0.0231 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{W}$$

La razón estacionaria de transferencia de calor de agua caliente por longitud de tubo es de 1991.342 W como se muestra en la ecuación:

$$Q = \frac{T_{\infty 1} - T_{\infty 2}}{R_{total}} = \frac{(66 - 20) \text{ } ^\circ\text{C}}{0.0231 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{W}} = 1991.342 \text{ W}$$

Las temperaturas de la superficie interior y exterior del tubo se diferencian de 46 °C.

$$\Delta T_{tubo} = QR_{tubo} = (1991.342 \text{ W})(0.00725 \text{ }^\circ\text{C/W}) = 14.43 \text{ }^\circ\text{C}$$

La transferencia de calor de piso de entablado es de 13.93 m² del gabinete con respecto a la tubería del serpentín donde la transferencia se realiza 3 cm de ancho y 98 metros de largo con respecto al circuito de la tubería Pex es lo siguiente.

$$3 \text{ cm} = 0.03 \text{ m}$$

$$98 \text{ m} \times 0.03 \text{ m} = 2.94 \text{ m}^2$$

$$T_1 = 66$$

$$T_2 = 20$$



Para calcular por el entablado de piso falso dentro del gabinete será por medio de conducción de calor con la siguiente ecuación.

$$Q = kA \frac{T_1 - T_2}{L} \tag{24}$$

$$Q = (0.14)(2.94) \frac{(66 - 20)}{0.025}$$

$$Q = 757.344 \text{ W}$$

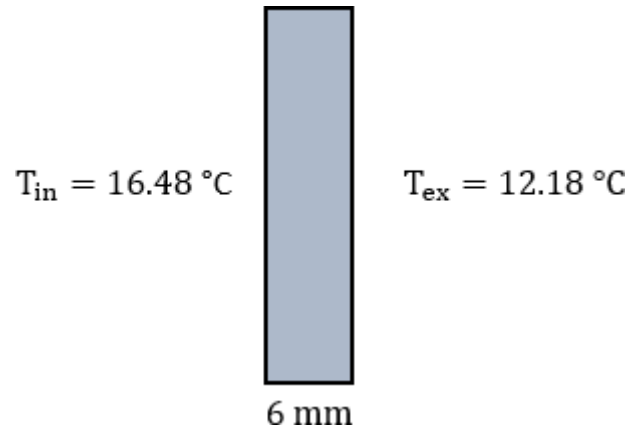
a. Cálculo de la longitud del conducto caloportador

$$L = \frac{\text{Área}_{\text{suelo radiante}}}{\text{Separación}_{\text{conducto}}} = \frac{9.75 \text{ m}^2}{0.1 \text{ m}} = 97.5 = 98 \text{ m}$$

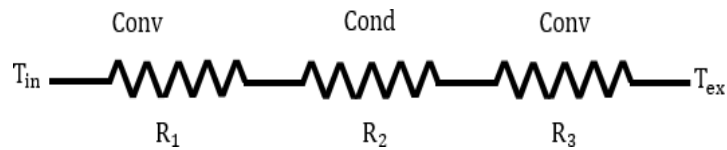
Anexo 10. Cálculo de pérdidas del gabinete.

a. Pérdida por pared de vidrio lado norte, lado este y una parte de lado sur

La pared de vidrio del gabinete tiene un grosor de 6 mm, donde se determina las pérdidas de calor por el intermedio de vidrio.



La interpretación de la resistencia térmica sería lo siguiente manera de la pared de vidrio del gabinete.



La sumatoria total de la resistencia térmica será:

$$R_{Total} = R_1 + R_2 + R_3$$

$$R_{Total} = \frac{1}{h * A} + \frac{L}{k * A} + \frac{1}{h * A}$$

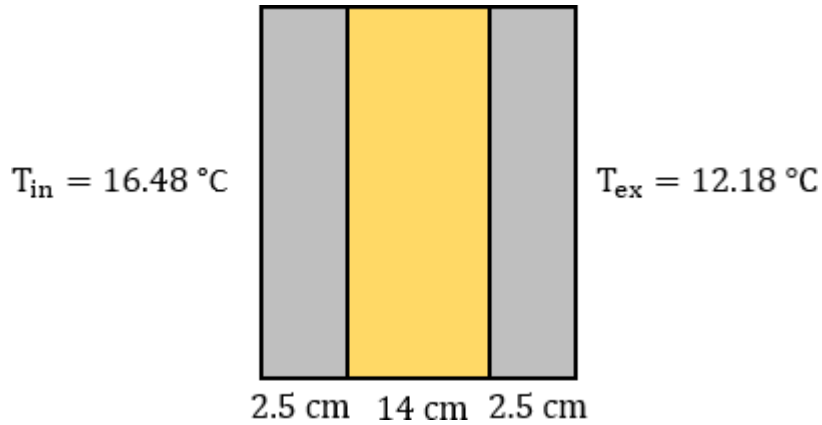
$$R_{Total} = \frac{1}{0.026 * 30.432} + \frac{L}{0.84 * 30.432} + \frac{1}{0.026 * 30.432} = 2.528 \text{ K/W}$$

$$q^{\circ} = \frac{\Delta T}{R_{Total}} = \frac{(16.48 - 12.18) \text{ }^{\circ}\text{C}}{2.528 \text{ K/W}} = 1.7 \text{ W}$$

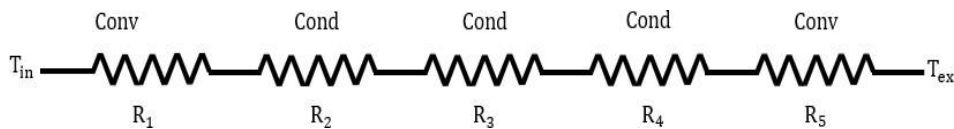
Como resultado de pérdida de calor mediante la pared de vidrio del gabinete, se tiene 1.7 W de pérdida.

b. Pérdida por los muros del gabinete

El muro del gabinete está compuesto por ladrillo King Kong de 18 huecos con un espesor de 14 cm y un revestimiento de capa de acabado de 2,5 cm de grosor hecho de mortero de cemento arena ambos lados del ladrillo



La interpretación de la resistencia térmica sería lo siguiente manera del muro del gabinete.



La sumatoria total de resistencia térmica será de la siguiente manera:

$$R_{Total} = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5$$

$$R_{Total} = \frac{1}{h * A} + \frac{L}{k * A} + \frac{L}{k * A} + \frac{L}{k * A} + \frac{1}{h * A}$$

$$R_{Total} = \frac{1}{0.026 * 16.541} + \frac{0.025}{0.63 * 16.541} + \frac{0.14}{0.470 * 16.541} + \frac{0.025}{0.63 * 16.541} + \frac{1}{0.026 * 16.541}$$

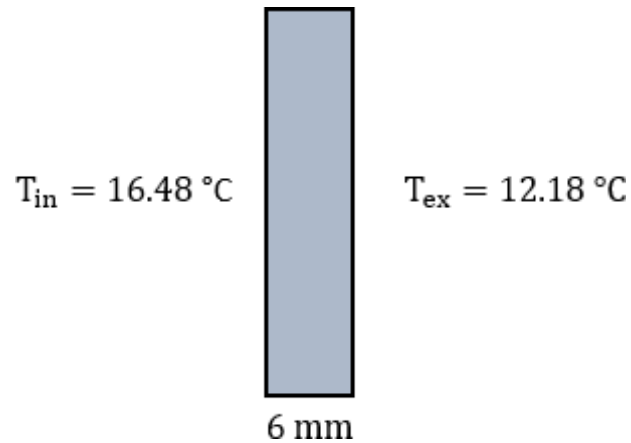
$$R_{Total} = 4.673 \text{ K/W}$$

$$q^\circ = \frac{\Delta T}{R_{Total}} = \frac{(16.48 - 12.18) \text{ °C}}{4.673 \text{ K/W}} = 0.920 \text{ W}$$

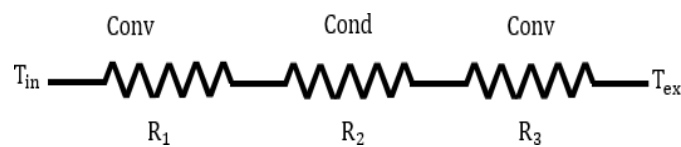
Como respuesta a la solución de pérdidas de calor a través de los muros del gabinete, se obtuvo un valor de 0.920 W.

c. Pérdida por la venta del gabinete

La ventana del gabinete, que tiene una superficie de 0.661 m^2 y un grosor de 6 mm, se determinó para poder hallar la pérdida de calor.



La resistencia térmica tiene la siguiente representación:



La sumatoria total de resistencia térmica sería lo siguiente:

$$R_{Total} = R_1 + R_2 + R_3$$

$$R_{Total} = \frac{1}{h * A} + \frac{L}{k * A} + \frac{1}{h * A}$$

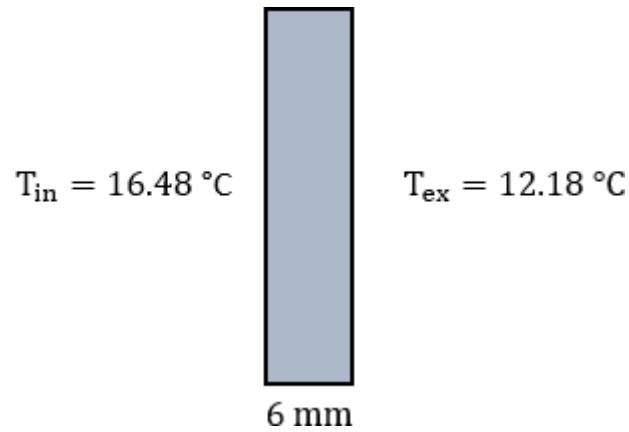
$$R_{Total} = \frac{1}{0.026 * 0.661} + \frac{0.006}{0.84 * 0.661} + \frac{1}{0.026 * 0.661} = 116.385 \text{ K/W}$$

$$q^\circ = \frac{\Delta T}{R_{Total}} = \frac{(16.48 - 12.18) \text{ } ^\circ\text{C}}{0.037 \text{ K/W}} = 0.037 \text{ W}$$

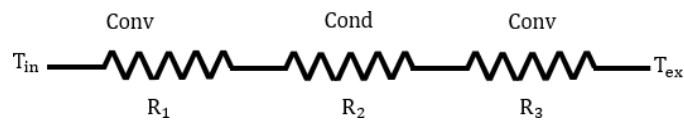
Teniendo como resultado una pérdida de 0.037 W por la ventana.

d. Pérdida por la puerta del gabinete

La puerta del gabinete tiene un área de 1.96 m^2 , la puerta es de vidrio que se visualiza en el cubículo del laboratorio y las pérdidas se calculan de la siguiente manera.



Con la resistencia térmica nos ayuda a determinar las pérdidas de calor de cualquier material como se ilustra de la siguiente manera.



La sumatoria total de resistencia térmica sería lo siguiente:

$$R_{Total} = R_1 + R_2 + R_3$$

$$R_{Total} = \frac{1}{h * A} + \frac{L}{k * A} + \frac{1}{h * A}$$

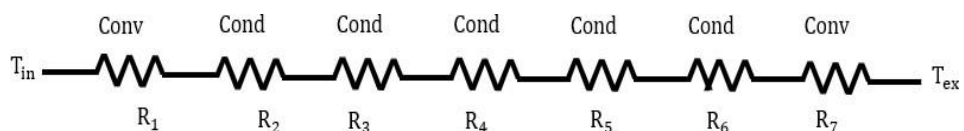
$$R_{Total} = \frac{1}{0.026 * 1.96} + \frac{0.006}{0.84 * 1.96} + \frac{1}{0.026 * 1.96} = 39.250 \text{ K/W}$$

$$q^\circ = \frac{\Delta T}{R_{Total}} = \frac{(16.48 - 12.18) \text{ } ^\circ\text{C}}{39.250 \text{ K/W}} = 0.1 \text{ W}$$

Como resultado de pérdida de calor mediante la puerta del gabinete se tiene 0.1 W.

e. Pérdida por techo del gabinete

En este apartado se calcula la pérdida de calor que se presenta por el techo del gabinete, por las siguientes resistencias térmicas que se muestra a continuación.



La sumatoria total de resistencia térmica del techo del gabinete será:

$$R_{Total} = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_6 + R_7$$

$$R_{Total} = \frac{1}{h * A} + \frac{L}{k * A} + \frac{L}{k * A} + \frac{L}{k * A} + \frac{L}{k * A} + \frac{L}{k * A} + \frac{1}{h * A}$$

$$R_{Total} = \frac{1}{0.026 * 16.074} + \frac{0.015}{0.05 * 16.074} + \frac{0.135}{0.026 * 16.074} + \frac{0.15}{0.38 * 16.074}$$

$$+ \frac{0.19}{1.92 * 16.074} + \frac{0.02}{0.274 * 16.074} + \frac{1}{0.026 * 16.074} = 5.163 \text{ K/W}$$

$$q^{\circ} = \frac{\Delta T}{R_{Total}} = \frac{(16.48 - 12.18) \text{ }^{\circ}\text{C}}{5.163 \text{ K/W}} = 0.833 \text{ W}$$

Teniendo como resultado una pérdida de 0.833 W por el techo del gabinete.

f. Pérdida total de calor del gabinete

Las pérdidas de calor dentro del gabinete es la sumatoria total de pérdidas de pared de vidrio, muro, ventana, puerta y techo, como resultado obtuvimos que 3.6 W es la pérdida de calor que tiene el gabinete de Laboratorio de Control y Electrónica Básica de EPIER.

$$Q_{Perdida\ total} = q_{pared\ de\ vidrio} + q_{muro} + q_{ventana} + q_{puerta} + q_{techo} \quad (25)$$

$$Q_{Perdida\ total} = 1.7 \text{ W} + 0.920 \text{ W} + 0.037 \text{ W} + 0.110 \text{ W} + 0.833 \text{ W}$$

$$Q_{Perdida\ total} = 3.6 \text{ W}$$

Anexo 11. Eficiencia de los colectores solares.

En este contexto, se hallará la eficiencia térmica de un captador solar térmico, que está en relación con la cantidad de energía térmica útil obtenido por la placa solar dividido con la energía solar disponible durante el tiempo de evaluación.

$$\eta_E = \frac{\text{Energía térmica útil } (E_T)}{\text{Energía solar recibida } (E_s)} \quad (26)$$

La energía térmica útil se determina mediante las siguientes fórmulas.

$$E_T = m * C * \Delta T \quad (27)$$

Al remplazar en la ecuación 26 se calculó el tamaño del sistema, obteniendo un valor de 12.368 KWh, que indica la energía útil.

$$E_T = 212.733 \text{ Kg} * (4168 \text{ J/Kg} * ^\circ\text{C}) * (66 - 16) ^\circ\text{C}$$

$$E_T = 44525.016 \text{ KJ} = 12.368 \text{ KWh}$$

La cantidad de energía solar que se recibe se determina mediante la siguiente fórmula en la e_s representa la radiación solar como estudios realizados por (Aquino, 2018).

$$E_s = e_s * A \quad (28)$$

El área de un colector se calcula con los siguientes datos el diámetro exterior de tubo vacío que es 0.058 metros, longitud del tubo de vacío es de 1.65 metros con una cantidad de 20 tubos, según (Aquino, 2018), la irradiación solar durante su evaluación es de 6.699KWh/m² en la ciudad de Juliaca.

$$A = \frac{\pi * D_c * L_c}{2} * n_{\text{tubos}} = 3.006 \text{ m}^2$$

Reemplazando en la ecuación 28.

$$E_s = 6.699 \frac{\text{KWh}}{\text{m}^2} * 3.006 \text{ m}^2 = 20.137 \text{ KWh}$$

Nuestro colector solar capta una energía solar de 20.137 WKh, por consiguiente, reemplazando en la ecuación 26 la eficiencia térmica del colector será de 61.4%.

$$\eta_E = \frac{12.368 \text{ KWh}}{20.137 \text{ KWh}} = 0.614 = 61.4\%$$

Anexo 12. Promedio de datos con horas de funcionamiento de la bomba periférica 11 am a 15 pm y 09 am a 16 pm.

Tabla 27.

Período de evaluación y promedio de datos del sistema de calefacción basado en energía solar empleando tuberías Pex con periodo de trabajo de la electrobomba 11:00 am a 15:00 pm.

Hora	Temp Exterior	Temp Interior	Temp Salida	Temp terma solar	Temp Entrada	Irradiancia W/m ²	HR%
00:00:00	14.71	15.06	14.78	6.75	16.05	0.00	51 %
00:05:00	14.73	15.04	14.74	6.71	16.02	0.00	51 %
00:10:00	14.69	15.03	14.76	6.74	16.02	0.00	51 %
00:15:00	14.66	15.01	14.73	6.68	16.03	0.00	51 %
00:20:00	14.67	14.99	14.72	6.67	15.99	0.00	51 %
00:25:00	14.65	14.99	14.71	6.63	15.98	0.00	51 %
00:30:00	14.61	14.98	14.72	6.55	15.97	0.00	51 %
00:35:00	14.63	14.94	14.70	6.54	15.98	0.00	51 %
00:40:00	14.61	14.96	14.68	6.43	15.95	0.00	51 %
00:45:00	14.59	14.92	14.67	6.36	15.94	0.00	51 %
00:50:00	14.60	14.93	14.63	6.32	15.94	0.00	51 %
00:55:00	14.58	14.92	14.64	6.27	15.89	0.00	51 %
01:00:00	14.58	14.90	14.63	6.18	15.91	0.00	51 %
01:05:00	14.56	14.87	14.65	6.14	15.89	0.00	51 %
01:10:00	14.55	14.87	14.64	6.06	15.87	0.00	51 %
01:15:00	14.52	14.84	14.61	5.97	15.89	0.00	51 %
01:20:00	14.51	14.84	14.60	5.92	15.86	0.00	51 %
01:25:00	14.50	14.82	14.58	5.84	15.87	0.00	51 %
01:30:00	14.48	14.79	14.57	5.73	15.85	0.00	51 %
01:35:00	14.48	14.78	14.58	5.70	15.85	0.00	51 %
01:40:00	14.51	14.81	14.54	5.63	15.82	0.00	51 %
01:45:00	14.46	14.76	14.53	5.56	15.80	0.00	51 %
01:50:00	14.48	14.75	14.53	5.46	15.80	0.00	51 %
01:55:00	14.43	14.74	14.52	5.43	15.79	0.00	51 %
02:00:00	14.42	14.73	14.51	5.38	15.76	0.00	51 %
02:05:00	14.43	14.71	14.50	5.36	15.76	0.00	51 %
02:10:00	14.42	14.70	14.50	5.30	15.76	0.00	51 %
02:15:00	14.37	14.69	14.48	5.24	15.73	0.00	51 %
02:20:00	14.36	14.68	14.46	5.21	15.73	0.00	51 %
02:25:00	14.37	14.68	14.45	5.08	15.71	0.00	51 %
02:30:00	14.36	14.64	14.46	5.04	15.71	0.00	51 %
02:35:00	14.37	14.65	14.45	5.01	15.69	0.00	51 %
02:40:00	14.34	14.62	14.42	5.00	15.68	0.00	51 %
02:45:00	14.31	14.61	14.42	4.95	15.72	0.00	51 %
02:50:00	14.32	14.59	14.41	4.88	15.66	0.00	51 %
02:55:00	14.34	14.59	14.41	4.82	15.68	0.00	51 %

Continuación

03:00:00	14.31	14.57	14.40	4.80	15.66	0.00	51 %
03:05:00	14.26	14.57	14.36	4.72	15.66	0.00	51 %
03:10:00	14.27	14.55	14.35	4.70	15.64	0.00	51 %
03:15:00	14.26	14.54	14.33	4.67	15.60	0.00	51 %
03:20:00	14.25	14.52	14.34	4.62	15.60	0.00	51 %
03:25:00	14.24	14.50	14.32	4.57	15.58	0.00	51 %
03:30:00	14.24	14.52	14.33	4.54	15.59	0.00	51 %
03:35:00	14.23	14.50	14.33	4.49	15.60	0.00	51 %
03:40:00	14.20	14.47	14.31	4.50	15.59	0.00	51 %
03:45:00	14.21	14.44	14.30	4.42	15.56	0.00	51 %
03:50:00	14.20	14.45	14.28	4.38	15.56	0.00	51 %
03:55:00	14.18	14.46	14.27	4.33	15.55	0.00	51 %
04:00:00	14.14	14.43	14.26	4.23	15.54	0.00	51 %
04:05:00	14.13	14.43	14.26	4.23	15.54	0.00	51 %
04:10:00	14.11	14.44	14.25	4.18	15.51	0.00	51 %
04:15:00	14.13	14.40	14.27	4.13	15.54	0.00	51 %
04:20:00	14.09	14.40	14.22	4.12	15.52	0.00	51 %
04:25:00	14.08	14.38	14.21	4.11	15.48	0.00	51 %
04:30:00	14.09	14.37	14.20	4.01	15.49	0.00	51 %
04:35:00	14.07	14.35	14.20	3.96	15.46	0.00	51 %
04:40:00	14.05	14.34	14.18	3.96	15.48	0.00	51 %
04:45:00	14.05	14.34	14.18	3.92	15.46	0.00	51 %
04:50:00	14.05	14.31	14.16	3.87	15.45	0.00	51 %
04:55:00	14.01	14.30	14.16	3.87	15.43	0.00	51 %
05:00:00	14.01	14.31	14.13	3.85	15.43	-0.01	51 %
05:05:00	13.99	14.30	14.13	3.81	15.42	-0.04	51 %
05:10:00	13.99	14.29	14.12	3.86	15.41	-0.06	51 %
05:15:00	13.98	14.27	14.11	3.88	15.41	-0.03	51 %
05:20:00	13.94	14.25	14.10	3.86	15.39	-0.03	51 %
05:25:00	13.95	14.27	14.07	3.88	15.39	0.08	51 %
05:30:00	13.95	14.23	14.06	3.85	15.38	0.19	51 %
05:35:00	13.93	14.22	14.07	3.83	15.37	0.76	51 %
05:40:00	13.89	14.21	14.05	3.76	15.36	1.99	51 %
05:45:00	13.89	14.20	14.03	3.75	15.37	3.46	51 %
05:50:00	13.87	14.21	14.05	3.68	15.33	6.09	51 %
05:55:00	13.87	14.18	14.02	3.63	15.33	14.00	51 %
06:00:00	13.86	14.20	14.04	3.70	15.33	26.48	51 %
06:05:00	13.86	14.18	14.02	3.77	15.31	40.94	51 %
06:10:00	13.87	14.19	14.01	3.88	15.31	58.56	51 %
06:15:00	13.83	14.19	13.97	4.13	15.29	74.62	51 %
06:20:00	13.84	14.19	13.98	4.38	15.27	96.94	51 %
06:25:00	13.85	14.20	13.99	4.72	15.27	116.34	51 %
06:30:00	13.83	14.24	13.97	5.10	15.27	124.47	51 %
06:35:00	13.82	14.27	13.97	5.52	15.26	149.51	51 %
06:40:00	13.82	14.29	13.94	5.95	15.27	167.53	51 %

Continuación

06:45:00	13.81	14.33	13.97	6.44	15.26	183.06	51 %
06:50:00	13.81	14.35	13.94	6.90	15.27	215.95	51 %
06:55:00	13.78	14.37	13.94	7.36	15.27	212.02	51 %
07:00:00	13.81	14.40	13.94	7.84	15.25	250.04	51 %
07:05:00	13.81	14.43	13.95	8.23	15.25	252.66	51 %
07:10:00	13.80	14.49	13.95	8.70	15.22	292.95	51 %
07:15:00	13.81	14.50	13.95	9.20	15.23	309.36	51 %
07:20:00	13.79	14.55	13.95	9.73	15.22	341.16	51 %
07:25:00	13.81	14.58	13.93	10.34	15.22	366.09	51 %
07:30:00	13.79	14.63	13.95	11.01	15.21	385.39	50 %
07:35:00	13.78	14.66	13.94	11.81	15.20	395.66	50 %
07:40:00	13.81	14.70	13.94	13.22	15.21	417.43	50 %
07:45:00	13.82	14.73	13.94	14.04	15.20	445.04	50 %
07:50:00	13.80	14.76	13.96	36.27	15.22	461.35	50 %
07:55:00	13.84	14.81	13.98	45.39	15.29	482.19	50 %
08:00:00	13.83	14.83	14.01	48.24	15.28	495.09	50 %
08:05:00	13.83	14.88	14.04	61.34	15.36	524.37	50 %
08:10:00	13.86	14.93	14.04	61.11	15.36	549.69	50 %
08:15:00	13.86	15.00	14.05	63.04	15.37	568.15	50 %
08:20:00	13.86	15.05	14.05	67.35	15.38	570.63	50 %
08:25:00	13.91	15.09	14.05	67.20	15.39	593.76	50 %
08:30:00	13.91	15.14	14.04	67.21	15.39	596.14	50 %
08:35:00	13.90	15.18	14.06	67.92	15.41	628.66	50 %
08:40:00	13.95	15.23	14.08	64.31	15.39	681.91	50 %
08:45:00	13.96	15.30	14.10	65.29	15.36	670.34	50 %
08:50:00	13.98	15.34	14.10	58.93	15.36	697.10	50 %
08:55:00	13.99	15.36	14.13	64.51	15.34	706.08	50 %
09:00:00	14.00	15.43	14.17	63.72	15.33	738.84	50 %
09:05:00	14.00	15.47	14.13	62.92	15.32	759.84	49 %
09:10:00	14.03	15.51	14.17	66.05	15.32	752.05	49 %
09:15:00	14.06	15.54	14.16	67.88	15.36	777.81	49 %
09:20:00	14.12	15.60	14.19	68.43	15.39	808.27	49 %
09:25:00	14.16	15.64	14.21	70.79	15.41	790.63	49 %
09:30:00	14.20	15.69	14.19	71.20	15.40	836.49	49 %
09:35:00	14.25	15.76	14.21	72.28	15.41	878.50	49 %
09:40:00	14.25	15.80	14.25	73.43	15.44	848.56	49 %
09:45:00	14.31	15.84	14.25	68.84	15.46	899.79	49 %
09:50:00	14.36	15.90	14.29	67.95	15.51	904.63	49 %
09:55:00	14.41	15.94	14.31	68.35	15.52	904.48	49 %
10:00:00	14.39	16.00	14.31	70.07	15.55	905.79	49 %
10:05:00	14.44	16.06	14.35	70.63	15.57	949.92	49 %
10:10:00	14.46	16.09	14.37	70.95	15.61	901.59	49 %
10:15:00	14.51	16.13	14.39	78.64	15.64	916.97	49 %
10:20:00	14.56	16.17	14.44	74.56	15.66	865.92	49 %
10:25:00	14.53	16.21	14.45	74.92	15.68	868.47	49 %

Continuación

10:30:00	14.56	16.27	14.49	80.53	15.67	799.35	49 %
10:35:00	14.58	16.32	14.51	78.06	15.73	916.79	49 %
10:40:00	14.58	16.33	14.53	78.64	15.73	862.86	49 %
10:45:00	14.59	16.36	14.53	80.12	15.78	906.39	49 %
10:50:00	14.59	16.43	14.60	76.22	17.28	971.79	49 %
10:55:00	14.63	16.45	14.64	78.41	16.94	811.43	49 %
11:00:00	14.68	16.52	14.70	77.82	18.51	839.16	49 %
11:05:00	14.61	16.62	15.04	73.60	59.48	889.31	49 %
11:10:00	14.61	16.89	45.64	69.81	57.57	979.33	48 %
11:15:00	14.68	16.91	45.35	69.14	54.08	899.11	49 %
11:20:00	14.77	17.11	42.09	76.75	51.52	958.73	49 %
11:25:00	14.66	17.21	46.02	66.44	63.34	890.27	49 %
11:30:00	14.69	17.56	55.12	66.12	62.15	931.92	49 %
11:35:00	14.79	17.80	49.89	68.78	56.84	933.58	49 %
11:40:00	14.76	18.00	49.10	66.94	66.03	893.98	49 %
11:45:00	14.78	18.22	56.19	64.58	64.08	913.97	49 %
11:50:00	14.85	18.37	55.47	61.86	63.41	935.86	49 %
11:55:00	14.93	18.56	50.63	70.40	56.96	932.45	49 %
12:00:00	14.81	18.65	50.73	65.32	65.63	926.48	50 %
12:05:00	14.86	18.88	58.03	64.70	66.33	905.19	50 %
12:10:00	14.98	18.95	53.61	63.56	61.72	1003.14	50 %
12:15:00	15.03	19.24	50.86	70.94	64.23	905.19	50 %
12:20:00	14.96	19.12	54.79	64.55	66.21	939.36	50 %
12:25:00	15.05	19.22	57.27	64.40	65.28	948.60	50 %
12:30:00	15.16	19.30	52.51	71.36	58.73	950.38	50 %
12:35:00	15.08	19.39	51.54	65.42	67.05	914.06	50 %
12:40:00	15.05	19.43	57.81	64.70	66.65	928.43	50 %
12:45:00	15.12	19.46	54.35	61.90	62.76	821.35	50 %
12:50:00	15.15	19.61	50.71	75.52	57.74	850.46	50 %
12:55:00	15.12	19.63	52.35	64.43	66.96	773.88	50 %
13:00:00	15.10	19.73	59.15	64.12	66.22	792.82	50 %
13:05:00	15.19	19.81	54.56	66.33	60.88	845.87	50 %
13:10:00	15.16	19.80	52.75	65.52	69.43	888.90	50 %
13:15:00	15.14	19.73	59.04	64.27	67.23	770.65	50 %
13:20:00	15.25	19.97	57.33	61.57	64.70	808.54	50 %
13:25:00	15.29	19.98	52.81	72.53	58.03	772.19	50 %
13:30:00	15.26	20.09	53.04	63.92	66.27	676.46	50 %
13:35:00	15.27	19.82	59.04	63.75	66.65	763.95	50 %
13:40:00	15.41	19.99	54.54	59.49	62.39	780.81	50 %
13:45:00	15.41	19.98	52.29	68.76	63.28	696.36	50 %
13:50:00	15.31	20.14	55.65	62.94	65.50	678.75	50 %
13:55:00	15.35	19.99	58.10	62.68	64.77	641.19	50 %
14:00:00	15.46	20.09	53.32	69.08	58.51	628.84	50 %
14:05:00	15.41	19.99	51.90	63.37	66.91	655.47	50 %
14:10:00	15.40	20.10	58.42	62.79	65.37	610.05	50 %

Continuación

14:15:00	15.49	20.08	54.78	60.26	61.80	535.93	50 %
14:20:00	15.58	20.11	51.55	70.48	57.26	577.85	50 %
14:25:00	15.43	19.98	52.49	62.05	64.31	589.66	50 %
14:30:00	15.44	19.92	57.68	62.12	64.88	587.38	50 %
14:35:00	15.59	20.08	52.64	60.61	59.60	522.70	50 %
14:40:00	15.52	20.09	51.26	62.98	65.65	495.62	50 %
14:45:00	15.45	20.05	56.80	61.58	63.85	485.76	50 %
14:50:00	15.54	20.10	55.37	59.03	61.69	384.44	50 %
14:55:00	15.58	20.08	50.72	63.27	56.22	439.43	50 %
15:00:00	15.51	20.07	50.76	60.88	64.15	405.28	50 %
15:05:00	15.61	20.05	51.93	56.03	60.35	386.69	50 %
15:10:00	15.65	20.02	47.68	60.91	54.43	337.52	50 %
15:15:00	15.69	19.98	44.17	64.99	49.46	380.69	50 %
15:20:00	15.71	19.92	40.71	66.39	45.17	344.67	50 %
15:25:00	15.68	19.87	37.77	69.35	41.68	328.02	50 %
15:30:00	15.70	19.77	34.95	68.97	38.75	367.42	50 %
15:35:00	15.70	19.70	32.84	67.79	36.36	340.44	50 %
15:40:00	15.71	19.60	31.13	66.47	34.28	327.07	50 %
15:45:00	15.73	19.50	29.35	65.37	32.27	263.55	50 %
15:50:00	15.73	19.37	27.84	65.38	30.56	248.22	50 %
15:55:00	15.72	19.26	26.48	62.08	29.29	235.54	50 %
16:00:00	15.69	19.16	25.69	57.74	28.29	228.78	50 %
16:05:00	15.74	19.09	25.58	56.67	27.32	243.91	50 %
16:10:00	15.72	18.97	24.81	53.93	26.28	216.28	50 %
16:15:00	15.74	18.83	24.17	51.60	25.53	205.79	50 %
16:20:00	15.72	18.75	23.29	47.98	24.98	184.45	50 %
16:25:00	15.73	18.67	22.46	37.04	24.41	172.64	50 %
16:30:00	15.73	18.59	21.79	31.32	23.85	169.04	50 %
16:35:00	15.71	18.49	21.21	26.43	23.30	158.07	50 %
16:40:00	15.69	18.40	20.71	23.07	22.79	141.89	50 %
16:45:00	15.69	18.32	20.27	21.14	22.35	110.81	50 %
16:50:00	15.66	18.23	19.92	19.90	21.93	100.12	50 %
16:55:00	15.63	18.15	19.57	18.95	21.56	71.69	50 %
17:00:00	15.61	18.05	19.28	18.24	21.23	59.24	50 %
17:05:00	15.60	17.98	19.01	17.69	20.93	40.02	50 %
17:10:00	15.58	17.91	18.78	17.15	20.60	30.64	50 %
17:15:00	15.57	17.81	18.55	16.68	20.35	18.66	50 %
17:20:00	15.55	17.71	18.35	16.34	20.07	10.78	50 %
17:25:00	15.53	17.63	18.15	15.94	19.85	5.73	50 %
17:30:00	15.50	17.52	18.00	15.58	19.65	3.32	50 %
17:35:00	15.50	17.42	17.84	15.18	19.46	1.79	50 %
17:40:00	15.49	17.31	17.67	14.75	19.24	0.88	50 %
17:45:00	15.44	17.24	17.52	14.44	19.06	0.45	50 %
17:50:00	15.45	17.16	17.37	14.15	18.88	0.22	50 %
17:55:00	15.40	17.11	17.26	13.91	18.72	0.18	50 %

Continuación

18:00:00	15.40	17.00	17.13	13.65	18.57	0.19	50 %
18:05:00	15.41	16.93	17.04	13.36	18.44	0.23	50 %
18:10:00	15.38	16.88	16.95	13.09	18.34	0.05	50 %
18:15:00	15.37	16.79	16.85	12.85	18.20	0.04	50 %
18:20:00	15.35	16.75	16.78	12.54	18.08	0.00	50 %
18:25:00	15.35	16.70	16.67	12.32	17.96	0.00	50 %
18:30:00	15.36	16.63	16.58	12.16	17.89	0.00	50 %
18:35:00	15.32	16.58	16.54	11.89	17.80	0.00	50 %
18:40:00	15.34	16.53	16.44	11.70	17.68	0.00	50 %
18:45:00	15.30	16.49	16.35	11.54	17.64	0.00	50 %
18:50:00	15.28	16.45	16.29	11.40	17.55	0.00	50 %
18:55:00	15.27	16.39	16.20	11.25	17.49	0.00	50 %
19:00:00	15.28	16.36	16.14	11.15	17.40	0.00	50 %
19:05:00	15.27	16.32	16.06	11.06	17.35	0.00	50 %
19:10:00	15.27	16.26	16.02	10.94	17.29	0.00	50 %
19:15:00	15.23	16.22	15.97	10.76	17.28	0.00	50 %
19:20:00	15.24	16.21	15.92	10.61	17.18	0.00	50 %
19:25:00	15.22	16.18	15.86	10.49	17.13	0.00	50 %
19:30:00	15.23	16.14	15.82	10.36	17.10	0.00	50 %
19:35:00	15.23	16.11	15.79	10.28	17.04	0.00	50 %
19:40:00	15.20	16.09	15.75	10.19	17.03	0.00	50 %
19:45:00	15.18	16.05	15.72	10.11	16.97	0.00	50 %
19:50:00	15.17	16.03	15.70	10.00	16.93	0.00	50 %
19:55:00	15.17	15.99	15.67	9.95	16.90	0.00	50 %
20:00:00	15.17	15.97	15.60	9.82	16.84	0.00	51 %
20:05:00	15.16	15.94	15.60	9.78	16.82	0.00	51 %
20:10:00	15.17	15.93	15.56	9.79	16.80	0.00	51 %
20:15:00	15.16	15.95	15.56	9.64	16.80	0.00	51 %
20:20:00	15.16	15.89	15.53	9.53	16.76	0.00	51 %
20:25:00	15.15	15.89	15.52	9.46	16.74	0.00	51 %
20:30:00	15.15	15.87	15.48	9.33	16.71	0.00	51 %
20:35:00	15.14	15.85	15.46	9.23	16.69	0.00	51 %
20:40:00	15.11	15.79	15.43	9.11	16.64	0.00	51 %
20:45:00	15.09	15.78	15.38	9.01	16.63	0.00	51 %
20:50:00	15.10	15.75	15.36	8.88	16.61	0.00	51 %
20:55:00	15.06	15.74	15.36	8.85	16.61	0.00	51 %
21:00:00	15.08	15.71	15.34	8.78	16.56	0.00	51 %
21:05:00	15.06	15.71	15.34	8.70	16.56	0.00	51 %
21:10:00	15.04	15.69	15.30	8.64	16.51	0.00	51 %
21:15:00	15.05	15.67	15.28	8.58	16.51	0.00	51 %
21:20:00	15.03	15.63	15.25	8.50	16.51	0.00	51 %
21:25:00	15.04	15.63	15.22	8.41	16.47	0.00	51 %
21:30:00	15.03	15.60	15.23	8.30	16.44	0.00	51 %
21:35:00	15.04	15.60	15.20	8.21	16.45	0.00	51 %
21:40:00	15.01	15.59	15.18	8.16	16.43	0.00	51 %

Continuación

21:45:00	15.01	15.56	15.16	8.05	16.43	0.00	51 %
21:50:00	15.00	15.53	15.15	7.99	16.37	0.00	51 %
21:55:00	14.98	15.51	15.14	7.93	16.36	0.00	51 %
22:00:00	14.97	15.52	15.12	7.84	16.33	0.00	51 %
22:05:00	14.97	15.48	15.12	7.76	16.35	0.00	51 %
22:10:00	14.95	15.46	15.08	7.71	16.33	0.00	51 %
22:15:00	14.93	15.45	15.06	7.67	16.33	0.00	51 %
22:20:00	14.93	15.43	15.07	7.61	16.32	0.00	51 %
22:25:00	14.92	15.40	15.06	7.54	16.29	0.00	51 %
22:30:00	14.89	15.40	15.05	7.51	16.25	0.00	51 %
22:35:00	14.90	15.36	15.00	7.50	16.24	0.00	51 %
22:40:00	14.85	15.34	15.00	7.52	16.24	0.00	51 %
22:45:00	14.87	15.34	14.98	7.47	16.25	0.00	51 %
22:50:00	14.86	15.32	14.98	7.44	16.22	0.00	51 %
22:55:00	14.86	15.32	14.96	7.42	16.20	0.00	51 %
23:00:00	14.88	15.31	14.95	7.36	16.21	0.00	51 %
23:05:00	14.85	15.29	14.93	7.36	16.20	0.00	51 %
23:10:00	14.81	15.27	14.94	7.31	16.17	0.00	51 %
23:15:00	14.81	15.25	14.92	7.24	16.18	0.00	51 %
23:20:00	14.80	15.23	14.88	7.21	16.16	0.00	51 %
23:25:00	14.79	15.23	14.90	7.19	16.13	0.00	51 %
23:30:00	14.80	15.21	14.84	7.09	16.12	0.00	51 %
23:35:00	14.80	15.19	14.84	7.08	16.12	0.00	51 %
23:40:00	14.77	15.18	14.82	6.97	16.10	0.00	51 %
23:45:00	14.75	15.16	14.79	6.93	16.10	0.00	51 %
23:50:00	14.77	15.14	14.80	6.89	16.08	0.00	51 %
23:55:00	14.76	15.14	14.80	6.87	16.09	0.00	51 %

Tabla 28.

Período de evaluación y promedio de datos del sistema de calefacción utilizando tuberías Pex en horas de funcionamiento a partir 09:00 am a 16:00 pm.

Hora	Temp Exterior	Temp Interior	Temp Salida	Temp terma solar	Temp Entrada	Irradiancia W/m ²	HR%
00:00:00	12.26	12.87	12.81	3.61	14.07	0.00	44 %
00:05:00	12.25	12.86	12.80	3.55	14.06	0.00	44 %
00:10:00	12.25	12.85	12.79	3.45	14.07	0.00	44 %
00:15:00	12.23	12.85	12.78	3.39	14.03	0.00	44 %
00:20:00	12.22	12.79	12.76	3.28	14.01	0.00	44 %
00:25:00	12.20	12.77	12.74	3.22	13.99	0.00	44 %
00:30:00	12.19	12.75	12.74	3.11	13.97	0.00	44 %
00:35:00	12.18	12.76	12.70	3.05	13.98	0.00	44 %
00:40:00	12.17	12.72	12.70	3.03	13.98	0.00	44 %

Continuación

00:45:00	12.16	12.71	12.68	2.97	13.95	0.00	44 %
00:50:00	12.16	12.69	12.69	2.88	13.92	0.00	44 %
00:55:00	12.13	12.67	12.69	2.82	13.93	0.00	44 %
01:00:00	12.12	12.65	12.67	2.72	13.91	0.00	44 %
01:05:00	12.13	12.64	12.65	2.62	13.88	0.00	44 %
01:10:00	12.13	12.57	12.64	2.51	13.88	0.00	44 %
01:15:00	12.10	12.58	12.61	2.42	13.86	0.00	44 %
01:20:00	12.09	12.55	12.62	2.34	13.85	0.00	44 %
01:25:00	12.09	12.54	12.59	2.24	13.85	0.00	44 %
01:30:00	12.07	12.52	12.56	2.15	13.84	0.00	44 %
01:35:00	12.07	12.51	12.55	2.05	13.84	0.00	44 %
01:40:00	12.05	12.48	12.56	1.95	13.81	0.00	44 %
01:45:00	12.05	12.45	12.54	1.93	13.83	0.00	44 %
01:50:00	12.02	12.45	12.54	1.81	13.81	0.00	44 %
01:55:00	12.03	12.40	12.54	1.78	13.77	0.00	44 %
02:00:00	12.03	12.41	12.52	1.76	13.75	0.00	44 %
02:05:00	12.00	12.36	12.48	1.73	13.73	0.00	44 %
02:10:00	11.97	12.37	12.46	1.65	13.74	0.00	44 %
02:15:00	11.97	12.36	12.45	1.59	13.71	0.00	44 %
02:20:00	11.98	12.33	12.45	1.56	13.70	0.00	44 %
02:25:00	11.93	12.30	12.43	1.53	13.71	0.00	44 %
02:30:00	11.95	12.29	12.43	1.50	13.71	0.00	44 %
02:35:00	11.90	12.26	12.41	1.45	13.68	0.00	44 %
02:40:00	11.89	12.26	12.40	1.40	13.67	0.00	44 %
02:45:00	11.91	12.23	12.35	1.32	13.66	0.00	44 %
02:50:00	11.92	12.22	12.36	1.23	13.63	0.00	44 %
02:55:00	11.86	12.19	12.33	1.21	13.61	0.00	44 %
03:00:00	11.84	12.18	12.34	1.15	13.59	0.00	44 %
03:05:00	11.82	12.19	12.36	1.05	13.59	0.00	44 %
03:10:00	11.84	12.17	12.32	1.04	13.58	0.00	44 %
03:15:00	11.81	12.13	12.32	1.01	13.59	0.00	44 %
03:20:00	11.79	12.12	12.28	0.92	13.56	0.00	44 %
03:25:00	11.78	12.09	12.28	0.88	13.54	0.00	44 %
03:30:00	11.76	12.08	12.26	0.83	13.53	0.00	44 %
03:35:00	11.73	12.09	12.24	0.78	13.51	0.00	44 %
03:40:00	11.74	12.05	12.21	0.74	13.51	0.00	44 %
03:45:00	11.75	12.03	12.23	0.70	13.48	0.00	44 %
03:50:00	11.72	12.03	12.24	0.63	13.49	0.00	44 %
03:55:00	11.71	11.97	12.22	0.64	13.47	0.00	44 %
04:00:00	11.70	11.98	12.19	0.62	13.45	0.00	44 %
04:05:00	11.67	11.97	12.15	0.59	13.46	0.00	44 %
04:10:00	11.65	11.94	12.15	0.65	13.45	0.00	44 %
04:15:00	11.66	11.93	12.14	0.60	13.41	0.00	44 %
04:20:00	11.65	11.90	12.12	0.58	13.41	0.00	44 %
04:25:00	11.63	11.92	12.11	0.54	13.38	0.00	44 %

Continuación

04:30:00	11.61	11.90	12.09	0.53	13.38	0.00	44 %
04:35:00	11.61	11.89	12.07	0.53	13.38	0.00	44 %
04:40:00	11.58	11.88	12.08	0.50	13.37	0.00	44 %
04:45:00	11.58	11.85	12.05	0.45	13.36	0.00	44 %
04:50:00	11.55	11.83	12.04	0.42	13.33	0.00	44 %
04:55:00	11.51	11.81	12.04	0.37	13.33	0.00	44 %
05:00:00	11.49	11.80	12.06	0.35	13.32	0.09	44 %
05:05:00	11.51	11.77	11.99	0.27	13.32	0.13	44 %
05:10:00	11.47	11.76	11.98	0.23	13.31	0.07	44 %
05:15:00	11.48	11.73	11.97	0.21	13.27	0.08	44 %
05:20:00	11.46	11.72	11.94	0.22	13.25	0.07	44 %
05:25:00	11.42	11.69	11.95	0.28	13.24	0.00	44 %
05:30:00	11.42	11.69	11.92	0.43	13.24	0.07	44 %
05:35:00	11.42	11.69	11.91	0.49	13.23	0.23	44 %
05:40:00	11.40	11.67	11.90	0.47	13.22	0.83	44 %
05:45:00	11.37	11.66	11.89	0.45	13.17	1.88	44 %
05:50:00	11.35	11.64	11.89	0.40	13.19	3.29	44 %
05:55:00	11.35	11.63	11.86	0.47	13.16	5.40	44 %
06:00:00	11.34	11.61	11.82	0.48	13.16	11.47	44 %
06:05:00	11.33	11.59	11.81	0.53	13.15	25.09	44 %
06:10:00	11.30	11.59	11.81	0.47	13.13	47.50	44 %
06:15:00	11.30	11.58	11.80	0.59	13.11	76.20	44 %
06:20:00	11.30	11.57	11.81	0.63	13.11	101.31	44 %
06:25:00	11.30	11.62	11.80	0.81	13.09	123.13	44 %
06:30:00	11.28	11.61	11.79	1.01	13.09	145.09	44 %
06:35:00	11.26	11.61	11.78	1.12	13.09	172.36	44 %
06:40:00	11.24	11.64	11.77	1.35	13.07	195.26	44 %
06:45:00	11.27	11.66	11.75	1.53	13.06	215.52	44 %
06:50:00	11.26	11.68	11.73	1.80	13.08	226.33	43 %
06:55:00	11.24	11.69	11.75	2.10	13.07	248.84	43 %
07:00:00	11.26	11.74	11.72	2.40	13.04	265.30	43 %
07:05:00	11.23	11.75	11.76	2.70	13.05	291.29	43 %
07:10:00	11.24	11.79	11.73	3.04	13.04	311.42	43 %
07:15:00	11.23	11.82	11.73	3.38	13.04	333.33	43 %
07:20:00	11.23	11.87	11.74	3.86	13.04	349.57	43 %
07:25:00	11.23	11.88	11.75	4.39	13.02	373.62	43 %
07:30:00	11.24	11.91	11.73	5.55	13.02	393.86	43 %
07:35:00	11.26	11.96	11.74	6.76	13.02	410.59	43 %
07:40:00	11.24	11.98	11.72	8.03	13.00	435.70	43 %
07:45:00	11.23	12.02	11.74	9.04	13.05	461.16	43 %
07:50:00	11.22	12.06	11.75	15.23	12.99	489.05	43 %
07:55:00	11.24	12.12	11.78	31.67	12.99	507.38	43 %
08:00:00	11.26	12.16	11.81	40.80	13.04	526.52	43 %
08:05:00	11.28	12.21	11.91	60.51	13.24	550.93	43 %
08:10:00	11.27	12.24	11.99	70.63	13.28	577.44	43 %

Continuación

08:15:00	11.32	12.29	11.97	71.25	13.30	598.22	43 %
08:20:00	11.30	12.34	11.98	71.05	13.29	618.68	43 %
08:25:00	11.30	12.40	12.00	72.19	13.29	636.57	43 %
08:30:00	11.33	12.47	11.96	73.28	13.29	656.38	43 %
08:35:00	11.35	12.48	11.95	74.53	13.25	673.85	42 %
08:40:00	11.36	12.55	11.98	75.67	13.30	699.37	42 %
08:45:00	11.35	12.56	11.95	71.36	13.29	714.01	42 %
08:50:00	11.39	12.64	11.95	72.04	13.25	729.77	42 %
08:55:00	11.38	12.70	11.97	66.63	13.24	751.65	42 %
09:00:00	11.40	12.74	11.96	68.49	13.22	748.18	42 %
09:05:00	11.37	12.87	12.76	58.14	39.56	767.21	42 %
09:10:00	11.36	12.93	31.72	55.23	51.62	798.58	42 %
09:15:00	11.39	13.11	36.13	52.00	52.78	787.68	42 %
09:20:00	11.47	13.33	34.58	68.32	49.62	799.58	42 %
09:25:00	11.41	13.60	44.02	52.87	56.27	834.79	43 %
09:30:00	11.42	13.89	50.63	52.58	55.79	844.93	43 %
09:35:00	11.55	14.08	45.59	51.86	50.90	869.46	43 %
09:40:00	11.55	14.34	44.53	60.19	55.82	861.94	43 %
09:45:00	11.48	14.56	50.01	53.11	56.44	914.57	43 %
09:50:00	11.54	14.66	49.96	51.76	55.21	888.10	43 %
09:55:00	11.62	14.76	44.72	57.15	48.97	899.74	43 %
10:00:00	11.55	14.82	45.42	54.06	57.73	907.02	44 %
10:05:00	11.57	15.12	51.99	53.45	56.68	909.63	44 %
10:10:00	11.69	15.19	47.87	52.63	52.76	894.37	44 %
10:15:00	11.69	15.38	45.78	64.39	53.19	929.09	44 %
10:20:00	11.64	15.50	48.96	53.95	57.30	912.64	44 %
10:25:00	11.72	15.57	51.08	53.48	56.11	941.42	44 %
10:30:00	11.77	15.63	46.39	53.93	51.73	939.86	44 %
10:35:00	11.76	15.73	46.33	55.65	58.57	969.83	44 %
10:40:00	11.74	15.91	52.39	54.25	57.60	954.31	44 %
10:45:00	11.86	15.90	49.92	52.28	55.34	945.76	44 %
10:50:00	11.92	15.98	46.58	65.48	51.69	968.87	44 %
10:55:00	11.79	16.01	47.58	54.96	58.25	961.40	44 %
11:00:00	11.83	16.20	52.66	54.49	57.61	977.39	44 %
11:05:00	11.94	16.19	48.00	53.13	53.45	979.12	44 %
11:10:00	11.90	16.25	47.29	62.56	57.33	985.91	44 %
11:15:00	11.87	16.24	51.23	55.71	58.01	983.73	44 %
11:20:00	11.94	16.35	51.71	53.76	57.35	967.77	44 %
11:25:00	12.01	16.43	47.33	61.30	51.12	960.42	44 %
11:30:00	11.91	16.45	46.97	55.82	59.28	961.58	44 %
11:35:00	11.91	16.54	53.15	55.21	58.58	981.82	44 %
11:40:00	12.06	16.55	49.73	53.43	54.88	985.05	44 %
11:45:00	12.05	16.55	47.98	69.17	53.87	988.42	44 %
11:50:00	11.96	16.67	49.41	56.41	58.65	1011.28	44 %
11:55:00	12.03	16.69	52.92	54.97	58.56	995.64	44 %

Continuación

12:00:00	12.13	16.74	47.64	56.21	53.03	968.09	44 %
12:05:00	12.04	16.79	47.55	57.30	59.82	934.53	44 %
12:10:00	12.05	16.74	53.30	56.84	58.60	980.77	44 %
12:15:00	12.15	16.88	51.36	54.53	56.80	968.09	44 %
12:20:00	12.20	16.88	48.95	69.63	53.10	948.82	44 %
12:25:00	12.14	16.94	48.87	56.52	59.63	976.56	44 %
12:30:00	12.14	16.92	54.03	56.20	59.29	970.51	44 %
12:35:00	12.30	17.05	49.46	54.61	54.85	943.08	44 %
12:40:00	12.24	16.98	48.91	64.80	58.14	959.72	44 %
12:45:00	12.18	17.13	52.38	57.41	59.28	931.78	44 %
12:50:00	12.27	17.15	53.05	55.93	58.53	906.77	44 %
12:55:00	12.34	17.16	48.80	63.89	53.21	905.39	44 %
13:00:00	12.28	17.17	48.96	57.61	61.13	899.47	44 %
13:05:00	12.27	17.28	54.68	57.01	60.20	870.69	44 %
13:10:00	12.39	17.29	51.45	54.78	56.93	888.84	44 %
13:15:00	12.40	17.26	50.11	71.54	55.27	846.75	44 %
13:20:00	12.33	17.30	51.11	58.21	60.36	836.64	44 %
13:25:00	12.35	17.41	54.26	57.27	59.78	838.32	44 %
13:30:00	12.47	17.38	49.95	60.68	54.53	809.55	44 %
13:35:00	12.41	17.41	49.26	58.60	61.30	782.37	44 %
13:40:00	12.38	17.36	54.58	58.03	60.02	752.69	44 %
13:45:00	12.49	17.47	52.57	55.59	58.07	745.12	44 %
13:50:00	12.54	17.51	50.23	69.57	54.12	750.36	44 %
13:55:00	12.41	17.64	49.72	57.32	60.60	753.91	44 %
14:00:00	12.46	17.49	54.97	56.92	60.10	755.21	44 %
14:05:00	12.62	17.57	50.38	55.16	56.00	714.85	44 %
14:10:00	12.59	17.59	49.79	64.03	59.07	750.70	44 %
14:15:00	12.50	17.52	52.92	57.93	60.03	693.60	44 %
14:20:00	12.61	17.54	53.55	56.64	58.93	707.48	43 %
14:25:00	12.70	17.61	49.11	62.98	53.79	669.71	44 %
14:30:00	12.59	17.50	49.34	57.71	61.21	683.30	44 %
14:35:00	12.62	17.55	55.42	57.21	60.56	648.53	44 %
14:40:00	12.77	17.63	51.25	55.04	57.16	627.96	44 %
14:45:00	12.78	17.57	49.69	70.76	55.40	588.67	43 %
14:50:00	12.67	17.68	51.04	57.36	60.47	574.99	44 %
14:55:00	12.70	17.65	54.50	57.08	59.70	534.35	44 %
15:00:00	12.86	17.62	49.55	57.33	54.38	542.14	43 %
15:05:00	12.74	17.59	49.64	58.28	61.11	517.18	43 %
15:10:00	12.68	17.73	54.48	57.42	59.92	497.10	43 %
15:15:00	12.82	17.70	52.51	55.51	57.60	484.41	43 %
15:20:00	12.87	17.77	48.86	63.58	54.05	474.82	43 %
15:25:00	12.74	17.76	49.90	56.73	60.10	446.12	43 %
15:30:00	12.77	17.71	54.52	56.03	59.22	421.73	43 %
15:35:00	12.98	17.69	49.71	53.58	54.62	415.92	43 %
15:40:00	12.89	17.54	48.57	59.54	58.58	388.61	43 %

Continuación

15:45:00	12.80	17.59	52.09	55.63	58.68	378.43	43 %
15:50:00	12.89	17.71	52.16	53.81	57.07	349.18	43 %
15:55:00	12.98	17.66	47.27	52.17	51.97	320.71	43 %
16:00:00	12.83	17.51	48.08	54.76	58.12	298.25	43 %
16:05:00	12.98	17.57	49.02	50.99	54.65	278.77	43 %
16:10:00	13.02	17.56	43.86	50.48	48.65	248.30	43 %
16:15:00	13.02	17.52	39.89	51.05	43.51	223.73	43 %
16:20:00	13.01	17.42	36.91	51.63	39.85	213.78	44 %
16:25:00	13.05	17.38	34.14	50.52	36.51	193.84	44 %
16:30:00	13.01	17.28	31.72	48.04	33.69	167.28	44 %
16:35:00	13.00	17.19	29.65	45.65	31.23	144.73	43 %
16:40:00	12.98	17.09	27.82	43.26	29.13	127.98	43 %
16:45:00	12.94	17.00	26.27	41.04	27.44	102.75	43 %
16:50:00	12.94	16.89	24.89	38.73	25.90	82.75	43 %
16:55:00	12.88	16.76	23.67	36.55	24.65	60.51	43 %
17:00:00	12.90	16.64	22.68	34.35	23.64	36.77	43 %
17:05:00	12.90	16.60	21.71	32.32	22.64	14.68	43 %
17:10:00	12.88	16.46	20.94	30.39	21.88	8.70	43 %
17:15:00	12.83	16.36	20.23	28.56	21.23	4.99	43 %
17:20:00	12.81	16.23	19.57	26.75	20.64	3.00	43 %
17:25:00	12.80	16.12	18.96	25.08	20.07	1.73	43 %
17:30:00	12.77	15.98	18.41	23.50	19.61	0.85	43 %
17:35:00	12.75	15.86	17.95	22.07	19.16	0.49	43 %
17:40:00	12.77	15.74	17.54	20.82	18.77	0.34	43 %
17:45:00	12.73	15.63	17.13	19.67	18.41	0.30	43 %
17:50:00	12.72	15.52	16.80	18.68	18.08	0.27	43 %
17:55:00	12.75	15.43	16.50	17.74	17.80	0.22	43 %
18:00:00	12.74	15.33	16.21	16.88	17.54	0.18	43 %
18:05:00	12.72	15.25	15.95	16.11	17.33	0.11	43 %
18:10:00	12.69	15.15	15.74	15.40	17.08	0.12	43 %
18:15:00	12.69	15.05	15.51	14.82	16.89	0.14	43 %
18:20:00	12.70	14.99	15.33	14.22	16.69	0.00	43 %
18:25:00	12.69	14.92	15.16	13.74	16.51	0.00	43 %
18:30:00	12.69	14.85	14.99	13.31	16.38	0.00	43 %
18:35:00	12.67	14.77	14.87	12.83	16.23	0.00	43 %
18:40:00	12.64	14.72	14.72	12.45	16.11	0.00	43 %
18:45:00	12.66	14.64	14.64	12.09	15.96	0.00	43 %
18:50:00	12.64	14.56	14.53	11.72	15.87	0.00	43 %
18:55:00	12.65	14.51	14.44	11.38	15.75	0.00	43 %
19:00:00	12.63	14.44	14.33	11.00	15.69	0.00	43 %
19:05:00	12.64	14.39	14.26	10.71	15.58	0.00	43 %
19:10:00	12.62	14.36	14.16	10.49	15.49	0.00	43 %
19:15:00	12.60	14.28	14.10	10.19	15.42	0.00	43 %
19:20:00	12.61	14.23	14.02	10.00	15.32	0.00	43 %
19:25:00	12.58	14.18	13.97	9.78	15.28	0.00	43 %

Continuación

19:30:00	12.60	14.13	13.90	9.59	15.24	0.00	43 %
19:35:00	12.57	14.08	13.87	9.38	15.19	0.00	43 %
19:40:00	12.58	14.04	13.80	9.21	15.12	0.00	43 %
19:45:00	12.56	14.00	13.75	9.06	15.06	0.00	43 %
19:50:00	12.55	13.97	13.71	8.94	15.01	0.00	43 %
19:55:00	12.56	13.94	13.66	8.79	14.97	0.00	43 %
20:00:00	12.55	13.91	13.64	8.63	14.94	0.00	43 %
20:05:00	12.54	13.88	13.60	8.48	14.88	0.00	43 %
20:10:00	12.54	13.86	13.58	8.30	14.85	0.00	43 %
20:15:00	12.54	13.83	13.53	8.16	14.81	0.00	43 %
20:20:00	12.54	13.80	13.48	8.00	14.79	0.00	43 %
20:25:00	12.52	13.76	13.48	7.81	14.75	0.00	43 %
20:30:00	12.49	13.71	13.46	7.65	14.71	0.00	43 %
20:35:00	12.52	13.68	13.43	7.51	14.69	0.00	43 %
20:40:00	12.49	13.67	13.38	7.37	14.64	0.00	43 %
20:45:00	12.50	13.64	13.35	7.22	14.63	0.00	43 %
20:50:00	12.47	13.61	13.34	7.11	14.61	0.00	43 %
20:55:00	12.46	13.58	13.32	6.96	14.59	0.00	43 %
21:00:00	12.46	13.56	13.28	6.84	14.56	0.00	43 %
21:05:00	12.45	13.51	13.27	6.76	14.52	0.00	43 %
21:10:00	12.45	13.51	13.24	6.62	14.52	0.00	43 %
21:15:00	12.44	13.45	13.24	6.50	14.49	0.00	43 %
21:20:00	12.42	13.45	13.22	6.35	14.45	0.00	43 %
21:25:00	12.42	13.44	13.20	6.22	14.45	0.00	43 %
21:30:00	12.43	13.39	13.16	6.10	14.41	0.00	43 %
21:35:00	12.42	13.37	13.15	5.96	14.40	0.00	43 %
21:40:00	12.39	13.36	13.13	5.86	14.38	0.00	43 %
21:45:00	12.38	13.32	13.12	5.78	14.37	0.00	43 %
21:50:00	12.36	13.29	13.11	5.72	14.35	0.00	43 %
21:55:00	12.37	13.29	13.07	5.65	14.32	0.00	43 %
22:00:00	12.38	13.26	13.05	5.63	14.31	0.00	43 %
22:05:00	12.38	13.24	13.04	5.54	14.31	0.00	43 %
22:10:00	12.38	13.22	13.01	5.43	14.30	0.00	43 %
22:15:00	12.36	13.18	13.03	5.36	14.28	0.00	43 %
22:20:00	12.35	13.18	12.99	5.28	14.24	0.00	43 %
22:25:00	12.32	13.16	12.99	5.21	14.24	0.00	43 %
22:30:00	12.32	13.12	12.95	5.11	14.22	0.00	43 %
22:35:00	12.31	13.11	12.93	5.02	14.20	0.00	43 %
22:40:00	12.32	13.08	12.93	4.96	14.18	0.00	43 %
22:45:00	12.29	13.07	12.92	4.86	14.18	0.00	43 %
22:50:00	12.27	13.04	12.92	4.79	14.17	0.00	43 %
22:55:00	12.28	13.02	12.88	4.68	14.16	0.00	43 %
23:00:00	12.24	13.01	12.86	4.61	14.15	0.00	43 %
23:05:00	12.25	12.99	12.87	4.55	14.12	0.00	43 %
23:10:00	12.24	12.99	12.83	4.42	14.10	0.00	43 %

Continuación

23:15:00	12.26	12.93	12.83	4.29	14.09	0.00	43 %
23:20:00	12.23	12.91	12.80	4.18	14.08	0.00	43 %
23:25:00	12.22	12.91	12.81	4.12	14.07	0.00	43 %
23:30:00	12.21	12.87	12.79	4.03	14.05	0.00	43 %
23:35:00	12.22	12.86	12.77	3.96	14.06	0.00	43 %
23:40:00	12.20	12.85	12.78	3.88	14.04	0.00	43 %
23:45:00	12.20	12.82	12.75	3.76	13.98	0.00	43 %
23:50:00	12.19	12.81	12.75	3.67	13.98	0.00	43 %
23:55:00	12.14	12.79	12.74	3.61	13.98	0.00	43 %

UNW

UNW