



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



**“CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UNA VIVIENDA
RÚSTICA DE LA REGIÓN PUNO PARA PRUEBAS DE
CALEFACCIÓN SOLAR POR PISO RADIANTE”**

PRESENTADO POR:

Edgar Qquelcca Roa

Ever Yournet Aguilar Lope

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

Asesor: Dr. Henry Pizarro Viveros

JULIACA - PERÚ

2022



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



**“CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UNA VIVIENDA
RÚSTICA DE LA REGIÓN PUNO PARA PRUEBAS DE
CALEFACCIÓN SOLAR POR PISO RADIANTE”**

PRESENTADO POR:

Edgar Qquelcca Roa

Ever Yournet Aguilar Lope

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

Asesor: Dr. Henry Pizarro Viveros

JULIACA - PERÚ

2022

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



**“CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UNA VIVIENDA
RÚSTICA DE LA REGIÓN PUNO PARA PRUEBAS DE CALEFACCIÓN
SOLAR POR PISO RADIANTE”**

Edgar Qquelcca Roa

Ever Yournet Aguilar Lope

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO EN ENERGÍAS
RENOVABLES

Asesor:

Dr. Henry Pizarro Viveros

Juliaca, 2022

Ficha catalográfica

Qquelcca, E. & Aguilar, E. (2022). *Construcción e implementación de una vivienda rústica de la región puno para pruebas de calefacción solar por piso radiante* (Tesis de ingeniería). Universidad Nacional de Juliaca.

AUTOR: Edgar Qquelcca Roa, Ever Yournet Aguilar Lope

TÍTULO: Construcción e implementación de una vivienda rústica de la región puno para pruebas de calefacción solar por piso radiante.

PUBLICACIÓN: Juliaca, 2022

DESCRIPCIÓN: Cantidad de páginas (124 pp)

CÓDIGO: 02-000011-02/QA231

NOTA: Incluye bibliografía

ASESOR: Dr Henry Pizarro Viveros

PALABRAS CLAVE: Calefacción, casa rustica, colector solar, piso radiante, radiación solar.

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

“CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UNA VIVIENDA RÚSTICA
DE LA REGIÓN PUNO PARA PRUEBAS DE CALEFACCIÓN SOLAR POR PISO
RADIANTE”

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO EN ENERGÍAS RENOVABLES

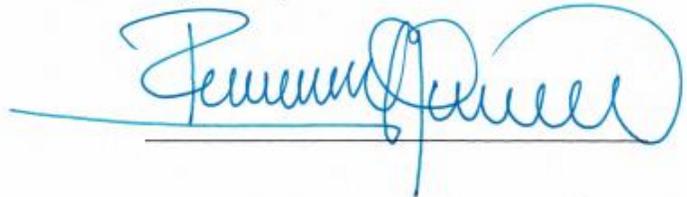
Presentado por:

Edgar Qquelcca Roa

Ever Yournet Aguilar Lope

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

M. Sc. Reynaldo Condori Yucra
PRESIDENTE DE JURADO



M. Sc. Armando Antonio Salinas del Carpio
JURADO (secretario)



2° MIEMBRO

M. Sc. Elmer Rodrigo Aquino Larico
JURADO (vocal)



3° MIEMBRO



Dr. Henry Pizarro Viveros
ASESOR DE TESIS

DEDICATORIA

Este trabajo es dedicado con mucho cariño y afecto a mis padres: Miguel Qquelcca y Herminia Roa, por brindarme su apoyo incondicional, y demostrarme con su ejemplo que todas las metas se cumplen con constancia y perseverancia. A mis hermanos Odis y Yaneth que siempre estuvieron apoyándome y creyendo en mí y incentivándome a que este trabajo se haga realidad.

Edgar Qquelcca Roa

A mis padres: Francisco Aguilar y Ines Lope, por ser el motor que impulsa en mis sueños y esperanzas, a mis hermanos Pedro, Julián y Lourdes Aguilar. Y a su apoyo incondicional a Gaby Villanueva, y muchos de mis logros se los debo a ustedes entre los que se incluyen también, me motivaron constantemente para alcanzar mis anhelos.

Ever Yournet Aguilar lope

AGRADECIMIENTOS

A Dios por la darme la vida, y la oportunidad de culminar esta etapa de mi vida satisfactoriamente.

A la escuela profesional de ingeniería en energías renovables y a sus docentes por las enseñanzas impartidas.

A mis padres, hermanos que me apoyaron durante el desarrollo de este trabajo.

Al Sr Hugo y Sra Luz Delia, por abrirme sus puertas de su recinto desde el inicio de mi formación profesional, y por orientarme para seguir el buen camino.

A mi asesor de tesis Dr. Henry Pizarro Viveros por la orientación brindada durante la formulación y ejecución de este trabajo de investigación.

A mis amistades Alex, Lucero, Edwin, Roció que siempre estuvieron apoyándome en el desarrollo del trabajo.

Edgar Qquelcca Roa

La vida se encuentra colmada de retos, cada día escalamos un nuevo desafío que forma parte de nuestras vidas. Agradecer a dios a quien a forjado mi camino. A mis padres por ser mi principal motivación. Agradecer a mi asesor por guiarme y por sus valiosas sugerencias. Agradecer a los docentes de la EPIER por haberme compartido sus mejores conocimientos, experiencias y alientos durante todos estos años. También quiero agradecer a mis amigos(as) y compañeros(as) por sus valiosas sugerencias para terminar el presente proyecto.

Ever Yournet Aguilar Lope

ÍNDICE

| | |
|---|------|
| Dedicatoria | iv |
| Agradecimientos | v |
| Índice de figuras | x |
| Índice de tablas | xii |
| Índice de anexos | xiii |
| Resumen | xv |
| Abstract | xvi |
| Introducción | 17 |
| | |
| CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN | 18 |
| 1.1 Formulación del problema | 19 |
| 1.1.1 Problema general..... | 19 |
| 1.1.2 Problemas específicos | 19 |
| 1.2 Objetivos de la investigación | 19 |
| 1.2.1 Objetivo general | 19 |
| 1.2.2 Objetivos específicos | 19 |
| 1.3 Formulación de hipótesis | 20 |
| 1.3.1 Hipótesis general | 20 |
| 1.3.2 Hipótesis específico | 20 |
| 1.4 Justificación de la investigación | 20 |
| 1.4.1 Justificación técnica | 20 |
| 1.4.2 Justificación social | 20 |
| 1.4.3 Justificación económica | 21 |
| | |
| CAPÍTULO II REVISIÓN DE LA LITERATURA | 22 |
| 2.1 Antecedentes | 22 |
| 2.2 Bases teóricas de la investigación | 24 |
| 2.2.1 Calefacción solar | 24 |
| 2.2.2 Tipos de calefacción solar | 24 |
| 2.2.3 Calefacción por piso radiante..... | 25 |
| 2.2.4 Ventajas y desventajas de la calefacción por piso radiante..... | 25 |
| 2.2.5 Configuración de tuberías | 25 |
| 2.2.6 Componentes de piso radiante | 27 |

| | | |
|---|---|----|
| 2.2.7 | Sistema de control | 29 |
| 2.3 | Marco conceptual..... | 31 |
| 2.3.1 | Energías renovables | 31 |
| 2.3.2 | Energía solar..... | 32 |
| 2.3.3 | Energía solar térmica..... | 32 |
| 2.3.4 | Efecto foto térmico..... | 32 |
| 2.3.5 | Colector solar | 32 |
| 2.3.6 | Tecnología de colectores solares..... | 33 |
| 2.3.7 | Tipos de colectores solares en baja temperatura | 35 |
| 2.3.8 | Colector heat pipe | 35 |
| 2.3.9 | Colector tubos al vacío..... | 36 |
| 2.3.10 | Proceso de generación de agua caliente a través de un colector solar de tubo al vacío | 37 |
| 2.3.11 | Radiación solar..... | 37 |
| CAPÍTULO III MATERIALES Y METODOS | | 39 |
| 3.1 | Ubicación del proyecto | 39 |
| 3.2 | Recursos materiales y equipos | 40 |
| 3.2.1 | Materiales de construcción..... | 40 |
| 3.2.2 | Equipos del sistema de control..... | 42 |
| 3.3 | Software para el desarrollo | 44 |
| 3.4 | Recursos humanos | 44 |
| 3.5 | Metodología | 44 |
| 3.6 | Dimensionamiento del sistema | 44 |
| 3.6.1 | Cálculo de la demanda de energía..... | 44 |
| 3.6.2 | Cargas térmicas de calefacción | 45 |
| 3.7 | Dimensionamiento de carga térmica de vivienda | 48 |
| 3.8 | Construcción de la vivienda..... | 51 |
| 3.8.1 | Modelamiento de la vivienda en AutoCAD..... | 51 |
| 3.9 | Instalación de termas solares..... | 52 |
| 3.10 | Instalación de piso radiante..... | 53 |
| 3.11 | Sistema de control..... | 54 |
| 3.11.1 | Diagrama unifilar | 54 |
| 3.11.2 | Tablero de control | 55 |

| | |
|--|-----------|
| 3.12 Estación meteorológica | 56 |
| 3.13 Costos del proyecto de investigación..... | 57 |
| 3.13.1 Costo de implementación de piso radiante con tubería cobre..... | 57 |
| 3.13.2 Costo de implementación de piso radiante con tubería de Pex | 57 |
| 3.13.3 Desarrollo de software | 57 |
| CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIONES | 59 |
| 4.1 Análisis e interpretación de graficas | 59 |
| 4.2 Análisis por periodo de evaluación de cada sistema de calefacción..... | 59 |
| 4.2.1 Sistema de calefacción solar con tubería cobre..... | 59 |
| 4.2.2 Comportamiento de temperatura en día nublado con sistema de cobre..... | 63 |
| 4.2.3 Sistema de calefacción solar con tubería Pex | 64 |
| 4.2.4 Comportamiento de temperatura en día nublado con sistema de pex | 68 |
| 4.2.5 Comportamiento de temperatura de ambiente interior sin calefacción..... | 69 |
| 4.3 Perdidas de calor de la vivienda y eficiencia de colectores solares | 70 |
| 4.3.1 Perdidas de calor de la vivienda..... | 70 |
| 4.3.2 Eficiencia del colector solar | 71 |
| 4.4 Discusiones | 72 |
| CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... | 73 |
| 5.1 Conclusiones | 73 |
| 5.2 Recomendaciones | 74 |
| CAPÍTULO VI REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 75 |
| ANEXO 1 - Especificaciones técnicas de equipos del sistema de calefacción | 76 |
| ANEXO 2 - Dimensionamiento de corrección de carga térmica por infiltración aplicados en la vivienda | 80 |
| ANEXO 3 - Dimensionamiento de terma solar para calentamiento de agua | 82 |
| ANEXO 4. Calculo de perdidas de la vivienda y eficiencia del colector solar..... | 92 |
| ANEXO 5 - Proceso de construcción de la vivienda rústica | 97 |
| ANEXO 6 - Programación del sistema de control en tía portal..... | 101 |
| ANEXO 7 - Programación en LabVIEW para obtención de figuras y resultados obtenidos del proyecto de investigación | 104 |
| ANEXO 8. Costo | 104 |
| ANEXO 9 - Resumen de datos promedios de cada tubería | 106 |

Índice de figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1. Vivienda típica de la región alto andina sometida a las bajas temperaturas en época de invierno (Andes, 2019) | 15 |
| Figura 2. Tuberías de piso radiante: (a) tuberías de cobre, (b) tuberías de termoplástico, (c) sistema de calefacción solar por piso radiante (Hidrosun, 2019). | 17 |
| Figura 3. Casa rustica típica de zonas alto andinas (Ramos et al., 2013)..... | 18 |
| Figura 4. Serpentín simple (Aquatechn, 2019)..... | 26 |
| Figura 5. Distribución en doble serpentín (Aquatechn, 2019) | 26 |
| Figura 6. Distribución en espiral (Aquatechn, 2019). | 27 |
| Figura 7. Bomba de agua caliente Pedrollo..... | 28 |
| Figura 8. Plancha de poli estireno expandido (Solingener, 2020)..... | 28 |
| Figura 9. Conductores de caloportadores a) Tubería de pex al pex. b) Tubería de cobre (Hidrosun, 2019)..... | 29 |
| Figura 10. Controlador lógico programable. | 29 |
| Figura 11. Variador de frecuencia ATV12H075M2. | 30 |
| Figura 12. Sensor de temperatura PT 100 de tres hilos..... | 31 |
| Figura 13. Transmisor de temperatura..... | 31 |
| Figura 14. Sistema de funcionamiento de colectores solares (Canarias, 2007). | 32 |
| Figura 15. Tecnología de colectores solares en baja temperatura (Alfa, 2015). | 33 |
| Figura 16. Colector cilíndrico parabólico (Clementi, 2020). | 34 |
| Figura 17. Heliostato con receptor central en torre (Clementi, 2020)..... | 34 |
| Figura 18. Colector solar plano (Leadsun, 2022). | 35 |
| Figura 19. Colector solar heat pipe (Solingener, 2020)..... | 36 |
| Figura 20. Colector solar de tubo al vacío (Diario, 2019)..... | 36 |
| Figura 21. Sistema de producción de agua caliente sanitaria (Molina, 2016)..... | 37 |
| Figura 22. Tipos de radiación solar (Caceres, 2014)..... | 38 |

| | |
|---|----|
| Figura 23. Ubicación de del proyecto (Google Earth, 2022)..... | 39 |
| Figura 24. Plano de la vivienda rustica vista planta. | 40 |
| Figura 25. Plano de la vivienda vista lateral..... | 51 |
| Figura 26. Modelado en AutoCAD 3D de la vivienda. | 52 |
| Figura 27. Mecanismo de transferencia de calor..... | 52 |
| Figura 28. Instalación de termas solares..... | 53 |
| Figura 29. Diagrama representativo de instalación de piso radiante..... | 54 |
| Figura 30. Diagrama unifilar del sistema de control. | 55 |
| Figura 31. Tablero control instalado para el sistema de calefacción..... | 56 |
| Figura 32. Estación meteorológica Alfa y Omega modelo WS Gp2..... | 56 |
| Figura 33. Interfaz de LabVIEW para graficar los datos (Elaboración propia). | 58 |
| Figura 34: Ubicación del piso radiante con tubería cobre y sensor PT 100. | 60 |
| Figura 35. Comportamiento de temperatura en el periodo de evaluación de sistema cobre. | 62 |
| Figura 36. Comportamiento de todas las temperaturas medidas en el periodo de evaluación del sistema cobre..... | 62 |
| Figura 37. Comportamiento de temperatura interna en un día nublado con el sistema de tubería cobre..... | 64 |
| Figura 38. Ubicación del piso radiante con tubería Pex y sensor PT 100. | 65 |
| Figura 39. Comportamiento de temperatura en el periodo de evaluación sistema Pex..... | 67 |
| Figura 40. Comportamiento de todas las temperaturas medidas..... | 68 |
| Figura 41. Comportamiento de temperatura en día nublado con el sistema de tubería de Pex..... | 69 |
| Figura 42. Comportamiento de la temperatura interior sin calefacción mes de julio..... | 70 |
| Figura 43: Especificaciones técnicas de bomba Pedrollo (Pedrollo, 2015). | 79 |
| Figura 44: Especificaciones técnicas Controlador Lógico Programable PLC (Siemens, 2022). | 80 |
| Figura 45. Especificación técnica de variador de frecuencia (Schneider, 2022)..... | 81 |

| | |
|--|-----|
| Figura 46. Especificaciones técnicas del sensor de temperatura PT 100 (Alem, 2015)..... | 81 |
| Figura 47. Especificación técnica de transmisor de temperatura (Disai, 2022). | 82 |
| Figura 48. Factor de correccion (AENOR, 2017). | 83 |
| Figura 49. Transmitancia térmica (AENOR, 2017). | 84 |
| Figura 50. Índice de renovación mínima del aire exterior, n_{min} | 84 |
| Figura 51. Factor de recalentamiento fRH , para edificios no residenciales | 85 |
| Figura 52. Transpiración de personas según su desempeño | 85 |
| Figura 53. Especificaciones de cimentación y levantamiento de muro..... | 100 |
| Figura 54. Levantamiento de paredes de la vivienda. | 100 |
| Figura 55. Techado de la vivienda rustica..... | 100 |
| Figura 56. Acabado exterior y colocación de puertas y ventanas. | 101 |
| Figura 57. Colocación de techo falso y acabado interior. | 101 |
| Figura 58. Pintado de muro interiores. | 102 |
| Figura 59. Nivelado, compactado y trazado del piso se la vivienda. | 102 |
| Figura 60. Tendido de polietileno en piso y armado de guía y soporte del serpentín. | 103 |
| Figura 61. Tendido de Poli Estireno Expandido y de tubería..... | 103 |
| Figura 62. Instalación de la bomba y entablado con madera machihembrada. | 104 |
| Figura 63. Programación de entradas analógicas. | 105 |
| Figura 64. Programación las horas de trabajo de la bomba..... | 106 |
| Figura 65. Programación de adquisición de datos..... | 107 |
| Figura 66. Diagrama de programacion en LabVIEW para la generación de las figuras en base a los resultados obtenidos. | 108 |
| Figura 67. Codigo de programacion en Phayton para realozar promedio cada 5 minutos..... | 108 |

Índice de tablas

| | |
|---|-----|
| Tabla 1 Materiales de construcción..... | 40 |
| Tabla 2 Equipos utilizados para el presente trabajo. | 43 |
| Tabla 3 Conductividad térmica de los materiales..... | 48 |
| Tabla 4 Cálculos de carga térmica por transmisión..... | 48 |
| Tabla 5 Tabla infiltración y carga térmica total de la vivienda..... | 49 |
| Tabla 6. Las ganancias de energía internas | 50 |
| Tabla 7. Resultados del balance térmico en la vivienda..... | 50 |
| Tabla 8 Promedio de datos en el periodo de evaluación del sistema de calefacción con tubería de cobre..... | 60 |
| Tabla 9 Salto térmico del sistema de tubería de cobre. | 61 |
| Tabla 10 Datos promedios de temperatura registradas con sistema de tubería Pex. | 65 |
| Tabla 11 Salto térmico promedio en sistema de tubería Pex..... | 66 |
| Tabla 12 Promedios de temperatura del día sin calefacción mes de julio..... | 69 |
| Tabla 13 Especificación técnica de tubería de cobre..... | 79 |
| Tabla 14 Especificación técnica de Tubería PEX. | 80 |
| Tabla 15 Costo de construcción de la vivienda. | 109 |
| Tabla 16 Costo de sistema con tubería cobre. | 110 |
| Tabla 17 Costo de sistema de calefacción con tubería Pex. | 110 |
| Tabla 18 Datos promedio de las 24 horas de funcionamiento de sistema de cobre..... | 111 |
| Tabla 19 Datos promedio de las 24 horas de funcionamiento de sistema de PEX..... | 118 |

RESUMEN

La utilización de las energías renovables para evitar el calentamiento global en el mundo debe ser promovido ampliamente. En la región andina de Puno se tiene una de la más alta irradiancia solar del país, esta energía es utilizada para la generación eléctrica y en forma de energía solar térmica. En la serranía peruana las bajas temperaturas descienden hasta $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$, esto afecta a la población más vulnerable, por tal se construyó un prototipo de vivienda rústica principalmente para realizar pruebas de calefacción solar por piso radiante donde fueron evaluados dos tipos de tubería, la tubería de cobre y la tubería Pex. Donde se analizó el comportamiento de temperatura interior de la vivienda con los dos tipos de tubería instalados. Para este sistema de calefacción se calienta el fluido caloportador (agua) mediante un colector solar de tubos al vacío de 20 tubos. El fluido caloportador circula por una tubería de cobre y PEX de $\frac{1}{2}$ " a una temperatura promedio de $73\text{ }^{\circ}\text{C}$. A través de un sistema de control que cuenta un PLC y un variador de frecuencia, se controla la velocidad de la bomba de 0.5 HP a 900 rpm. El área calefactado es de 12 m^2 donde fueron instalados los serpentines de tubería, primero se instaló la tubería de cobre y en segundo lugar se instaló la tubería PEX. Cada piso radiante instalado se evaluó durante un mes, obteniendo como resultado el sistema de calefacción por tubería cobre tuvo mejor transferencia de calor. La temperatura promedio del interior de la vivienda se mantuvo para tubería de cobre y tubería PEX son $T_{cu} = 16.10\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $T_{Pex} = 15.91\text{ }^{\circ}\text{C}$ respectivamente. Finalmente, este proyecto muestra la factibilidad de instalación de un sistema de calefacción solar aplicado a viviendas rústicas de la región que se torna como una alternativa de solución a los efectos de las bajas temperaturas.

Palabras clave: *Calefacción, casa rustica, colector solar, piso radiante, radiación solar.*

ABSTRACT

The use of renewable energy to prevent global warming in the world should be widely promoted. The Andean region of Puno has one of the highest solar irradiance in the country, this energy is used for electricity generation and in the form of solar thermal energy. In the Peruvian highlands, low temperatures drop to $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$, , this affects the most vulnerable population, for this reason a prototype of rustic housing was built mainly to carry out tests of solar heating by radiant floor where two types of pipe were evaluated, copper tubing and Pex tubing. Where the behavior of the interior temperature of the house with the two types of pipes installed was analyzed. For this heating system, the heat transfer fluid (water) is heated in a vacuum tube solar collector with 20 tubes. The heat transfer fluid circulates through a 0.5" copper and PEX pipe at an average temperature of $73\text{ }^{\circ}\text{C}$. Through a control system that has a PLC and a frequency inverter, the speed of the pump is controlled from 0.5 HP to 900 rpm. The heated area is 12 m^2 where the pipe coils were installed, the copper pipe was installed first and the PEX pipe was installed second. Each installed radiant floor was evaluated for a month, obtaining as a result the copper pipe heating system had better heat transfer. The average temperature inside the house was maintained for copper pipe and PEX pipe to be $T_{cu} = 16.10\text{ }^{\circ}\text{C}$ and $T_{Pex} = 15.91\text{ }^{\circ}\text{C}$, respectively. Finally, this project shows the feasibility of installing a solar heating system applied to rustic homes in the region that becomes an alternative solution to the effects of low temperatures.

Keywords: *Heating, rustic house, solar collector, radiant floor, solar radiation.*

INTRODUCCION

Producto del cambio climático se presentan diversas alteraciones climáticas en el mundo, es así que en la sierra del Perú también se presentan cambios bruscos de la temperatura ambiental que afecta principalmente a las zonas altoandinas del Perú. La Región de Puno es uno de las regiones afectadas con este cambio climático, en la temporada de invierno las temperaturas registradas llegaron a $-21\text{ }^{\circ}\text{C}$ en junio del presente año (SENHAMI, 2020). Las autoridades locales, regionales y nacionales tienen poco interés plantear soluciones definitivas al tema de las bajas temperaturas en la región, solamente presentan paliativos temporales por lo que hasta hoy en día no se ha podido resolver. Al mismo tiempo los pobladores de las zonas alto andinas del Perú no cuentan con los suficientes recursos económicos para mejorar la calidad de vida en las viviendas tradicionales de la región. En la Figura 1, podemos observar una vivienda típica de la región andina construida de material tradicional de adobe que está sometida a las inclemencias del clima (nevada) donde viven en promedio de 5 personas.

En varios lugares del mundo se plantea el uso de sistemas de calefacción para aliviar el frío extremo. Así tenemos calefacción tradicional con calefacción a leña o calefacción con caldera de carbón. En nuestra región que está ubicada cerca de los 4000 msnm, se cuenta con un recurso solar abundante (energía solar térmica y energía solar fotovoltaica) que no se aprovecha en su plenitud o son aprovechados en mayor porcentaje por la generación fotovoltaica.



Figura 1. Vivienda típica de la región alto andina sometida a las bajas temperaturas en época de invierno (Andes, 2019)

En la región andina de Puno se cuenta con un recurso solar altísimo, uno de los más altos del Perú. Según investigaciones realizadas por Chura (2020), indica que la región Puno cuenta con una irradiación promedio anual de 6.056 kWh/ m² día, esto en plano inclinado de 15° grados sexagesimales. En mayor porcentaje este recurso es utilizado para generación fotovoltaica a través de módulos fotovoltaicos sin embargo también se utiliza la energía solar térmica para la obtención de agua caliente sanitaria (ACS) a través de colectores solares de tubos de vacío para aplicaciones domiciliarias. En la región se tiene como temperatura mínima -7.8 °C y como máxima es 18.8 °C (Senamhi, 2020). El interés investigativo se centra en aprovechar la energía solar para utilizarla en un sistema de calefacción solar.

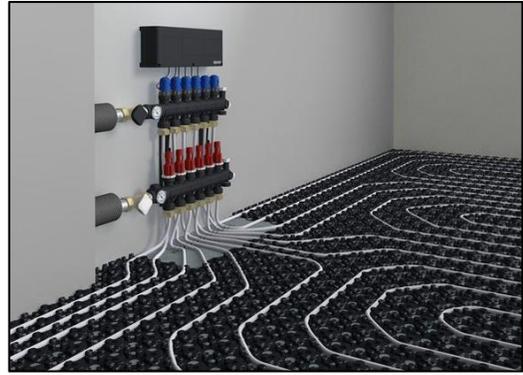
Un sistema de calefacción solar por piso radiante busca aprovechar la energía solar térmica para calentar agua y que esta energía pueda transferirse al interior de la vivienda. Este sistema es silencioso y amigable con el medio ambiente. En el Perú el uso de sistemas de calefacción solar térmica es un tema que está emergiendo con investigaciones aplicadas a zonas alto andinas. La Figura 2, muestra los componentes del sistema de calefacción por piso radiante y los tipos de tubería que son utilizados por este sistema. La tubería de cobre y la tubería de pex transportan el fluido caloportador y se tiene una electrobomba que fuerza la circulación del fluido, un tanque de almacenamiento del fluido caliente y una fuente de calor que en el caso del proyecto será un colector solar de tubos de vacío.

Es en ese sentido, surge la alternativa de solución aplicada a viviendas tradicionales o rústicas de la región que utilicen los sistemas de pisos radiantes para calentar el interior de una vivienda. Con esa finalidad fue construido un prototipo de vivienda rústica muy tradicional de la región andina para instalar y experimentar un sistema de calefacción solar por piso radiante donde fue experimentado el uso de dos tipos de tuberías para determinar el mejor rendimiento del sistema y cuál de ellos responde mejor a las condiciones ambientales en una vivienda rústica. Así se obtuvo un sistema óptimo de calefacción solar mediante piso radiante aplicada a viviendas rústicas que se tornará como una alternativa de solución frente a la problemática existente que puede ser propuesto como alternativa de solución a la sociedad.

a)



b)



c)

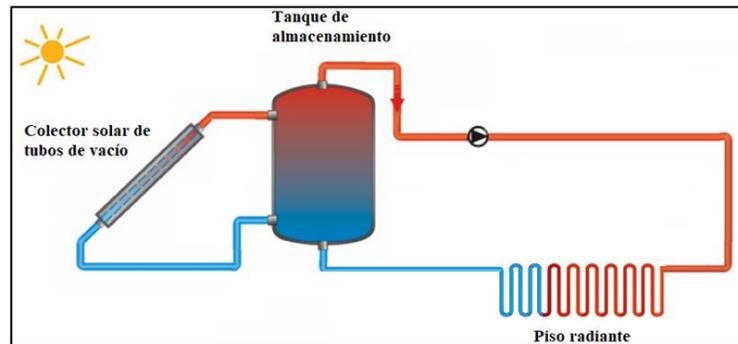


Figura 2. Tuberías de piso radiante: (a) tuberías de cobre, (b) tuberías de termoplástico, (c) sistema de calefacción solar por piso radiante (Hidrosun, 2019).

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

En los últimos años a nivel mundial se registraron cambios bruscos de temperaturas producto del cambio climático de cada año muestra efectos adversos principalmente en poblaciones vulnerables. La emisión de los gases de efecto invernadero y la deforestación creciente en el mundo son los directos responsables de este cambio climático. A esto también se incluye que el cambio de temperatura es seis veces mayor desde el año 1997 hasta 2010 causando sequías, fuertes lluvias, inundaciones, heladas, granizadas, etc (Sussy, 2018).

En las regiones alto andinas del Sur del Perú (Puno y Cusco) el problema que se repite todos los años y que no se ha podido resolver es el de las heladas. Debido a las bajas temperaturas que sufren estos lugares y que provocan efectos adversos en los habitantes, en el ganado y la agricultura es que son necesarias alternativas de solución efectivas. Los meses donde se registran las bajas temperaturas son los meses de junio, julio y agosto (Olivera, 2011). Según estudios realizados por Mercado y Machaca (2017), la región de Puno en los meses ya mencionados la temperatura mínima registrada es de $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$. En la Figura 3, podemos observar una típica casa rústica de zonas alto andinas de la región que están expuestas a las nevadas, heladas y por ende a las bajas temperaturas.

En ese contexto es necesaria plantear alternativas de temas de calefacción que busquen solucionar esta problemática. Para eso se implementó un prototipo de vivienda rústica que sirva como laboratorio donde se evaluó una alternativa de calefacción solar mediante piso radiante utilizando dos tipos de tuberías, de cobre y Pex.



Figura 3. Casa rustica típica de zonas alto andinas (Ramos et al., 2013).

1.1 Formulación del problema

Bajo los argumentos propuestos es que podemos plantear las siguientes interrogantes de investigación:

1.1.1 Problema general

¿La construcción e implementación de una vivienda rústica será apropiada para realizar pruebas de calefacción por piso radiante para contrarrestar las bajas temperaturas?

1.1.2 Problemas específicos

- ¿los componentes y parámetros del sistema de calefacción por piso radiante serán considerados para el dimensionamiento?
- ¿Cómo controlar los parámetros, tiempo activación del sistema de impulsión, temperatura del fluido, temperatura ambiente, con el sistema de control y adquisición de datos implementado en sistema de calefacción de piso radiante?
- ¿Cuál de los dos tipos de tuberías utilizados tendrá una eficiencia térmica mayor en el sistema de calefacción de piso radiante?

1.2 Objetivos de la investigación

1.2.1 Objetivo general

Construir e implementar una vivienda rústica para realizar pruebas de calefacción por piso radiante.

1.2.2 Objetivos específicos

- Dimensionar los componentes y parámetros del sistema de calefacción por piso radiante para la vivienda rústica.
- Implementar un sistema de control y adquisición de datos para las pruebas del sistema de calefacción por piso radiante de la vivienda rústica.
- Determinar cuál de las dos tuberías utilizadas en el sistema tendrá una eficiencia térmica mayor en el sistema por piso radiante.

1.3 Formulación de hipótesis

Bajo el contexto del estudio realizado se plantea las siguientes hipótesis:

1.3.1 Hipótesis general

La construcción e implementación de una vivienda rústica será una alternativa óptima para realizar pruebas de calefacción por piso radiante así contrarrestar las bajas temperaturas.

1.3.2 Hipótesis específico

- los componentes y parámetros del sistema de calefacción por piso radiante serán determinantes en el dimensionamiento del sistema.
- El tiempo de activación del sistema de impulsión, temperatura del fluido, temperatura ambiente serán controlados adecuadamente con el sistema control.
- La tubería de cobre será más adecuado y eficiente térmicamente, y económicamente la será la tubería pex en el sistema de calefacción por piso radiante en la vivienda rústica construida.

1.4 Justificación de la investigación

1.4.1 Justificación técnica

En la presente investigación de calefacción solar por piso radiante es importante porque nos permitió conocer el tipo de tubería con mejor desempeño en condiciones climatologías de zonas alto andinas. Es importante conocer la relación del comportamiento de cada sistema de calefacción instalado con la irradiación solar captada por los colectores solares de tubos al vacío que transferirá la energía solar térmica para aumentar la temperatura del fluido caloportador.

1.4.2 Justificación social

Una contribución importante es la construcción e implementación de un prototipo de vivienda rústica en la región Puno donde se fueron realizadas pruebas de calefacción por piso radiante. Este prototipo de vivienda servirá futuramente para otros proyectos de investigación planteados por los estudiantes de la Escuela Profesional de Ingeniería en Energías Renovables (EPIER) que estudien la calefacción solar térmica utilizando una fuente de energía renovable amigable con el medio ambiente.

1.4.3 Justificación económica

En el análisis de los dos sistemas de calefacción se evaluó el costo de cada uno de los sistemas, así fue determinado el sistema de calefacción más económico. Los materiales utilizados para el presente proyecto son relativamente económicos. Otro aspecto importante es que esta propuesta podrá consolidarse como un desarrollo tecnológico de la EPIER.

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LA LITERATURA

En el siguiente capítulo se presenta la revisión de literatura para la ejecución del presente proyecto de investigación.

2.1 Antecedentes

Como investigaciones internacionales de calefacción por piso radiante podemos mencionar a Andrades (2017), quien implemento de un sistema de calefacción por piso radiante para habitaciones residenciales en Chile. Estudio y analizó los componentes del sistema de calefacción utilizando las variables del área, como geometría, temperaturas y otros. Para este estudio se utilizó un programa de simulación del sistema que contribuyó a confirmar que la mejor forma de calefacción es por piso radiante para distintos tipos de habitaciones. También podemos mencionar a Fernández (2016), quien realizó el estudio de la viabilidad del sistema de calefacción por piso radiante en una estación de inspección de vehículos, también comparó la eficiencia entre dos sistemas de calefacción, uno con calefacción de piso radiante eléctrico y otro con piso radiante de agua. Se realizó el dimensionamiento correspondiente, se tuvo en cuenta que el espesor de concreto por encima del circuito distribución, tiene que ser considerable porque los vehículos estaban en constante movimiento, así llegando a la conclusión que la calefacción por piso radiante eléctrico y agua sus eficiencias son igual, llegando ambos a una temperatura media radiante de 10.25 °C.

La calefacción por piso radiante se aplica en la mayoría de los países donde existe bajas temperaturas, podemos mencionar Villarruel (2010), que desarrollo el proyecto de investigación de calefacción por piso radiante para un salón de eventos, se estudió toda la especificación técnica del salón de eventos para luego realizar el diseño de todo el sistema con sus respectivos cálculos. Al concluir que el diseño y especificaciones técnicas del sistema del piso radiante se elabora un estudio de viabilidad económica del sistema estudiado. Llegando a la conclusión que para mantener la temperatura de 17 °C demanda el calor de 127 189.70 kcal/m². Además de ello la longitud del serpentín no debe supera los 120 m.

En el ámbito nacional también se tiene investigaciones de este rubro podemos mencionar a (Olivera, 2011), que diseñó un piso radiante para la calefacción de una vivienda. Primero se realizó el estudio de la población de Langui - Cusco, luego estudio las diferentes formas de transferencias de calor, el estudio de ventajas y desventajas, y el procedimiento de la instalación del piso radiante, se realizó cálculos para poder elegir los componentes adecuadamente. Los datos climatológicos fueron proporcionados por el centro meteorológico de Sicuani. Con el sistema de piso radiante se logró mantener la temperatura 13 °C. no se llegó a la temperatura deseada que era 18 °C porque la temperatura de ingreso de agua a las tuberías no era lo estimado. La calefacción por piso radiante se pudo adecuar en los diferentes tipos de viviendas como menciona Castro (2018), quien realizó la evaluación y simulación de un sistema de calefacción por piso radiante instalado en un albergue. Se estudió el aporte energético de colectores solares, termo tanque y superficie del piso y su efecto en la temperatura de la habitación. Fue evaluado los datos obtenidos, durante la noche hay un aporte energético mínimo por parte de colectores, termo tanque y piso radiante. Obteniendo como resultado que las fechas más frías son el 30 y 31 de julio, donde la temperatura interior era 7 °C más que la temperatura exterior, lo cual causa un efecto positivo para los pobladores de la zona.

En el ámbito local, los estudios de calefacción por piso radiante también se realizan a escala, podemos mencionar a Berrio & Hanco (2017), que realizaron un diseño de piso radiante en un 1 m² utilizando PCM 45, el diseño del sistema se realizó para las condiciones climatológicas de la ciudad de Puno. Como resultado obtuvieron que el sistema de calefacción sí funciona, y logrando mantener la temperatura interior del prototipo a 20 a 21 °C. También podemos mencionar a (Aquino, 2018), quien determinó el comportamiento de la energía solar para un diseño bioclimático en viviendas, mediante la construcción de un módulo experimental de un piso radiante. Se realizó la recolección de datos de la radiación solar obtenido como un promedio de 1110.04 W/m². Para la recolección de datos se utilizó un solarímetro MAC-SOLAR SLM018c-2. Los datos recolectados fueron analizados para poder hallar las horas solar pico (HSP). Se llegó a la conclusión que con el piso radiante se logró llegar a una temperatura promedio de 20.93 °C, siendo esto dentro del rango del confort adecuado, desde las 6:00 a 21:00 horas.

2.2 Bases teóricas de la investigación

2.2.1 Calefacción solar

La calefacción solar es sistema, donde se aprovecha la radiación solar que mediante los colectores convierte a energía térmica para poder aportar calor a una vivienda y mantener a una cierta temperatura, donde la persona puede tener un cierto confort térmico, la calefacción solar se puede aplicar de diferentes formas, ya sea mediante radiadores solares o piso radiante que se instala en piso de la vivienda para que la transferencia de calor hacia el interior de la vivienda se uniforme.

2.2.2 Tipos de calefacción solar

La literatura muestra que existen diversos tipos de calefacción, en principal se dividen en dos:

a) Calefacción solar pasiva

Este tipo de calefacción tiene la bondad de aprovechar la radiación solar directamente, la energía proveniente del sol no sufre ninguna transformación, este tipo de calefacción se utiliza generalmente para la calefacción de viviendas, antes empezar de construir una vivienda se tiene que realizar ciertas consideraciones, como la orientación, aislamiento térmico, sombras, etc. Con el fin de poder aprovechar al máximo la energía del sol, así mantener la interior vivienda a una cierta temperatura, su principal ventaja es que no requiere de energía eléctrica.

b) Calefacción solar activa

Este tipo de calefacción requiere de colectores solares para poder transformar la radiación solar a energía térmica para poder elevar la temperatura de un fluido, así poder aprovechar para agua caliente sanitaria o calefacción de una vivienda, dentro de la calefacción solar activa se encuentra los sistemas de calefacción por radiadores y por piso radiante en las dos sistemas de calefacción se requiere de una bomba o presurizador de fluido caliente, para hacer circular por el circuito realizado para poder transferir energía calorífica del fluido hacia el interior de la vivienda y mantener a una cierta temperatura agradable para el ser humano.

2.2.3 Calefacción por piso radiante

La calefacción por piso radiante es una tecnología que más se desarrolla en el continente europeo, que poco a poco su tecnología avanza, hasta que hoy conocemos que consiste en distribuir agua caliente u otro fluido caloportador por debajo del piso en forma de serpentines, para mantener a una cierta temperatura el ambiente interior de la vivienda. Esta tecnología se aplica en las zonas donde la temperatura es baja, por ende, en la costa y selva esta tecnología es poca conocida (Olivera, 2011). Por tal este proyecto se aplica en la región de Puno.

2.2.4 Ventajas y desventajas de la calefacción por piso radiante

Esta tecnología de calefacción tiene ventajas y desventajas los más importantes son:

- **Ventajas**
 - ❖ **Confortable:** Es confortable por que la emisión de calor es del piso, realizando una distribución de calor ideal en la vivienda.
 - ❖ **Invisible:** El sistema de piso radiante esta instalados en inferior del piso por tal no ocupa espacio dentro de la vivienda
 - ❖ **Saludable:** Ya que no genera efectos secundarios en sistema respiratorio, no levanta polvo, no genera corrientes de aire dentro de la vivienda.
- **Desventajas**
 - ❖ **Costo de instalación:** Este tipo de sistema tiene un costo inicial de instalación considerablemente alto por los componentes que se requiere para su instalación.
 - ❖ **Alta inercia térmica:** existe inercia térmica alta por que el fluido calor portador tendrá que calentar primero al material del piso que está por encima de la tubería que está en forma de serpentines.

2.2.5 Configuración de tuberías

El sistema cuenta con tuberías que están instalados en el piso de la vivienda, existen formas de instalación y distribución de esto es definido por el instalador del sistema, a continuación, mencionamos a tres diferentes formas de instalar la tubería.

a) **Distribución en serpentín**

Es la forma más sencilla de distribuir el fluido caloportador, pero tiene un inconveniente con la distribución de calor, porque el lado de la entrada de agua caliente tiene más posibilidad de calentar el ambiente más rápido que el lado de salida de agua, en la figura 4, se observa este tipo de distribución.

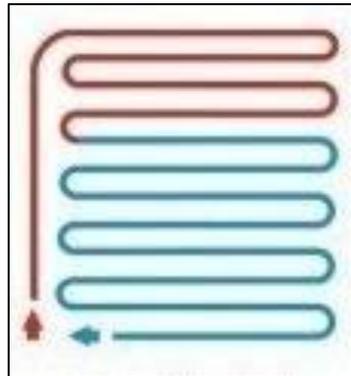


Figura 4. Serpentín simple (Aquatechn, 2019).

b) **Distribución en doble serpentín**

Esta forma de distribución del fluido, no tiene inconvenientes con la distribución de calor ya que por toda la distribución el agua caliente de entrada está acompañada con agua de salida, el inconveniente aparece al momento de instalar, por el área de calefactar muchas veces se genera radios muy pequeños el cual dificulta la instalación el sistema de distribución, figura 5, se observa este tipo de distribución.

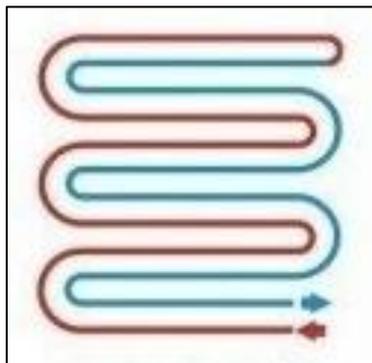


Figura 5. Distribución en doble serpentín (Aquatechn, 2019)

c) Distribución en espiral

Esta forma de distribución de fluido, tampoco tiene inconvenientes al momento de distribuir del calor hacía el interior de la vivienda, tampoco se genera radios pequeños al momento de instalar tal como se observa en la Figura 6, por tal este tipo de distribución de tuberías para el fluido caloportador es recomendable para el sistema de calefacción de piso radiante.



Figura 6. Distribución en espiral (Aquatechn, 2019).

2.2.6 Componentes de piso radiante

a) Bomba de agua caliente

Es el componente que se encarga de impulsar el fluido para que circule por los serpentines instalados en el interior de la vivienda. La bomba de agua que se utilizó es de 0.5 HP las especificidades técnicas se pueden ver en el anexo 1 (figura 42). En la Figura 7, se muestra una bomba de agua caliente, teniendo en cuenta que la bomba de agua fría puede trabajar con fluidos que tengan una temperatura no mayor a 43 °C, A diferencia de lo que se utilizó una bomba de agua caliente que puede trabajar con fluidos con una temperatura, mayor a 43 °C.

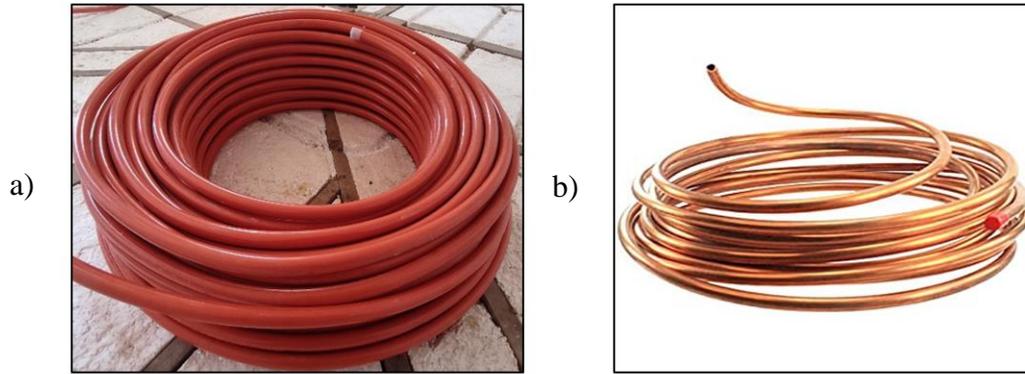


Figura 9. Conductores de caloportadores a) Tubería de pex al pex. b) Tubería de cobre (Hidrosun, 2019).

2.2.7 Sistema de control

El sistema de control es importante, ya que es el gradúa el flujo de agua, el tiempo de funcionamiento de la bomba y su respectiva recolección de datos para su posterior análisis, en lo siguiente se especifica los componentes principales del sistema de control.

a) Controlador lógico programable (PLC)

Un PLC es un dispositivo electrónico que se utiliza en el sector de automatización industrial, mediante este dispositivo podemos controlar diferentes máquinas y procesos de plantas industriales, el PLC obedece a las condiciones de entrada y dan respuesta en un tiempo determinado (UNLP, 2020). Para el proyecto se utilizó un PLC s7 Simatic 1200 el cual su especificación técnica se encuentra en el anexo 1 (Figura 43). En la figura 10, se muestra el PLC utilizado para realizar el control del tiempo de funcionamiento de la bomba de agua caliente, además de ello mediante su software Tia Portal se realizó la recolección de datos de la temperatura medidas en el interior y exterior de la vivienda.



Figura 10. Controlador lógico programable.

b) Variador de frecuencia

El variador de frecuencia es un dispositivo electrónico que especialmente se utiliza para poder controlar la velocidad de giro de un motor monofásico y trifásico, es un dispositivo que ayuda a reducir el consumo energético, ya que el variador varía la frecuencia suministrándole la energía necesaria para cualquier proceso que realice el motor (Soler, 2020). Para el presente proyecto se utilizó un variador de frecuencia ATV12H075M cuya especificación técnica se encuentra en el anexo 1 (Tabla 18), el variador de trabajo a una frecuencia constante de 15 Hz, este dato se consideró según las investigaciones realizadas por (Pizarro et al., 2020), donde instalaron un sistema de calefacción por piso radiante en las aulas de universidad nacional de Juliaca, en la Figura 11, se observa el variador de frecuencia que se utilizó para el presente proyecto.



Figura 11. Variador de frecuencia ATV12H075M2.

c) Sensor de temperatura pt 100

El sensor de temperatura es el instrumento que ayuda a medir la temperatura interior y exterior de la vivienda, en el proyecto se utilizó el sensor de temperatura PT 100 de tipo RTD de tres cables, cuyo principio de medición es la variación de la resistencia de un conductor en función de su temperatura, las especificaciones técnicas se observan en el anexo 1 (Figura 44). En la Figura 12, se observa el sensor de temperatura que se utilizó en el presente proyecto.



Figura 12. Sensor de temperatura PT 100 de tres hilos.

d) Transmisor analógico de temperatura

Es un dispositivo que trabaja generalmente con sensores de temperatura de tipo termo resistencia o termopares, tiene la función de convertir los señales que reciben directamente de los sensores, a una señal analógica estándar de 4 a 20 mA, asegurando la transmisión de los valores de temperatura de manera óptima (Disai, 2022), en el anexo 1 (Tabla 19) se observa la ficha técnica. En la figura 13, podemos observar el transmisor.



Figura 13. Transmisor de temperatura.

2.3 Marco conceptual

2.3.1 Energías renovables

La energía renovable ha sido empleada durante el desarrollo de la humanidad, de distintas maneras, por ejemplo la radiación solar en la orientación de sus viviendas para poder aprovechar la luz solar, y demás para hacer secar algunos alimentos y guardar para épocas de estiaje, la energía hidráulica, lo utilizaban para poder mover las hélices los molinos de agua, con el cual podían obtener harina de los diferentes cereales que cultivaban, la energía eólica para mover los molinos de viento que utilizaban para sacar agua del subsuelo, etc.

2.3.2 Energía solar

La energía solar, es una de las energías más abundantes de puede existir, y es la principal fuente, para poder dar inicio a otras diferentes fuentes de energía ya de eólico, biomasa, energía marina, etc. La energía solar dirige los diferentes ciclos que ayudan a que pueda existir vida en el planeta (Frías, 2017).

2.3.3 Energía solar térmica

La energía solar térmica aprovecha los rayos solares con los colectores solares, para poder convertir en energía térmica o calorífica, cuando la energía térmica es aprovechada en alta y media temperatura usualmente es para generar energía eléctrica, la energía térmica a baja temperatura es utilizada para generar agua caliente sanitaria(ACS), para emplear en calefacción de viviendas, climatización de piscinas, etc.

2.3.4 Efecto foto térmico

El efecto foto térmico se define como aumento de la energía vibracional de las moléculas al momento de absorber la radiación que indican en ello, generalmente capta la energía infrarroja (IR), como consecuencia se obtiene el calentamiento de los diferentes sólidos, fluidos. Para el presente trabajo se utilizará para calentar el fluido agua (UEM, 2014).

2.3.5 Colector solar

Es el encargado de transformar la energía solar en energía térmica mediante diferentes placas colectoras, aprovechar la energía del sol con este tipo de tecnología, es un significativo ahorro de energía eléctrica y una buena contribución al medio ambiente. En la Figura 14, podemos observar el sistema de funcionamiento básico de un colector solar.

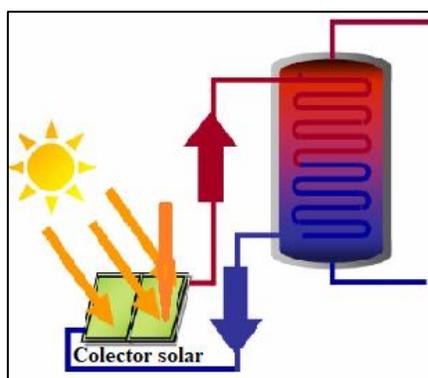


Figura 14. Sistema de funcionamiento de colectores solares (Canarias, 2007).

2.3.6 Tecnología de colectores solares

Las tecnologías de colectores solares, se dividen de acuerdo a nivel de temperatura que trabajan cada sistema, ya sea en baja temperatura, media y alta temperatura.

a) Baja temperatura

La tecnología en solar térmica en baja temperatura generalmente se emplea en el ámbito doméstico, comerciales, precalentamiento del fluido para procesos industriales. Se aprovechan mediante un colector solar de placa plana o colector de tubos al vacío. Se dice de baja temperatura ya que el fluido no sobrepasa a los 100 °C, en la Figura 15, se observa la tecnología que trabaja en baja temperatura.

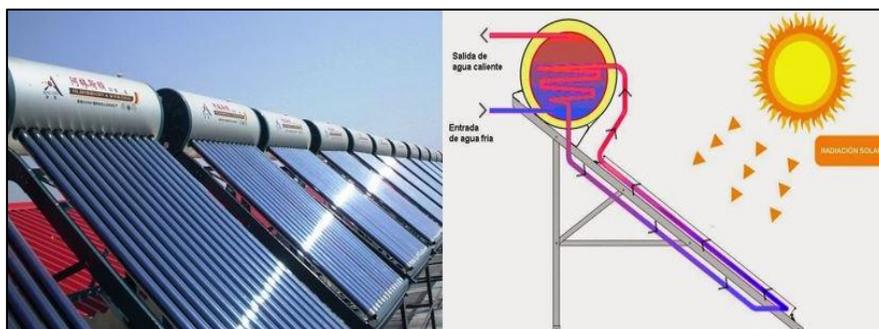


Figura 15. Tecnología de colectores solares en baja temperatura (Alfa, 2015).

b) Media temperatura

Esta tecnología es empleada cuando se requiera un fluido a una temperatura entre 80 °C a 250 °C, se llega a estas temperaturas empleando la tecnología como reflectores lineales de fresnel, cilindros parabólicos y espejos circulares. Solar térmica a media temperatura sus principales aplicaciones es la producción de energía eléctrica a una escala pequeña, generación de vapor para procesos industriales, desalinización de agua de mar entre otras. En la figura 16, podemos observar la tecnología que trabaja a media temperatura, que es de uso industrial.



Figura 16. Colector cilíndrico parabólico (Clementi, 2020).

c) Alta temperatura

Con esta tecnología se trabaja con fluidos con una temperatura mayor a 250 °C, principalmente su aplicación es para la producción vapor a altas temperaturas para poder mover una turbina, y generar energía eléctrica a escalas grandes. Esta tecnología requiere una concentración de la radiación solar, por ello se utilizan varios heliostatos con una torre receptora donde el fluido se convierte en vapor que se dirige a una turbina, enseguida a una generadora de energía eléctrica (Roman, 2008). En la Figura 17 se observa una de las tecnologías de colectores solares térmicos que trabaja en alta temperatura, su aplicación es netamente industrial.



Figura 17. Heliostato con receptor central en torre (Clementi, 2020).

2.3.7 Tipos de colectores solares en baja temperatura

Los colectores solares más conocidos en baja temperatura, son los colectores de placa plana, colectores heat pipe y colectores de tubo al vacío.

a) Colector placa plana

Los colectores de estas tecnologías están fabricados por una lámina absorbente, y todo ello está cubierta con placa de vidrio, el colector cuenta con aislante térmico con el cual minimiza las pérdidas de calor, colector de este tipo aprovecha radiación solar directa y difusa, además de ello esta tecnología no requiere de un seguidor solar, requiere un mínimo mantenimiento (Loureiro, 2015). En la Figura 18, se observa un colector solar de placa plana con sus respectivos componentes.

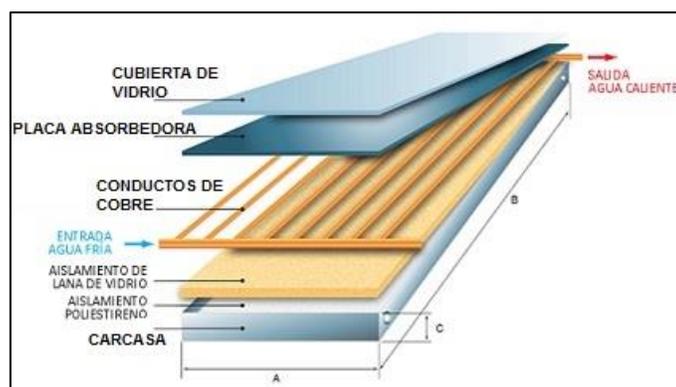


Figura 18. Colector solar plano (Leadsun, 2022).

2.3.8 Colector heat pipe

La tecnología de heat pipe, se viene utilizando desde el año 1962, que consiste de tubo cilindro, que en el centro del tubo lleva un bulbo condensador cubierta con una lámina de aluminio, a este dispositivo se le conoce como superconductor de calor, porque tiene una gran capacidad y velocidad de transferencia de calor (Martinez, 2009). En la figura 19, podemos observar esta tecnología.

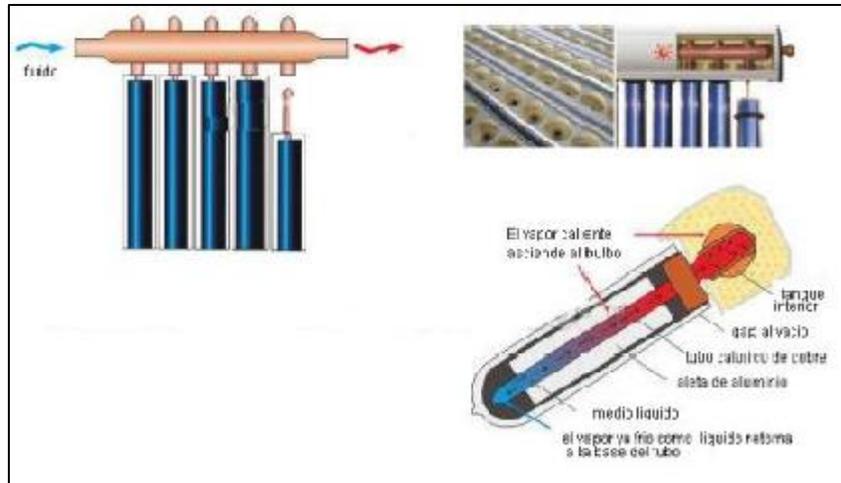


Figura 19. Colector solar heat pipe (Solingener, 2020).

2.3.9 Colector tubos al vacío

Los colectores de tubo al vacío tienen la tecnología que actualmente se conoce como el más eficaz, empleado en el área solar térmica. Cuando esta tecnología estaba en pleno desarrollo tenía un costo muy elevado y de difícil acceso, pero hoy en día esta tecnología se hace cada vez más conocida y de fácil acceso para las personas. Esta tecnología tiene la función de elevar la temperatura de un fluido especialmente del agua, por el efecto conocido como termosifón. Se diferencia de las demás tecnologías por sus propiedades termo físicas que tiene un colector solar de tubos al vacío. En la Figura 20, se observa un colector solar de tecnología tubo al vacío, con sus respectivos componentes que lo conforman.



Figura 20. Colector solar de tubo al vacío (Diario, 2019).

2.3.10 Proceso de generación de agua caliente a través de un colector solar de tubo al vacío

Los colectores solares son tubos cilíndricos de dos capas, la primera capa el captador de energía solar generalmente es de material de borosilicato de cobre, el segundo capa de vidrio de alta consistencia, entre la capa exterior y capa interior se hace el vacío, por tal no existe perdidas termodinámicas por conducción y convección, esto ayuda a que el agua llegue a temperaturas de ebullición. El calentamiento del fluido es por efecto termosifón, el agua caliente se almacena en un termo tanque luego para disponer agua caliente a los usuarios. En la figura 21, se observa el ciclo de calentamiento del fluido.

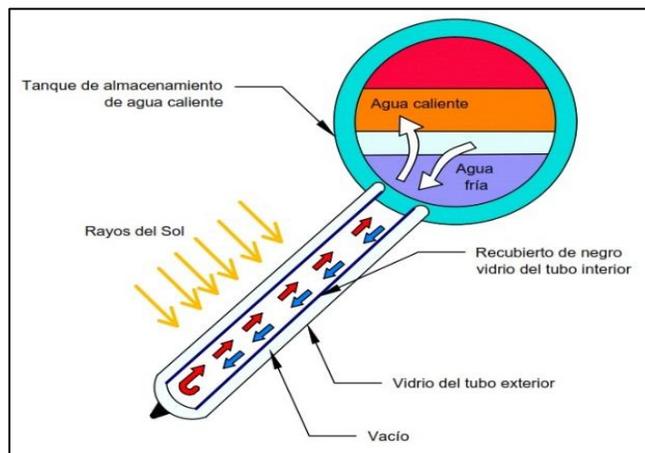


Figura 21. Sistema de producción de agua caliente sanitaria (Molina, 2016).

2.3.11 Radiación solar

la radiación se puede definir de diferentes puntos de vista, así como (Pérez & Morales, 2017), “la energía electromagnética que emite el sol. La magnitud que mide la radiación solar que llega a la tierra es la irradiación, que mide la energía por unidad de tiempo y área, que llega a la tierra. Entonces, las unidades de medición de la radiación solar son W/m^2 ”.

a) Tipos de radiación solar

- **Radiación directa:** Es cuando los rayos solares llegan sin ningún disturbio.
- **Radiación difusa:** Se dice difusa cuando los rayos solares sufren algún disturbio ya sea por las nubes, polvos y etc.
- **Radiación albedo:** También conocido como radiación reflejada, es cuando los rayos solares llegan a superficie de la tierra y regresan con un ángulo.

En la Figura 22, se observa las tres radiaciones más conocidas, que es aprovechado por el sistema de captación, que en esta investigación será el colector solar de tubo al vacío.

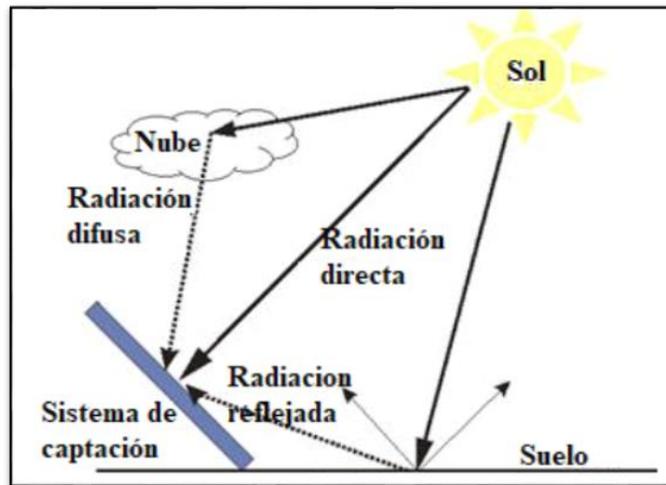


Figura 22. Tipos de radiación solar (Caceres, 2014).

CAPÍTULO III

MATERIALES Y METODOS

3.1 Ubicación del proyecto

El proyecto de investigación se realizó en el campus universitario de la Universidad Nacional de Juliaca sede Ayabacas, que se encuentra en el distrito de San Miguel, el cual se ubica a una altura de 3833 msnm. En la Figura 23, se observa el lugar de construcción de la vivienda rústica. El punto exacto de construcción en la figura 23, está representado con N° 01.



Figura 23. Ubicación de del proyecto (Google Earth, 2022).

La vivienda rústica de región de Puno se construyó con las siguientes medidas 4.6 m de largo y 3.6 m ancho, esto de material adobe con techo de calamina, tal cual a las casas existentes en las zonas alto andinas del Perú. La pared interior de la vivienda se utilizará material con propiedades térmicas que ayuden a mantener la temperatura interior estable, por el cual se usará yeso, mientras la pared exterior será de barro con paja. La puerta de la vivienda será metálica y ventanas de vidrio. En la Figura 24, podemos observar el plano de vista planta de la vivienda a construir donde se implementará la calefacción de piso radiante, las medidas están en metros.

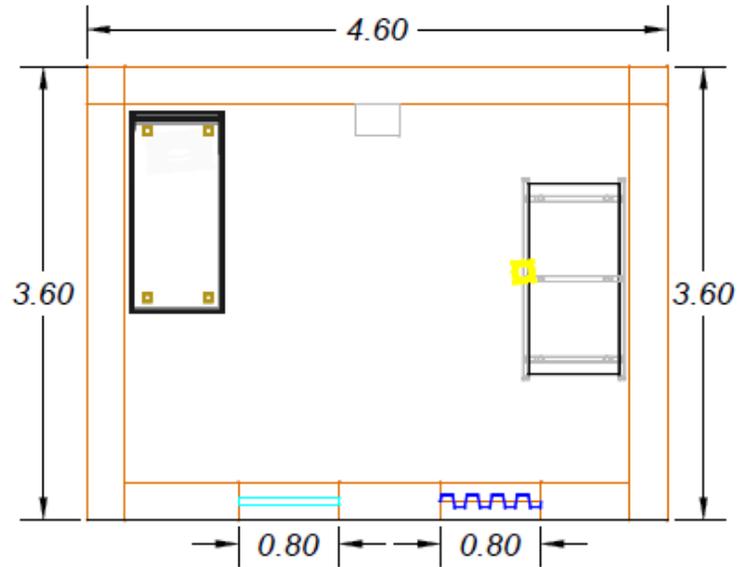


Figura 24. Plano de la vivienda rustica vista planta.

3.2 Recursos materiales y equipos

3.2.1 Materiales de construcción

En la Tabla 1, se muestra los diferentes materiales que se utilizó para la construcción de la vivienda típica de la región de puno, en el acabado se consideró materiales de acondicionamiento térmico como yeso.

Tabla 1

Materiales de construcción.

| Nombre | Figura | Descripción |
|---------|---|--|
| Adobe |  | Longitud: 40 cm Ancho: 25 cm Altura: 15 cm Material: tierra y paja Se utilizó para levantar el muro de la vivienda |
| Rollizo |  | Longitud: 4 m Diametro: 4" Rollizo de eucalipto, se utilizó para tirante para el techo |

Tabla 1 continuación.

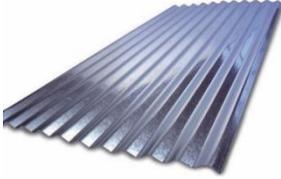
| | | |
|--------------------------|---|--|
| Calamina |  | <p>Longitud: 3.60 m Ancho: 0.80 m Espesor : 0.35 mm Se utilizó para el techo de la vivienda</p> |
| Cinta de 2x2" |  | <p>Longitud: 3 m Ancho: 2" Altura: 2" Se utilizó en el techo de la vivienda</p> |
| cinta de 2x1" |  | <p>Longitud: 3 m Ancho: 1" Altura: 2" Se utilizó para la guía de tubería de cobre y pex</p> |
| Alambre #16 |  | <p>Cantidad: 2 kg Numero: 16 Se utilizó para asegurar venta, puerta y los rollizos</p> |
| Clavo para calamina |  | <p>Cantidad: 3 kg Numero: 3" Se utilizó para asegurar venta la calamina a los cintas en el techo</p> |
| Clavo de 4" 3" 1" 1/2" |  | <p>Cantidad: 3 kg Numero: 3" Se utilizó para asegurar venta la calamina a los cintas en el techo</p> |
| Marco de Ventana 80x80cm |  | <p>Marco: Metálico Medida: 80 x 80 cm Se colocó en la venta de la vivienda</p> |
| vidrio de ventana |  | <p>Vidrio: Textura silesia Medida: 80 x 80 cm Se colocó en el marco de la ventana</p> |

Tabla 1 continuacion.

| | | |
|------------------------------|---|--|
| Puerta metálica 1.80x0.8m |  | Puerta: Metálica Medidas: 1.80x0.8 m Color: azul |
| Triplay |  | Triplay Medidas: 1.22x2.44 m se utilizó para el techo falso de la vivienda |
| Yeso |  | Cantidad: 06 bolsas de 7 kg se utilizó para el acabado interior de la vivienda |
| poliestireno expandido |  | Poliestireno Medidas: 2.40x1.20 m se utilizó como aislante térmico del piso de la vivienda |
| polietilino (plástico) |  | Polietileno Medidas: 13 m ² se utilizó como aislante de humedad y térmico del piso de la vivienda |

3.2.2 Equipos del sistema de control

Los equipos que se utilizaron, se detallan en la tabla 2, estos se utilizaron en la parte control del sistema, y la adquisición de datos.

Tabla 2*Equipos utilizados para el presente trabajo.*

| Nombre | Figura | Descripción |
|----------------------------------|---|---|
| Controlador lógico programable |  | Marca: Siemens CPU: 1214C Fuente de alimentación: 24 V Fuente de alimentación: 24 V Gama: SIMATIC S7 -1200 |
| Extensión de entradas analógicas |  | Marca: Siemens N° de entradas analógicas: 4 Alimentación: 24 V : SM 1231 A1 |
| Variador de frecuencia |  | Marca: Schneider Gama: ATV12H075M2 Alimentación: 220 V Salida: 380 V trifásica |
| Transmisores |  | Transmisor electrónico Alimentación: 24 V Rango de medida: 0-20 °C Salida de señal: 4-20 mA |
| Sensor de temperatura |  | Tipo: PT 100 RTD Temperatura mínima: -200 °C Temperatura máxima: 850 °C |
| Fotodiodo |  | Tipo: ES2 Rango: 0 a 2 kW/m ² Temp de operación: -10 °C a 60 °C Sensibilidad: 10 mV por kW/m ² |

3.3 Software para el desarrollo

- TIA Portal V17
- Excel
- Python
- LabVIEW

3.4 Recursos humanos

En todo el proceso de la ejecución desde diseño y construcción de la vivienda, implementación de piso radiante, implementación de sistema de control se encargaron los dos tesistas del presente trabajo.

3.5 Metodología

En este ámbito en primer lugar veremos la determinación y dimensionamiento las cargas térmicas de la vivienda rustica construida, el tamaño de la terma solar, la cantidad de fluido caliente requerido, la longitud de tubería requerida en el serpentín del piso radiante. En segundo lugar, veremos la modelación (AutoCAD 3D), la construcción de una vivienda rustica típica de la Región y instalación de la terma, en tercer lugar, realizaremos la implementación de un sistema de control y adquisición de datos mediante un controlador lógico programable (PLC), en cuarto lugar, se considera el costo de instalación de cada sistema de calefacción, el análisis de comportamiento de cada sistema se realizará en el siguiente capítulo.

3.6 Dimensionamiento del sistema

Para poder dimensionar el sistema de calefacción empieza determinando la carga térmica total de la vivienda.

3.6.1 Cálculo de la demanda de energía

Para determinar la demanda de la energía, se realiza el cálculo de las cargas térmicas que hay en la vivienda, el cual se calcula considerando la normativa española UNE-EN 12831-1:2017.

3.6.2 Cargas térmicas de calefacción

Para determinar las cargas térmicas de una vivienda con el método simplificado del apartado 9 de la norma UNE 12831, para realizar el cálculo de la carga térmica se debe tener conocimiento de las características de la vivienda, y se tiene que tomar en cuenta lo siguiente:

- Longitud de los muros exterior e interior de la vivienda.
- Altura de la pared y del material que se empleó en el acabado.
- Medidas del piso y el techo.

3.6.3 Carga térmica del diseño

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

- Cargas de transmisión a través de cerramientos (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 determinará la carga total de calefacción en W será:

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

a) Cargas por trasmisión

Esta carga es el calor que se disipa por unidad de tiempo por los encerramientos o paredes de la habitación por tal se calculara de la siguiente manera.

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

En donde:

f_k : factor de corrección de la temperatura. de la UNE-EN 12831 (Tabla 15).

A: superficie del cerramiento atravesado por el flujo de calor m^2 .

U: transmitancia térmica, el documento DA DB-HE/1 en $W/(m^2 \cdot K)$ (anexo 1)

T_{int} : temperatura interior del local en °C.

T_e : temperatura exterior de cálculo en °C.

Reemplazando en la ecuación (2) para calcular las cargas de transmisión:

$$Q_T = 0,42 * 41.4 \text{ m}^2 * 1.04 * (16 - 10) \text{ °C}$$

$$Q_T = 108.5 \text{ W}$$

Es importante mencionar que cuando se trabaja con el sistema de calefacción piso radiante no se debe de tomar en cuenta el encerramiento donde se encuentra instalados los circuitos de tubería.

b) Carga térmica por infiltración

Como en la vivienda no cuenta con ventilación mecánica controlada, esta pérdida se calcula a partir del caudal nominal, se puede estimar el caudal de infiltración multiplicando el volumen densidad de aire para la ciudad de Juliaca es 1.23 kg/m^3 por el número de renovaciones por hora. Los parámetros que intervienen en el cálculo son:

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

Donde:

\dot{V}_{min} : caudal mínimo de ventilación o infiltración de aire expresado en m^3/h . según UNE-EN 12831.

T_{int} : temperatura interior en °C.

T_e : temperatura exterior en °C.

Para viviendas en las que no exista ventilación, podemos estimar la infiltración multiplicando el volumen interior del local por el número de renovaciones:

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

Primero se calculará el caudal mínimo de ventilación con la ecuación (4) para luego reemplazar en la ecuación (3):

$$\dot{V}_{min} = 0,5 * 25,2 \text{ m}^3$$

$$\dot{V}_{min} = 12,6 \text{ m}^3/\text{h}$$

Reemplazando en la ecuación (3):

$$Q_V = 1.23 * 12,6 \text{ m}^3/\text{h} * (16 - 10) \text{ }^\circ\text{C}$$

$$Q_V = 93 \text{ W}$$

Para estimar las renovaciones mínimas podemos emplear la norma que se encuentra en anexo 1.

c) Cargas internas

Las cargas internas o capacidad de calentamiento representan la potencia necesaria para compensar las paradas de la instalación, en apagados nocturnos. Los parámetros que intervienen en el cálculo son:

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

Donde:

A : superficie del suelo en m^2 .

f_{RH} : factor de recalentamiento, la norma UNE-EN 12831. en W/m^2 (Anexo 1)

Para calcular la capacidad de calentamiento en la ecuación (7) como se muestra:

$$Q_I = 12 \text{ m}^2 * 9$$

$$Q_I = 108 \text{ W}$$

Para terminar con el cálculo de carga diseño de calefacción debemos reemplazar en la ecuación (1).

$$Q_D = Q_T + Q_V + Q_I$$

$$Q_D = 108.5 \text{ W} + 93 \text{ W} + 108 \text{ W}$$

$$Q_D = 309.5 \text{ W}$$

Por lo tanto,

$$\dot{Q}_{total} = 210 \text{ W} + 309.5 \text{ W}$$

$$\dot{Q}_{total} = 519.5 \text{ W}$$

3.7 Dimensionamiento de carga térmica de vivienda

Para poder realizar los cálculos de la carga térmica de la vivienda es importante saber el coeficiente térmico de cada material del encerramiento para el cual se muestra la tabla 6.

Tabla 3

Conductividad térmica de los materiales.

| Materiales de construcción | Conductividad térmica (W/m ² K) |
|----------------------------|--|
| Adobe | 0.176 |
| Madera | 0.274 |
| Aire | 0.026 |
| Yeso | 0.149 |
| Vidrio | 0.84 |
| Eternic | 0.36 |
| triplay | 0.14 |

Nota: (Jutglar, 2009)

En la tabla 7, se realiza los cálculos de cargas térmicas de la vivienda que necesitara para la calefacción considerando también el encerramiento incluye puertas y ventanas.

Tabla 4

Cálculos de carga térmica por transmisión.

| Paredes | Área(S) | Coeficiente térmico W/m ² K | Diferencia de temperatura (Ti-Te) | Carga SxKxT |
|----------------|---|--|-----------------------------------|-------------|
| Pared N | $9.66 - (0.64 + 1.36) = 7.66 \text{ m}^2$ | 0.176 | $(18 - (-5)) = 23$ | 31 |
| Pared E | $7.56 + 1.08 = 8.64 \text{ m}^2$ | 0.176 | $(18 - (-5)) = 23$ | 34.97 |
| Pared S | $4.6 \times 2.10 = 9.66 \text{ m}^2$ | 0.176 | $(18 - (-5)) = 23$ | 39.1 |
| Pared O | $7.56 + 1.08 = 8.64 \text{ m}^2$ | 0.176 | $(18 - (-5)) = 23$ | 34.97 |
| Puerta | $0.8 \times 1.70 = 1.36 \text{ m}^2$ | 0.14 | $(18 - (-5)) = 23$ | 4.38 |
| Ventana | $(0.8 \times 0.8) = 0.64 \text{ m}^2$ | 0.84 | $(18 - (-5)) = 23$ | 12.36 |
| Techo | $4.6 \times 3.6 = 16.56 \text{ m}^2$ | 0.14 | $(18 - (-5)) = 23$ | 53.32 |
| | Carga térmica total | | | 210.1 W |

Para poder hallar la carga térmica por infiltración es necesario saber que solo trabajaremos con las áreas de la puertas y ventan. Donde es necesario saber conocer las siguientes formulas:

$$S = Sp + Sv \quad (6)$$

Donde:

Sp: superficie de la puerta

Sv: superficie de la ventana

Volumen de aire infiltrado

$$v^\circ = S \times 27(m^3 / h \times m^2) \quad (7)$$

Flujo másico

$$m^\circ_v = \frac{1.2 \times v^\circ}{3600} = \frac{1.2 \times 54}{3600} = 0.018 \quad (8)$$

Carga térmica total por infiltración

$$Q_v^\circ = m^\circ_v \times c_{pm} \times (T_i - T_e) \text{ W} \quad (9)$$

Donde:

c_{pm} : 1025 J/kg.°C

Tabla 5

Tabla infiltración y carga térmica total de la vivienda

| Área Sp+Sv | Volumen de aire infiltrado m^3 / h | Flujo másico | Carga por infiltración | Carga total por transmisión | Carga total térmico |
|---------------|--|-----------------|---------------------------|-----------------------------------|------------------------|
| 2 m^2 | 54 m^3 / h | 0.018 | 387.45 | 190.38 W | 577.8 W |

En la siguiente tabla se describe cada característica que tiene la vivienda para considerar en la carga térmica total de 577.8 W que serán necesarias para realizar la calefacción, también se realiza un reajuste consideran el dimensionamiento de orientación, la caras expuestas al exterior del ambiente y el tipo de vivienda, se encuentran detalladas en el Anexo 2 y de la misma forma el dimensionamiento de las termas solares el requerimiento de agua caliente para la vivienda se encuentra detallada en el Anexo 3.

a) Carga por aportaciones internas

$$Q_{ai} = Q_{il} + Q_p + Q_{ap} \quad (10)$$

Donde:

Q_{il} : ganancia interna de calor por iluminación en W.

Q_p : ganancia interna de calor debido a los ocupantes en W.

Q_{ap} : ganancia interna de calor por aparatos eléctricos en W.

Tabla 6.

Las ganancias de energía internas

| Cantidad | descripción | Q(W) | Total Q(W) |
|----------|-------------|------|--------------|
| 1 | foco | 4 | 4 |
| 3 | personas | 58 | 174 |
| 1 | otros | 100 | 100 |
| | | | 278 W |

El aporte de calor interno sobre todo de noche es de 278 W al sistema de calefacción por piso radiante de la vivienda rustica.

a) Balance térmico de la vivienda

Los resultados obtenidos refregaran el equilibrio de la temperatura de pérdidas y ganancias que tendrá la vivienda rustica los se reflejaran para alcanzar la temperatura de confort o temperatura de calefacción. Se indica el valor de consumo específico de energía consumida por unidad de superficie cubierta de la vivienda.

Tabla 7.

Resultados del balance térmico en la vivienda

| Descripción | perdida Q | ganancia Q |
|-----------------------|-----------------|-----------------|
| Transmisión | 108.50 W | |
| Infiltración | 93.00 W | |
| Cargas internas | 108.00 W | |
| Iluminación | | 4.00 W |
| Personas | | 174.00 W |
| Artefactos eléctricos | | 100.00 W |
| | 309.50 W | 278.00 W |

La diferencia de la Q ganado menos Q perdido es igual 31.50 W como perdida, para lo siguiente se le agrega la calefacción de piso radiante en la vivienda de 546 W que serán necesarias para cubrir la calefacción de la vivienda.

3.8 Construcción de la vivienda

Para la construcción de la vivienda rustica de la región puno, para pruebas de calefacción solar por piso radiante, primero se realizó el dibujo de planos, modelamiento de la vivienda en el software AutoCAD.

En la Figura 25, se observa la vista con un corte lateral, donde indica las medidas correspondientes de la vivienda rustica, el plano en planta se ve en la Figura 25.

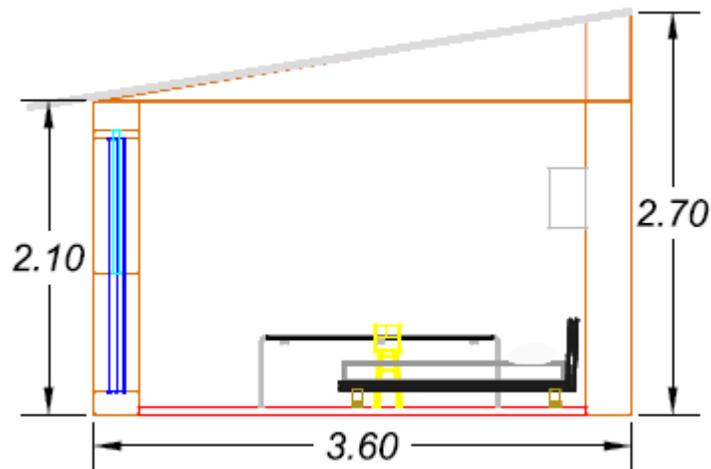


Figura 25. Plano de la vivienda vista lateral.

3.8.1 Modelamiento de la vivienda en AutoCAD

La construcción para el presente estudio se realizó en campus universitario de la UNAJ sede Ayabacas, la construcción de una vivienda típica de la región de Puno teniendo en consideración del trabajo que realizo (Ramos et al., 2013). En la Figura 26 se observa el dibujo de modelado en AutoCAD. La vivienda está orientada al Norte, para poder aprovechar la energía solar en forma pasiva, la vivienda tiene una sola puerta y ventana tal cual como se muestra en el modelamiento.

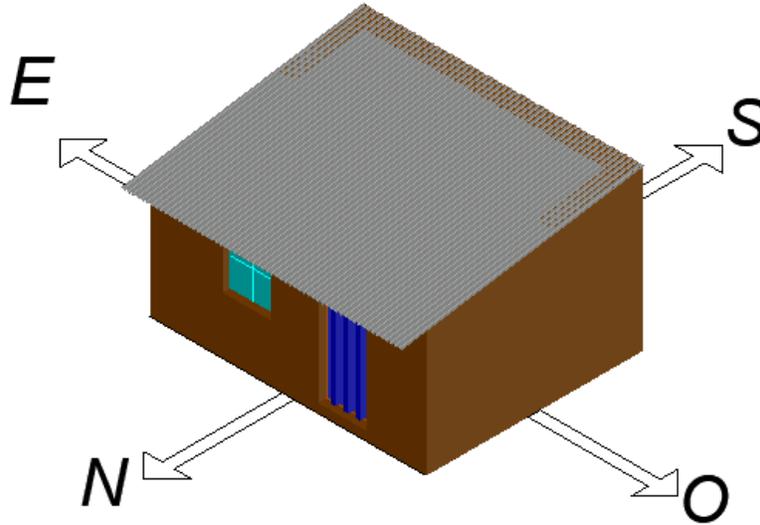


Figura 26. Modelado en AutoCAD 3D de la vivienda.

En la Figura 27, se observa los mecanismos de transferencia de calor que existe en la vivienda rustica construida, las infiltraciones de aire se realizan mediante la ventana y puerta, esto ocurre con el mecanismo de transferencia por convección, por conducción se realiza mediante los encerramientos de la vivienda.

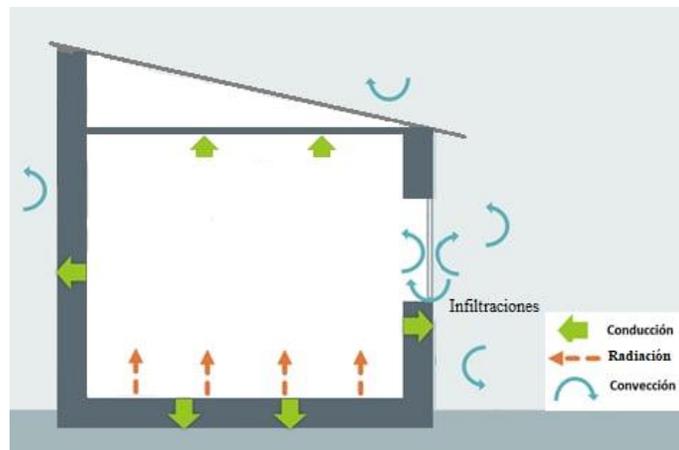


Figura 27. Mecanismo de transferencia de calor.

El proceso de construcción de la vivienda de inicio a final se observar desde el anexo 4.

3.9 Instalación de termas solares

Se realiza el armado de la estructura de las termas solares con la orientación al norte con un ángulo de inclinación de 25 grados sexagesimales, en seguida se realiza el montaje del tanque acumulador de agua caliente y el montaje de los tubos al vacío, por último, se

realiza el montaje del tanque elevado. En la Figura 28, podemos observar la instalación de las termas solares.



Figura 28. Instalación de termas solares.

3.10 Instalación de piso radiante

La instalación del piso radiante se realizó de acuerdo de como se muestra en el diagrama de instalación en la Figura 29, donde empieza con el tanque de almacenamiento del fluido caloportador en la terma solar (1), en seguida pasa al colector solar con una capacidad 200 L (2), el cual es el encargado de aumentar la temperatura de fluido, luego se encuentra la electrobomba (3), quien es el encargado en impulsar o forzar la circulación del fluido. en seguida se encuentra el serpentín en forma espiral (4), el cual es encargado de transportar el fluido y transferir el calor del fluido hacia el interior de la vivienda, después de encuentra la llave check (5), en la salida de agua fría después del serpentín, la función que cumple es cuando el agua fría sale del serpentín no retorne, además al momento de cargar el fluido de la red, no ingrese por dicha tubería, es importante mencionar que este sistema trabaja en circuito cerrado, generando así un trabajo cíclico en el sistema de calefacción solar.

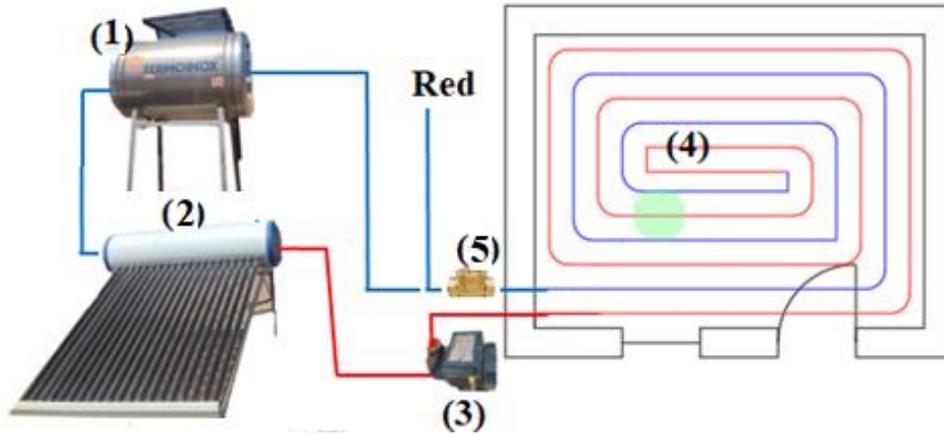


Figura 29. Diagrama representativo de instalación de piso radiante.

El proceso de instalación paso a paso del sistema de calefacción se encuentra en el anexo 5, donde se observa el tendido de los diferentes aislantes térmicos que conlleva esta instalación en el piso de la vivienda, hasta el entablado del piso interior.

3.11 Sistema de control

El sistema de control está situado en el interior de la vivienda el cual nos ayuda a controlar el funcionamiento de la electrobomba que impulsa el fluido caloportador y además de adquirir datos de los sensores de temperatura instalados.

3.11.1 Diagrama unifilar

El diagrama unifilar es donde indica todas las conexiones realizadas en el tablero de control, el controlador lógico programable es el principal componente del sistema de control, ya que recibe señales analógicas y lo convierte en números reales para poder adquirir los datos, el trabajo que realiza es automatizar el sistema de calefacción mandando señales a los actuadores como son variador de frecuencia y la electrobomba, en la Figura 30, podemos observar el diagrama unifilar de instalación del sistema de control.

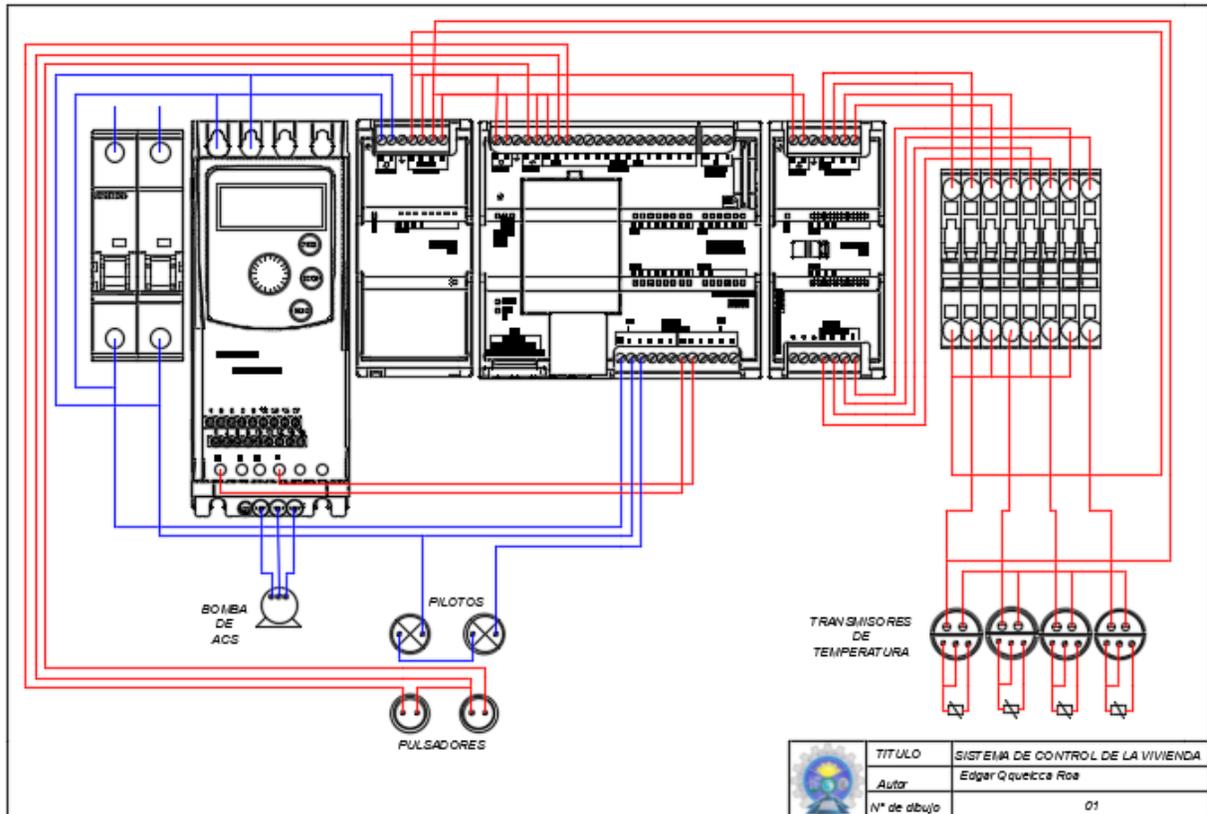


Figura 30. Diagrama unifilar del sistema de control.

3.11.2 Tablero de control

El tablero control es donde va situado ordenadamente todos los dispositivos que requiere el sistema de control, para el presente trabajo se utilizó, termo magnético, variador de frecuencia, PLC, extensión de entradas analógicas, transistores, pulsadores, pilotos y entre otros. En la Figura 31, podemos observar el tablero de control.

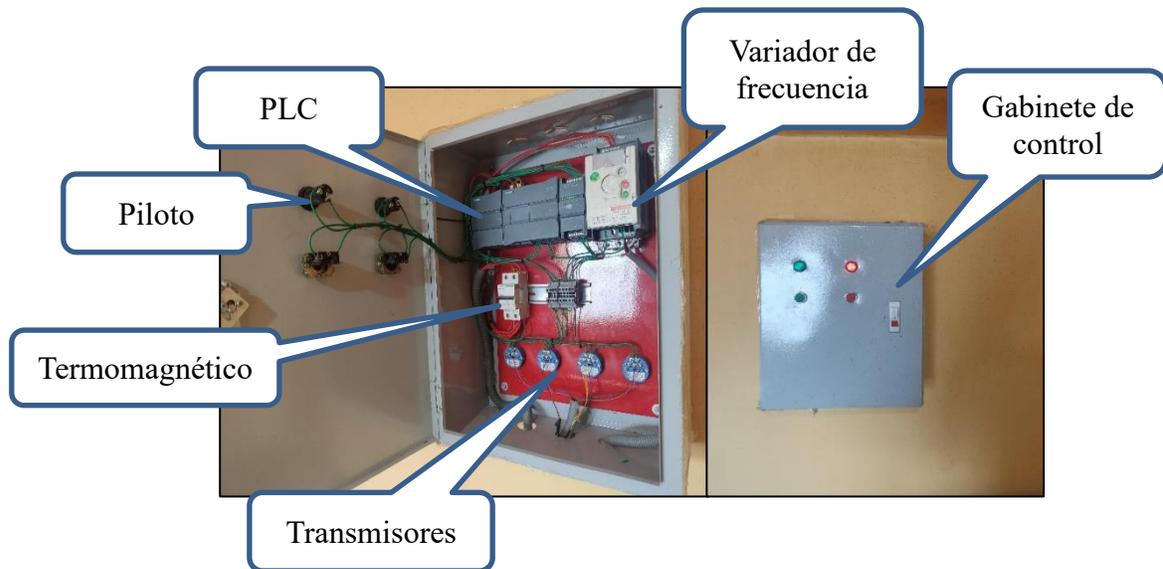


Figura 31. Tablero control instalado para el sistema de calefacción.

3.12 Estación meteorológica

La estación meteorológica que se utilizó es Alpha y Omega modelo WS Gp2, que está instalado en el instituto de investigación de energías renovables y eficiencia energética. Esta estación se utilizó los datos adquiridos de la irradiación solar, la cual es medida por fotodiodo que tiene instalado dicha estación meteorológica.



Figura 32. Estación meteorológica Alpa y Omega modelo WS Gp2.

3.13 Costos del proyecto de investigación

Los costos del proyecto se dividen en costo de construcción de la vivienda, implementación del sistema de calefacción de tubería de cobre y tubería de pex. Siendo el costo total de la construcción de la vivienda S/. 1,848.68 nuevos soles.

3.13.1 Costo de implementación de piso radiante con tubería cobre

El costo de implementación de un sistema de calefacción solar mediante la tubería de cobre en la vivienda construida es de S/. 4,191.00 nuevos soles, esto en un área de 12 m². Para conocer el costo por metro cuadrado se calcula de la siguiente manera.

$$Costo_{por_unidad_de_area} = \frac{Costo_{Total}}{Area_{Calefactada}} = \frac{4191}{12} = 349.25 S / m^2 \quad (6)$$

El costo de S/. 349.25, nos indica que es el costo por cada metro cuadrado que se desea calefactar, utilizando la tubería cobre instalado en el piso radiante.

3.13.2 Costo de implementación de piso radiante con tubería de Pex

El costo de implementación de un sistema de calefacción solar mediante la tubería de Pex es de S/. 3,782.00 nuevos soles, esta para un área de 12 m². Para conocer el costo por metro cuadrado se calcula de la siguiente manera.

$$Costo_{por_unidad_de_area} = \frac{Costo_{Total}}{Area_{Calefactada}} = \frac{3782}{12} = 315.166 S / m^2 \quad (7)$$

El costo de S/. 315.166, nos indica que es el costo por cada metro cuadrado que se desea calefactar, utilizando la tubería Pex instalado en el piso radiante.

3.13.3 Desarrollo de software

Para realizar el análisis de datos se realizó en los softwares como Excel, Python y LabVIEW se desarrolló un interfaz. La adquisición de datos fue descargada en formato Excel del servidor del PLC Tia Portal, luego el software Python fue utilizado para obtener datos promedios representativos mensuales para el sistema de tubería de cobre y sistema con tubería Pex. Una vez procesada la base de datos, se utiliza el software LabVIEW donde se desarrolló un interfaz para poder graficar todos los datos, siendo estos, las temperaturas mínimas, máximas y promedios del interior de la vivienda.

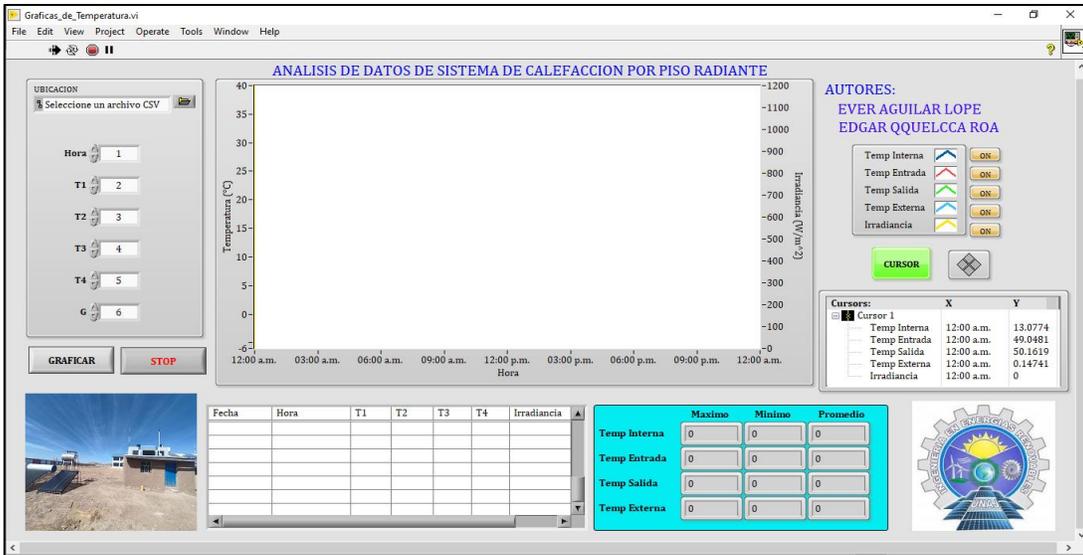


Figura 33. Interfaz de LabVIEW para graficar los datos (Elaboración propia).

En la Figura 33, podemos ver el interfaz elaborado en LabVIEW, donde en el programa importa los archivos del Excel (formato CSV). La interfaz gráfica, la temperatura interior de la vivienda, temperatura exterior, temperatura de entrada de agua caliente y la temperatura de la salida del agua luego de recorrer los serpentines. El programa contiene un cursor con el cual podemos indicar cualquier punto de la gráfica de temperatura y nos indica el valor numérico de temperatura, adicionalmente cuenta con un tabla donde nos indica los promedios de cada temperatura medido, el digrama de programacion de LabVIEW se encuentra en el Anexo 6.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIONES

En este capítulo realizaremos el análisis de datos, del presenta trabajo de investigación que abarco de la construcción de una vivienda rustica típica de la región con la final de que en ello se pueda realizar estudios de calefacción solar de piso radiante con dos tipos de tubería cobre y Pex.

4.1 Análisis e interpretación de graficas

El análisis de comportamiento de temperatura interior de la vivienda se evaluó en meses diferentes.

4.2 Análisis por periodo de evaluación de cada sistema de calefacción.

El periodo de evaluación para el sistema de calefacción solar por tubería de cobre y tubería Pex es la evaluación promedio de las temperaturas registradas para cada sistema. Las variables registradas son la temperatura máxima y mínima del interior del interior de la vivienda además es registrada la temperatura exterior de la vivienda. Con ayuda de una miniestación meteorológica fue medida la irradiación solar promedio durante cada periodo de análisis para la evaluación del efecto con el sistema de calefacción solar.

4.2.1 Sistema de calefacción solar con tubería cobre

El sistema de calefacción con tubería de cobre se inició en el mes de mayo de 2022, el periodo de evaluación del sistema de calefacción solar es desde el 14 de mayo a 14 junio con una duración de un mes cronológico. En esta evaluación se registraron datos de 4 sensores de temperatura instalados en la vivienda. Los datos de irradiación solar se obtuvieron de la estación meteorológica que está instalado en el Instituto de Energías Renovables y Eficiencia Energética. Para el análisis del sistema de calefacción nos enfocaremos en la temperatura interior de la vivienda, este dato es tomado por un sensor que está instalado en el medio de la vivienda y a 1 metro de altura del piso de la vivienda.



Figura 34: Ubicación del piso radiante con tubería cobre y sensor PT 100.

En Tabla 8, se muestra el resumen de los datos obtenidos en el periodo de evaluación del sistema de cobre, es importante indicar que estos datos son el promedio del periodo de evaluación, además de ello son datos obtenidos en el horario de trabajo de la electrobomba (9:00 a 21:00 horas), los datos promedios de las 24 horas del funcionamiento del sistema se encuentran en el Anexo 6 (Tabla 21).

Tabla 8

Promedio de datos en el periodo de evaluación del sistema de calefacción con tubería de cobre.

| | T° Ingreso agua (°C) | T° Salida agua (°C) | T° Exterior vivienda (°C) | T° Interior vivienda (°C) | Irradiancia (W/m ²) |
|------------------------|----------------------------|---------------------------|---------------------------------|---------------------------------|------------------------------------|
| Máximo | 79.72 | 74.07 | 16.81 | 17.88 | 1008.00 |
| Mínimo | 50.22 | 47.90 | 3.52 | 12.63 | 0.00 |
| Promedio diario | 71.10 | 67.16 | 11.31 | 16.10 | 644.28 |

De la Tabla 8, en el periodo de evaluación del sistema de calefacción solar por piso radiante con tubería de cobre, se llegó a una temperatura máxima al interior de la vivienda de 17.88 °C y una temperatura mínima del interior de la vivienda de 12.63 °C. La temperatura exterior se registró con una temperatura máxima de 16.81 °C y como temperatura mínima de 3.52 °C, En horario de funcionamiento de la electrobomba.

En la Tabla 9, podemos observar el salto térmico promedio que se obtuvo durante el periodo de evaluación del sistema de cobre, este dato es de la diferencia del promedio de temperatura interior y exterior de la vivienda, y es de 4.76 °C.

Tabla 9*Salto térmico del sistema de tubería de cobre.*

| Promedio de temperatura interior (°C) | Promedio de temperatura exterior (°C) | Salto térmico (°C) |
|--|--|---------------------------|
| 16.10 | 11.31 | 4.76 |

En la Figura 35, se observa el comportamiento promedio de la temperatura interna del ambiente y temperatura exterior, durante las 24 horas del periodo de evaluación del sistema de calefacción solar con tubería cobre, además de observa el comportamiento promedio de la irradiación solar. Se observa que la temperatura exterior se incrementa proporcionalmente a la irradiación solar, la temperatura interior de la vivienda se incrementa ligeramente desde el momento que la electrobomba empieza a forzar el fluido caloportador, llegando a un temperatura máxima a las 15:00 horas, además se puede observar con claridad la temperatura del ambiente interior de la vivienda se encuentra por encima de la temperatura exterior, esto es un indicativo de que el sistema de calefacción solar por piso radiante con tubería cobre logra la calefacción del prototipo de la vivienda rústica.

El área sombreada de la Figura 35, entre la temperatura ambiente interior con calefacción (línea azul) y temperatura sin calefacción de la vivienda (línea violeta), dicha área representa el aporte calorífico que da el sistema de calefacción solar con tubería cobre hacia el interior de la vivienda. Este aporte calórico permanece hasta la media noche aproximadamente que sería el calor aportado por el sistema de calefacción solar por piso radiante con tubería de cobre.

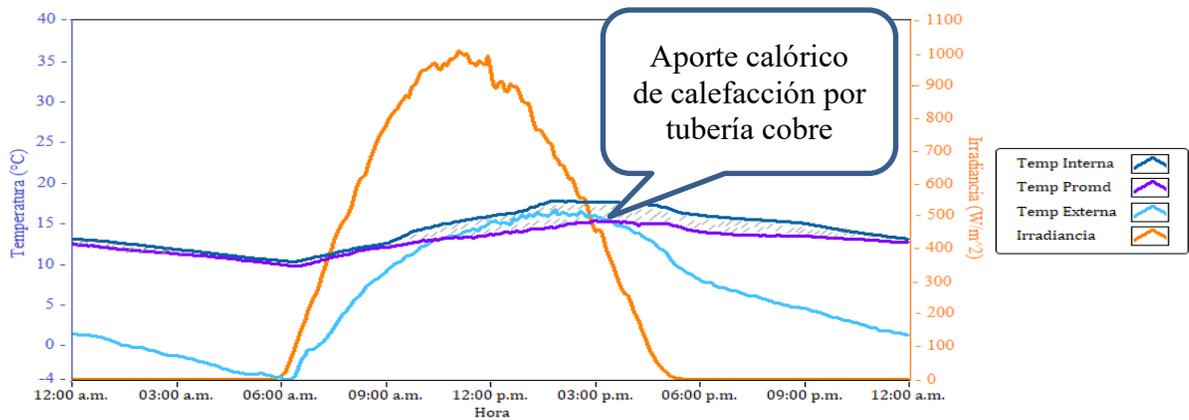


Figura 35. Comportamiento de temperatura en el periodo de evaluación de sistema cobre.

El área sombreada de la Figura 35, entre la temperatura ambiente interior con calefacción (línea azul) y temperatura sin calefacción de la vivienda (línea violeta), dicha área representa el aporte calorífico que da el sistema de calefacción solar con tubería cobre hacia el interior de la vivienda. Este aporte calorífico permanece hasta la media noche aproximadamente que sería el calor aportado por el sistema de calefacción solar por piso radiante con tubería de cobre.

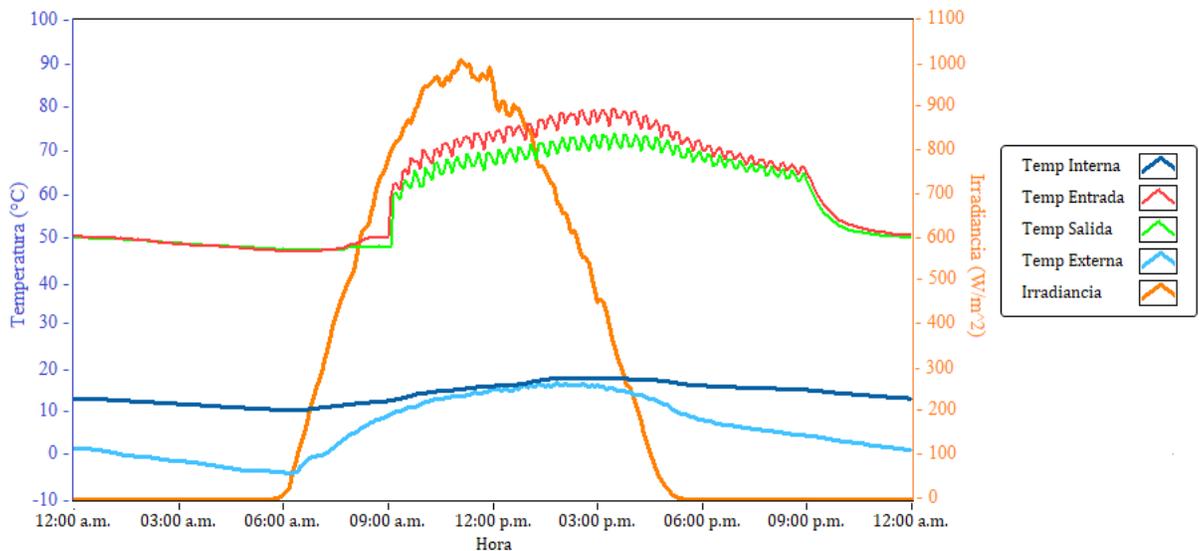


Figura 36. Comportamiento de todas las temperaturas medidas en el periodo de evaluación del sistema cobre.

De la Figura 36, se visualiza el comportamiento de todas las temperaturas medidas en la vivienda en el periodo de evaluación del sistema de calefacción con tubería de cobre, excepto la irradiación que fue medida por la estación meteorológica del Instituto de

Energías Renovables y Eficiencia Energética, es importante indicar que la escala de temperaturas es el lado izquierdo, y la escala de la irradiación es lado derecho. Los colores rojo, verde, azul, celeste y anaranjado representa las temperaturas de ingreso del fluido, salida del fluido, interior del ambiente, exterior e irradiación solar respectivamente.

De la temperatura promedio exterior, se registró con una temperatura mínima de $-3.98\text{ }^{\circ}\text{C}$, esto en el horario de 06:05 de la mañana, la temperatura máxima exterior se registró con $16.81\text{ }^{\circ}\text{C}$ en el horario de 13:50 de la tarde. De la temperatura promedio del ambiente interior de la vivienda, se registró con una temperatura mínima de $10.27\text{ }^{\circ}\text{C}$ a las 06:20 de la mañana, y la temperatura máxima registrado fue de $17.88\text{ }^{\circ}\text{C}$ a las 14:00 horas de la tarde.

De la temperatura promedio del fluido de ingreso y de salida, la transferencia de calor del fluido calor portador inicia a la 9:00 am y simultáneamente el inicio de la electrobomba, la transferencia de calor máximo hacia el interior de la vivienda se desarrolla entre 14: 00 a 15:00 horas aproximadamente, a la misma hora se observa una ligera elevación de la temperatura interior de la vivienda, como se observa en la figura 36. La temperatura del fluido que ingresa y de salida logran coincidir a la 21:00 horas, misma hora donde la electrobomba deja de funcionar.

4.2.2 Comportamiento de temperatura en día nublado con sistema de cobre

En el periodo de evaluación del sistema de cobre, el día más nublado es el 31 de mayo. Donde la irradiación fue de 5.048 kW/m^2 . El cual en la figura 37, se observa que el comportamiento de la temperatura interior de la vivienda en un día nublado, los colores azul, violeta, celeste y anaranjado representan a temperatura interna de la vivienda, temperatura interna de la vivienda si calefacción, temperatura exterior y irradiación respectivamente. La temperatura interior durante el día nublado se mantuvo a $14.9\text{ }^{\circ}\text{C}$.

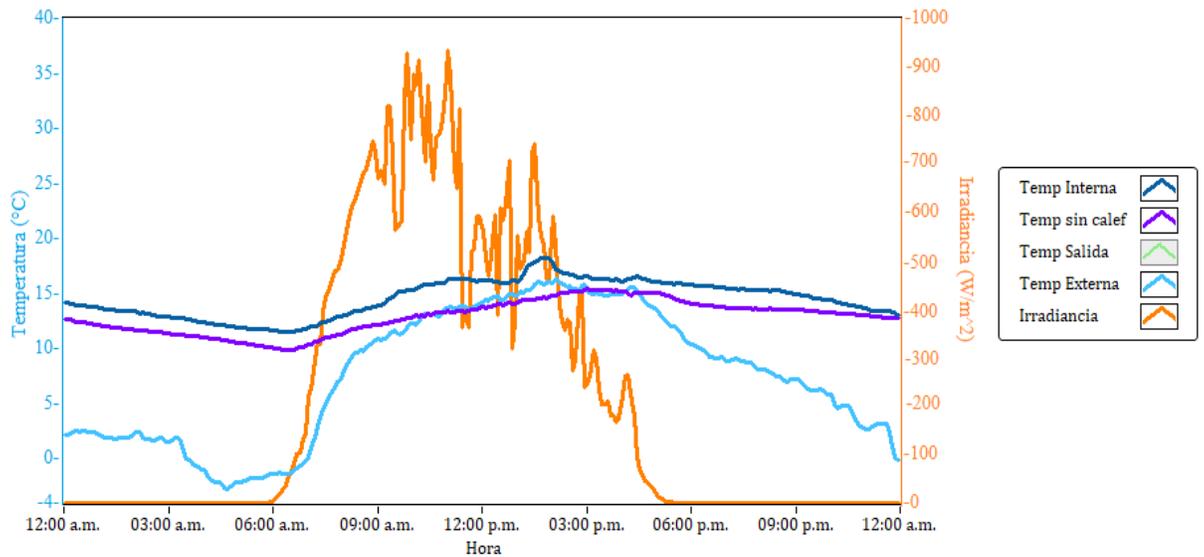


Figura 37. Comportamiento de temperatura interna en un día nublado con el sistema de tubería cobre.

4.2.3 Sistema de calefacción solar con tubería Pex

El sistema de tubería Pex inicio en el mes de junio, la evaluación del sistema se realiza en el periodo del 17 junio a 17 Julio de 2022. Siendo un mes de evaluación, durante este periodo de evaluación se adquiere datos de los sensores instalados en la vivienda, el sensor que adquiere datos de la temperatura al interior de la vivienda que está instalada al medio y a 1 m de altura del piso de la vivienda. El sensor de la temperatura exterior está instalado en la cara frontal de vivienda más aproximado al techo, los sensores que miden la temperatura del fluido caloportador están instalados en el piso de la vivienda con dirección al muro lugar de ingreso de la tubería que transporta el fluido caloportador.



Figura 38. Ubicación del piso radiante con tubería Pex y sensor PT 100.

En Tabla 10, se muestra el resumen de los datos obtenidos en el periodo de evaluación del sistema de calefacción solar por piso radiante con tubería Pex. Estos datos corresponden al promedio del periodo de evaluación, además de ello son datos obtenidos en el horario de trabajo de la electrobomba (9:00 a 21:00 horas), los datos promedios de las 24 horas de funcionamiento del sistema Pex se encuentran en el Anexo 6 (Tabla 22).

Tabla 10

Datos promedios de temperatura registradas con sistema de tubería Pex.

| | T° Ingreso agua (°C) | T° Salida agua (°C) | T° Exterior vivienda (°C) | T° Interior vivienda (°C) | Irradiancia (W/m ²) |
|----------------------------|-------------------------------|------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| Máximo | 81.98 | 74.19 | 17.17 | 17.90 | 979.0 0 |
| Mínimo | 48.38 | 46.17 | 1.70 | 12.11 | 0.00 |
| Promedio diario | 72.66 | 67.61 | 10.70 | 15.91 | 647.0 7 |

De la Tabla 10, en el periodo de evaluación del sistema de calefacción solar por piso radiante con tubería de Pex, se obtuvo una temperatura ambiente interior máxima de 17.90 °C y una temperatura ambiente interior mínima de 12.11 °C, la temperatura de ingreso del fluido en promedio es de 72.66 °C y la temperatura promedio de salida del fluido es de 67.61 °C. La temperatura exterior de la vivienda se registró como temperatura máxima de 17.17 °C y como temperatura mínima de 1.70 °C, datos obtenidos durante el funcionamiento de la electrobomba. Además, la irradiancia promedio máxima fue 979.0 W/m² esto en el periodo de evaluación del sistema de calefacción con tubería Pex.

En la Tabla 11, se muestra el salto térmico que se obtuvo en el periodo de evaluación del sistema de calefacción solar con la tubería Pex, obteniendo un salto térmico de 5.24 °C, este valor es hallado de la diferencia de temperatura promedio del interior de la vivienda y promedio de temperatura exterior.

Tabla 11

Salto térmico promedio en sistema de tubería Pex.

| promedio de temperatura interior (°C) | promedio de temperatura exterior (°C) | salto térmico (°C) |
|--|--|---------------------------|
| 15.91 | 10.66 | 5.24 |

En la Figura 39, se observa el comportamiento promedio de la temperatura interna del ambiente y temperatura exterior durante las 24 horas, del periodo de evaluación del sistema de calefacción solar con tubería Pex, además de observa el comportamiento promedio de la irradiación solar en el periodo de evaluación. En la Figura 39, los colores azul, celeste, violeta y anaranjado representan la temperatura interior, temperatura exterior, temperatura promedio sin calefacción de la vivienda y la irradiación respectivamente. Se observa que la temperatura exterior y la irradiación solar son directamente proporcionales, la temperatura interior de la vivienda se eleva ligeramente desde las 9:00 de la mañana hora donde se da inicio la electrobomba, en el horario de 12:00 medio día a 14:00, se observa que la temperatura interior y exterior se emparejan, esto debido a que la irradiación en ese horario se encuentra en su plenitud, pasando el dicho horario se observa que el sistema de calefacción con la tubería Pex entrega calor

considerablemente. Haciendo que la temperatura interior se eleve ligeramente indicando que el sistema trabaja adecuadamente. Se observa también que puede apreciar un área sombreada entre la temperatura ambiente interior con calefacción (línea azul) y temperatura sin calefacción de la vivienda (línea violeta), dicha área representa el aporte calorífico que da el sistema de calefacción solar con tubería Pex hacia el interior de la vivienda. El aporte calorífico empieza desde el momento en que la electrobomba empieza a forzar el flujo del fluido calor portador por el interior de la vivienda.

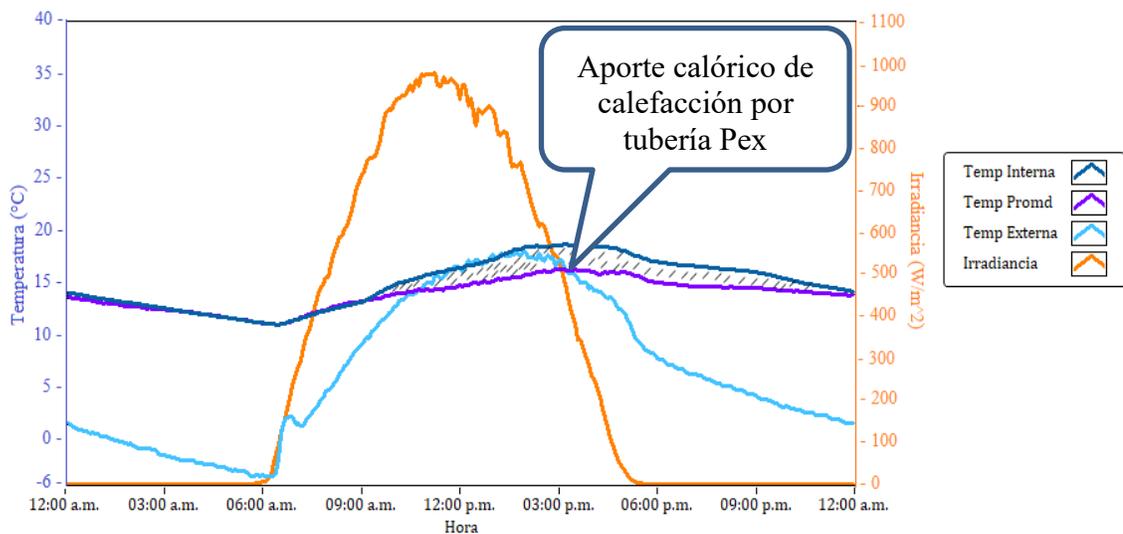


Figura 39. Comportamiento de temperatura en el periodo de evaluación sistema Pex. De la Figura 40, se visualiza el comportamiento de todas las temperaturas medidas en la en el interior de la vivienda, excepto la irradiancia que fue medida por la estación meteorológica del instituto de investigación de energías renovables, es importante indicar que la escala de temperaturas es el lado izquierdo, y la escala de la irradiancia es lado derecho. Los colares rojo, verde, azul, celeste y anaranjado representan las temperaturas de ingreso del fluido, salida del fluido, interior del ambiente, exterior e irradiancia solar respectivamente.

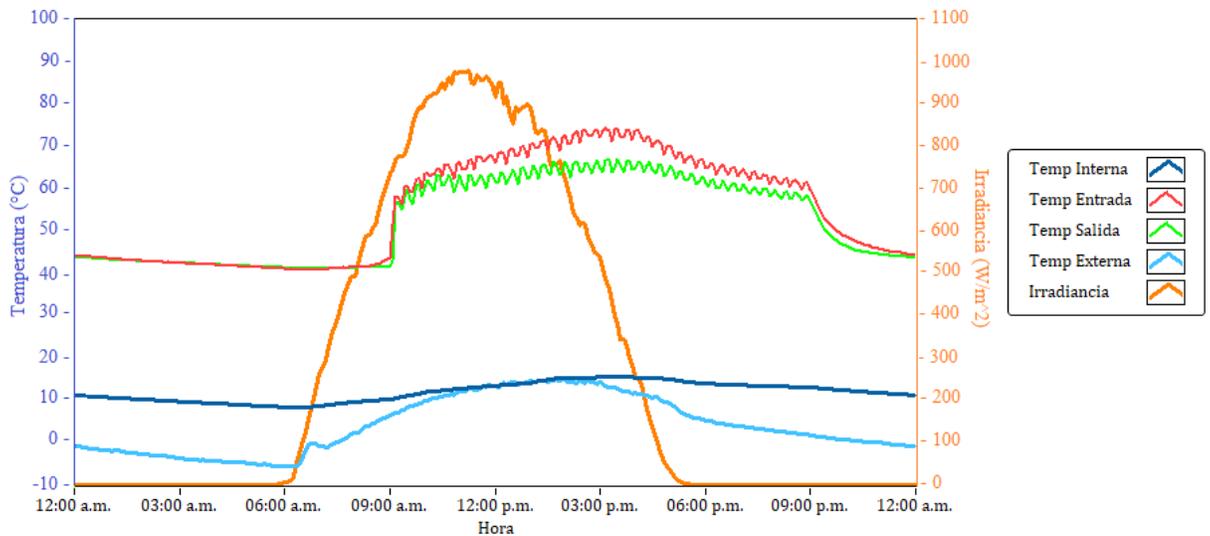


Figura 40. Comportamiento de todas las temperaturas medidas.

De la temperatura promedio exterior color celeste, se registró con temperatura mínima de $-5.23\text{ }^{\circ}\text{C}$, a horas de 06:10 de la mañana, la temperatura máxima exterior se registró con $17.17\text{ }^{\circ}\text{C}$ a horas de las 14:00 de la tarde. De la temperatura promedio del ambiente interior de la vivienda, se registró con una temperatura mínima de $9.91\text{ }^{\circ}\text{C}$ a las 06:25 de la mañana, y la temperatura máxima registrado fue de $17.89\text{ }^{\circ}\text{C}$ a las 15:15 horas de la tarde. De la temperatura promedio del fluido de ingreso y de salida, la transferencia de calor del fluido calor portador empieza a la 9:00 am, hora donde empieza el funcionamiento de la electrobomba, la transferencia de calor máximo hacia el interior de la vivienda ocurre entre 14: 00 a 15:30 horas aproximadamente, a la misma hora se observa una ligera elevación de la temperatura interior de la vivienda, como se observa en la figura. La temperara del fluido de ingresa y salida se igualan a la 22:30 horas aproximadamente, ya que la electrobomba deja de funcionar a las 21:00 horas.

4.2.4 Comportamiento de temperatura en día nublado con sistema de pex

En el periodo de evaluación del sistema de calefacción con tubería Pex, el día donde hubo más presencia de nubes fue el 23 de junio, donde la irradiación fue de 5.31 kW/m^2 . En la figura 41, se observa que el comportamiento de la temperatura interior de la vivienda en un día nublado. La temperatura interior de la vivienda se mantuvo a $13\text{ }^{\circ}\text{C}$, se puede observar que la temperatura interna en un día nublado es ligeramente mayor a la tempera en día sin calefacción.

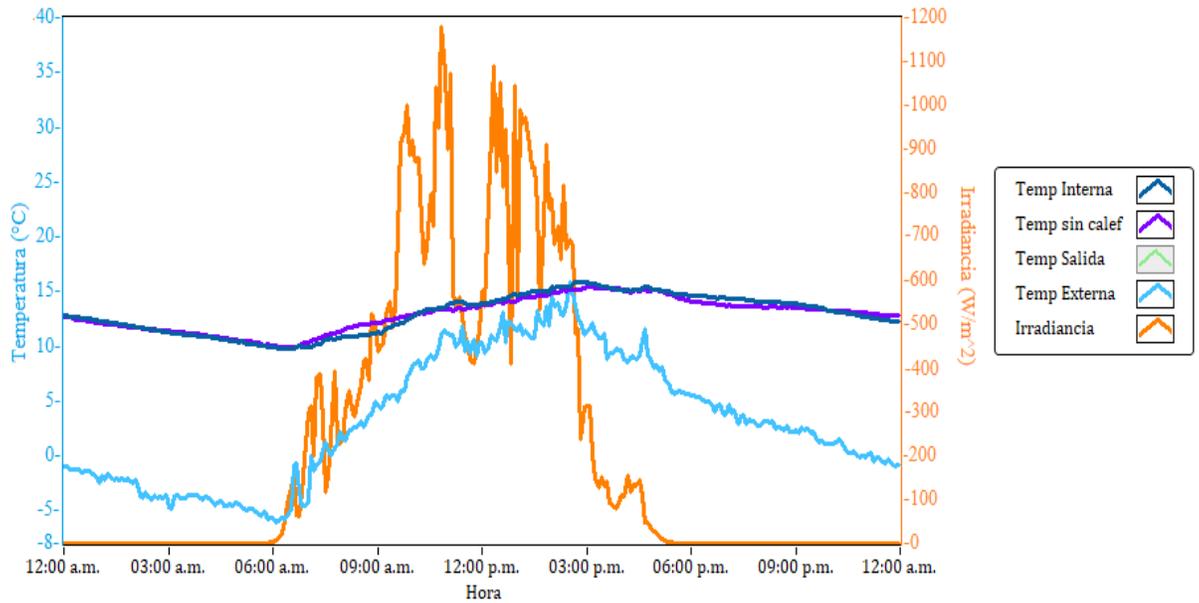


Figura 41. Comportamiento de temperatura en día nublado con el sistema de tubería de Pex.

4.2.5 Comportamiento de temperatura de ambiente interior sin calefacción

En la tabla 12, se visualiza los datos de temperatura del día sin calefacción es el 18 de julio, donde se obtuvo una temperatura interior de la vivienda de 12.90 °C, la temperatura promedio exterior se registró con 11.83 °C. en la Figura 41, se observa el comportamiento de temperatura durante las 24 horas.

Tabla 12

Promedios de temperatura del día sin calefacción mes de julio.

| | T° Ambiente (°C) | T° Ingreso (°C) | T° Salida (°C) | T° Exterior (°C) |
|-----------------|------------------------|-----------------------|----------------------|------------------------|
| Promedio | 12.90 | 49.47 | 49.43 | 11.82 |

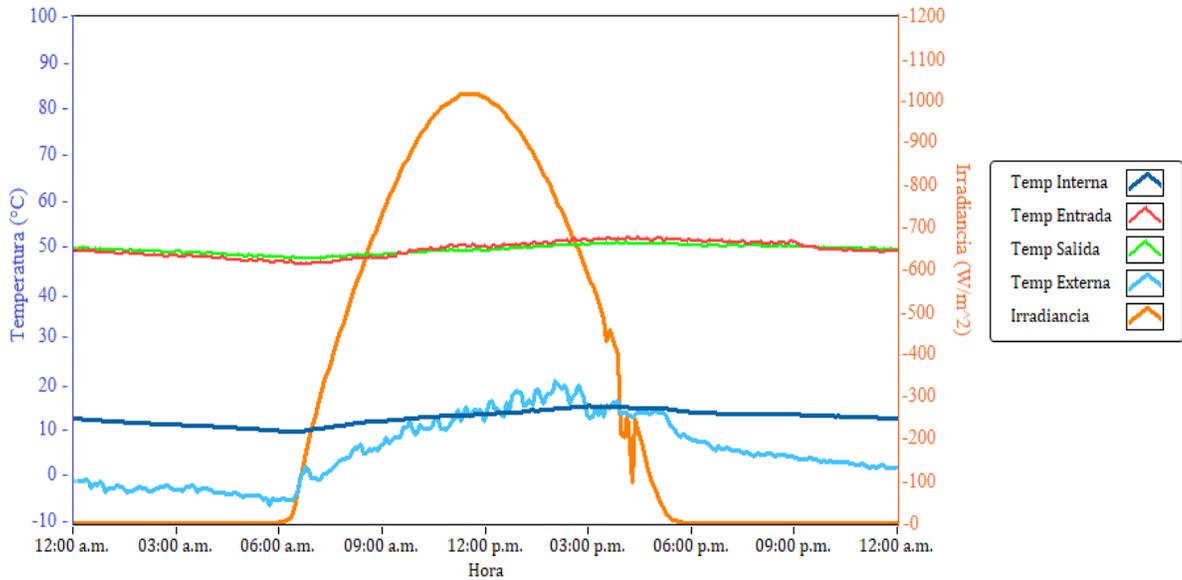


Figura 42. Comportamiento de la temperatura interior sin calefacción mes de julio.

4.3 Perdidas de calor de la vivienda y eficiencia de colectores solares

4.3.1 Perdidas de calor de la vivienda

En el sistema de calefacción de la vivienda existen perdidas ya sea por el muro (Adobe), ventana y puerta. Las pérdidas se calcularon mediante la ley de transferencia de calor de Fourier, ley de enfriamiento de Newton.

a) Perdida por muro de la vivienda

Se realizó los cálculos de pérdida de calor mediante los muros de la vivienda, para ello se realizó el cálculo total de las resistencias térmicas de aire, adobe y yeso sumando un total de 2.1 W de pérdida.

$$q^{\circ} = \frac{\Delta T}{R_{total}} = \frac{(16.1 - 11.31)}{2.2698} = 2.11 \text{ W} \quad (8)$$

b) Perdida por ventana

Se calculó la pérdida mediante la ventana de la vivienda, para ello se realizó el cálculo total de las resistencias térmicas de aire y vidrio, sumando un total de 120.198 W de pérdida.

$$q^{\circ} = \frac{\Delta T}{R_{total}} = \frac{(16.1 - 11.31)}{120.198} = 0.039 \text{ W} \quad (9)$$

c) Perdida por la puerta

Se realizó los cálculos de perdida de calor mediante la puerta de la vivienda, para ello se realizó el cálculo total de las resistencias térmicas de aire, triple y acero metálico sumando un total de 56.583 W de pedida.

$$\dot{q} = \frac{\Delta T}{R_{total}} = \frac{(16.1-11.31)}{56.583} = 0.846 \text{ W} \quad (10)$$

d) Perdida por el techo

Se realizó los cálculos de perdida de calor mediante el techo de la vivienda, para ello se realizó el cálculo total de las resistencias térmicas de aire, triple, aire estático entre calamina y el techo falso y calamina sumando es un total de 17.952 W de pedida.

$$\dot{q} = \frac{\Delta T}{R_{total}} = \frac{(16.1-11.31)}{17.952} = 0.267 \text{ W} \quad (11)$$

e) Pérdidas totales de flujo de calor de la vivienda

La pérdida de total de la vivienda es la sumatoria de toda la perdida calculada anteriormente. Como resultado se obtuvo que la pérdida de calor de la vivienda es de 2.995 W

$$\begin{aligned} Q_{Perdida} &= \dot{q}_{muros} + \dot{q}_{Puerta} + \dot{q}_{Ventana} + \dot{q}_{Techo} \\ Q_{Perdida} &= 2.11W + 0.039W + 0.846W + 0.267 = 3.249 \text{ W} \end{aligned} \quad (12)$$

Los cálculos realizados en detalle se pueden observar en el anexo 4.

4.3.2 Eficiencia del colector solar

Para caracterizar la eficiencia térmica de una terma solar se debe evaluar su rendimiento energético global: La eficiencia energética (η_E), que se define como la relación entre la energía térmica útil ganada por el colector y la energía solar disponible ese día (Valera, 2007).

$$\eta_E = \frac{\text{Energía_termica_util}(E_T)}{\text{Energía_solar_recibida}(E_s)} \quad (13)$$

Realizando los cálculos correspondientes se obtiene el resultado de 70.2 % de la eficiencia del colector solar, los cálculos detallados se observan en el anexo 4.

$$\eta_E = \frac{14.138KWh}{20.137KWh} = 0.702 = 70.2\%$$

4.4 Discusiones

En la investigación titulada “ **Diseño energético de un piso radiante para una sala de 12m² ubicada a 4000 msnm en Langui – Cuzco**” realizado por el autor (Olivera, 2011) donde instalo un sistema de piso radiante con tubería Pex, el sistema se evaluó en el mes de julio donde el horario de trabajo del sistema era de 5:00pm a 8:00pm, llegando a una temperatura de 13 °C, en el mismo mes se evaluó el sistema que estudiamos llegando a una temperatura de 16 °C promedio.

La investigación realizada por el autor (Castro, 2018), titulada “ **Evaluación y simulación de un piso radiante en un albergue del centro poblado de Imata ubicado a 4500 msnm en el departamento de Arequipa**” donde se instaló un sistema de piso radiante y se simulo, los días de evaluación del sistema fueron los días 30 y 31 de julio, 01 de agosto. Donde el salto térmico fue de 7 °C, en esta investigación se obtuvo un salto térmico de 5 °C.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

En el presente trabajo de investigación se construyó un prototipo de vivienda rústica típica de la región de Puno para lo cual fueron utilizados materiales originales de la zona alto andinas. En esta vivienda rústica está instalado un sistema de calefacción solar por piso radiante considerando dos tipos de tuberías, siendo una de tubería de cobre y otra de tubería Pex.

Se realizó el dimensionamiento de la carga térmica de la vivienda es de 577.8 W necesarias para calentar el ambiente a 18 °C, quiere decir que se necesita 112.3 W por metro cuadrado es la cantidad de energía que se transfiere a 50 m de tubería de cobre o tubería Pex instaladas de forma espiral en el piso de la vivienda. Para el sistema de tubería de cobre la transferencia de calor que realizó al piso de la vivienda es de 1.69 kW y para el sistema de calefacción con tubería Pex es 1.58 kW de calor al ambiente interno. El fluido caloportador se calienta a razón de 2.49 kW durante 8 horas durante el día para ingresar al sistema espiral y el calor restante desciende durante la noche de esa manera se repite el ciclo de calefacción de agua en el sistema de la vivienda.

Se diseñó, implementó y programó un sistema de control mediante un controlador lógico programable (PLC) de marca Siemens y gama SIMATIC S7-1200, conjuntamente con variador de frecuencia para controlar el encendido de una bomba de 0.5 HP. El lenguaje que se utilizó en la programación es de bloques en el software Tia Portal V17, el variador de frecuencia en salida tiene una frecuencia de 15 Hz, la electrobomba con una velocidad de 900 RPM, el funcionamiento de la bomba es 10 minutos de marcha y 8 minutos de parada durante el periodo de (9:00 a 21:00 horas) diarios.

Se realizó el análisis del sistema de calefacción por piso radiante con dos tipos de tuberías (tubería cobre y tubería Pex), donde el sistema de calefacción solar por tubería cobre tuvo ligeramente mayor transferencia de calor durante su periodo de análisis manteniendo la temperatura ambiente interior a 16.07 °C, y el sistema de calefacción solar con tubería de Pex mantuvo a una temperatura de 15.91 °C. En relación con el costo de cada sistema instalado el más económico es el sistema de calefacción por tubería de Pex con un costo de S/. 315.166 por metro cuadrado.

5.2 Recomendaciones

Luego de la realización del presente proyecto de investigación y obtenido los resultados podemos plantear las siguientes recomendaciones:

- En el sistema de calefacción se recomienda colocar una placa distribuidora de calor, esta estaría colocada después de la tubería que transporta el fluido, luego de ello sigue el piso de la vivienda, esta placa ayudaría a que el área efectiva sea mayor por ende la transferencia de calor sea mayor.
- Las ventanas se puedan instalar con una doble capa de vidrio para que el calor acumulado en el interior de la vivienda no se pierda, mejorar los cerramientos como las puertas deben estar cerradas herméticamente con largas esponjas o gomas en todo el contorno de la puerta.
- Realizar estudio de conductividad térmica del techo de la vivienda prácticamente se encuentra aislada con un triplay, para disminuir el calor que disipa la calamina no influya en el sistema de piso radiante de la vivienda.
- Se recomienda que en la vivienda se puedan realizar estudios con otro tipo de materiales en conductor del fluido caloportador por ejemplo con tubería de aluminio que tiene coeficiente térmico alto en transferencia de calor. Adema se puede realizar estudios de calefacción con radiadores en una vivienda rustica construida.
- Se recomienda realizar un plan de mantenimiento e limpieza de todo el sistema de calefacción en un periodo estudiado como son tubos al vacío, el circuito del serpentín, la electrobomba, sensores y otros.
- Realizar un sistema de alimentación de energía eléctrica solar aislado de la red para evitar interrupciones en la adquisición de datos y funcionamiento de sistema de calefacción de piso radiante en la vivienda rustica.

CAPÍTULO VI

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alem, L. (2015). Especificacion tecnicas de sensor de temperatura PT 100. 8–10.
- Alfa. (2015). Arquitectura Bioclimatica -Energia Solar. <https://alfarquitecturabioclimatica.wordpress.com/2015/11/13/energia-solar/>
- Andes, L. (2019). En la region de Puno se presenta la bajas temperaturas con Granizo, lluvias y nevada durante esta semana. <https://www.losandes.com.pe/2019/07/15/puno-granizo-lluvias-y-nevada-se-presentaran-en-la-region-durante-esta-semana/>
- Andrades, M. (2017). Implementacion de sistema de calefaccion en seco de losa de residencias urbanas en las zona sur de Chile.
- Aquatechn. (2019). Calefacción de piso de agua de bricolaje. <https://aquatechn.com/es/otoplenie/teplyj-pol/vodyanoj-teplyj-pol-svoimi-rukami.html>
- Aquino, R. (2018). Determinación de la energía solar para el diseño bioclimático de viviendas en la ciudad de Juliaca región Puno.
- Berrio, & Hanco. (2017). Diseño de un prototipo de calefacción por m² de superficie de piso radiante utilizando PCMS aprovechando la energía solar térmica en la ciudad de Puno.
- Caceres, J. andres. (2014). Análisis de un Sistema de Autoconsumo Híbrido Fotovoltaico. 91–95.
- Canarias. (2007). Captadores solares térmicos. 10.
- Castro, P. (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. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/7994>
- Clementi. (2020). Energía solar, una energía renovable. <https://www.francoiseclementi.com/2020/energias-renovables-ii-la-energia-solar/>
- Diario. (2019). Energía solar y Agua caliente. <http://www.diariodeciencias.com.ar/sol-y-agua-caliente-como-funciona-un-calentador-solar/>
- Disai. (2022). Transmiso de temperatura. <https://www.disai.net/producto/transmisor-de->

temperatura-wika/

Earth, G. (2022). Google Earth. <https://www.google.com/intl/es/earth/>

Fernández, M. (2016). Estudio de viabilidad de un sistema de calefacción en Estaciones ITV mediante suelo radiante.

Frías, T. Y. (2017). Colector Térmico Fotovoltaico Interconectado a la Red. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699.
<file:///C:/Users/User/Downloads/fvm939e.pdf>

Gallardo, p. (2019). Ficha técnica de producto tubo Pex. 1–3.

Hidrosun. (2019). Instalación de calentadores solares en Guadalajara.
<https://www.calentadoreshidrosun.com/>

Jutglar, L. M. (2009). Técnicas de calefacción.
https://books.google.com/books/about/Técnicas_de_Calefacción.html?hl=es&id=Rqe8coICvwcC

Leadsun. (2022). Colectores Solares-Generalidades - Energía Solar Térmica.
<https://www.aulafacil.com/cursos/medio-ambiente/energia-solar-termica/colectores-solares-generalidades-136746>

Loureiro, M. (2015). Colectores De Placa Plana. *Pfernandezdiez.Es*, 59–76.
<file:///C:/Users/Daniel/Downloads/03-Colectores de placa plana.pdf>

Martínez, J. (2009). Colector Solar Térmico De Tubo De Vacío Y Tecnología Heat-Pipe.

Miranda, Á. (2010). Técnicas de Climatización. 204.

Molina, J. Omar. (2016). Calentador solar de agua de tubos al vacío. 2, 1–15.

Nacobre, T. (2016). Tubos Y Conexiones De Cobre Para Instalaciones Hidráulicas Y De Gas.
www.nacobre.com.mx

Olivera, D. (2011). Diseño energético de un suelo radiante para una sala de 12 M² ubicada a 4000 MSNM en Langui-Cuzco.

Pérez, & Morales. (2017). La hora solar pico equivalente, definición e interpretación. *Ingeniería Energética*, 2.

- Pizarro, H., Aquino, E., & Ramos, J. (2020). Diseño y construcción de un sistema de calefacción solar para una aula de la UNAJ. 184.
- Ramos, E., Florián, D., Fuertes, J., Alvarado, J., Paredes, R., & Prieto, R. (2013). Acondicionamiento térmico para edificaciones rurales altoandinas. XX Simposio Peruano de Energía Solar, 11–15.
- Roman, P. (2008). Energía solar térmica.
- Schneider. (2022). ATV12H075M2 - VARIADOR 240V 0,75KW 1HP 4,2A Schneider Electric Argentina. <https://www.se.com/ar/es/product/ATV12H075M2/variador-1fase-240v-075kw-1hp-42a/>
- Senamhi. (2020). pronóstico climatológico de la ciudad de Juliaca.pdf.
- Siemens. (2022). Automatización: CPU 1214C PLC Siemens S7-1200 DC/DC/RLY. <https://didacticaselectronicas.com/index.php/instrumentación-industrial/automatización/1214-cpu-plc-siemens-s7-1200-controlador-controladores-plc-automatización-siemens-detail>
- Soler. (2020). Variador de frecuencia principios de funcionamiento. <https://www.solerpalau.com/es-es/blog/variador-de-frecuencia/>
- Solingen. (2020). Calentadores Solares con Tubos al Vacío Tecnología Heat Pipe en RD. <https://calentadoresolarrd.com/calentadores-solares-con-tubos-al-vacio-tecnologia-heat-pipe/>
- Sussy, L. (2018). Indicadores del cambio climático en los distritos de Jenaro Herrera y Requena, utilizando información satelítica para el periodo 1960-2015. 136.
- UEM. (2014). Energía solar térmica - Efecto fototérmico - Sierterm UEM. <https://sierterm.es/content/efecto-fototermico/>
- UNLP. (2020). Controlador lógico programable - PLC - Conocer tipos de controladores programables . Tipos de programaciones .
- Villarruel, R. (2010). Anteproyecto De Calefacción Por Piso Radiante Para Salón De Eventos De Centro De Ferias Parque Saval. <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2010/bmfciv722a/doc/bmfciv722a.pdf>

ANEXOS

ANEXO 1. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE EQUIPOS DEL SISTEMA DE CALEFACCIÓN

A continuación, se muestra en la Figura 43, las especificaciones técnicas de la bomba Pedrollo utilizada para la circulación del fluido caloportador (agua caliente).

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 | EN 60034-1 | CE |
| IEC 60335-1 | IEC 60034-1 | |
| CEI 61-150 | CEI 2-3 | |

CERTIFICACIONES

Empresa con sistema de gestión certificado DNV
ISO 9001: CALIDAD

Figura 43: Especificaciones técnicas de bomba Pedrollo (Pedrollo, 2015).

La Tabla 13 muestra las especificaciones técnicas de la tubería de cobre utilizada en el piso radiante del proyecto de investigación.

Tabla 13

Especificación técnica de tubería de cobre.

| Características físicas del cobre | |
|--|------------------------|
| Temperatura de fusión | 1,083 °C |
| Diámetros Exterior | 15.875 mm |
| Medida Nominal | 1/2" |
| Densidad (20 °C) | 8.94 g/cm ³ |
| Conductividad Térmica (68 F) | 372,1-385 (W/(m.K)) |
| Calor específico (20 °C) | 0.092 cal/g/ °C |
| Aleación | C12200 |
| Nombre Comercial | Cobre fosforado |

Nota: (Nacobre, 2016)

Tabla 14*Especificación técnica de Tubería PEX.*

| característica | valor | unidades |
|-----------------------------------|------------------------|-------------------------|
| dilatación lineal | 1.4x10 ⁻⁴ | K ⁻¹ |
| conductividad térmica | | 0.38 W/mK |
| temperatura máxima de trabajo | | 95 °C |
| temperatura máxima puntual | | 110 °C |
| | 6 (para la serie 5) | bar |
| | 10 (para la serie 3.5) | bar |
| presión máxima de trabajo a 95 °C | 10 (para la serie 3.2) | bar |
| Rugosidad | | 0.007 mm |
| Densidad | | 0.945 g/cm ² |

Nota: (Gallardo, 2019).**Características:**

- Tension de alimentación: 24VDC
- Consumo (valor nominal): 500mA, solo CPU
- Con memoria integrada: 100 kByte
- Número de entradas digitales: 14
- Número de salidas digitales: 10
- Número de entradas analógicas: 2
- Interfaz PROFINET (estándar abierto de Ethernet)
- Soporta servidores web
- Dimensiones: 110x100x75mm

Figura 44: Especificaciones técnicas Controlador Lógico Programable PLC (Siemens, 2022).

| Principal | |
|--------------------------------------|-----------------------------|
| rango de producto | Altivar 12 |
| tipo de producto o componente | Variador velocidad variable |
| aplicación específica producto | Máquina simple |
| modo de montaje | Montaje de gabinete |
| protocolo de puerto de comunic | Modbus |
| frecuencia de alimentación | 50/60 Hz +/- 5 % |
| [Us] tensión de alimentación nominal | 200...240 V - 15...10 % |
| corriente de salida nominal | 4,2 A |
| potencia del motor en CV | 1 hp |

Figura 45. Especificación técnica de variador de frecuencia (Schneider, 2022).

| CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS | |
|--------------------------|-----------------------------------|
| Tipo de sensor | Resistencia de Platino 100Ω a 0°C |
| Rango de t° Operativo | 0 – 400°C |
| Material del cuerpo | Incomel 600 |
| Exactitud | 0.5°C |
| Conexión | 3 cables(RTD, RTD, compensación) |

Figura 46. Especificaciones técnicas del sensor de temperatura PT 100 (Alem, 2015).

| Atributo | Valor |
|---|--|
| Tipo de Entrada | Resistencia lineal, RTD, termopar, tensión |
| Tensión de Alimentación | 8 30 V dc |
| Diámetro | 44 mm |
| Entrada de temperatura mínima | -200°C |
| Entrada de temperatura máxima | 850°C |
| Temperatura de Funcionamiento Mínima | -40°C |
| Temperatura de Funcionamiento Máxima | +85°C |
| Profundidad | 20.2mm |
| Certificación para atmósferas explosivas ATEX | ATEX, IECEx |

Figura 47. Especificación técnica de transmisor de temperatura (Disai, 2022).

ANEXO 2. DISEÑO DE CALEFACCION CON NORMA UNE-EN 12831 Y VIABILIDAD DEL SISTEMA DE LA VIVIENDA.

| Pérdida térmica: | f_k | Observaciones |
|---------------------------------------|-------|---|
| directamente al exterior | 1,00 | si los puentes térmicos están aislados |
| | 1,40 | si los puentes térmicos no están aislados |
| | 1,00 | para ventanas, puertas |
| hacia un espacio no calentado | 0,80 | si los puentes térmicos están aislados |
| | 1,12 | si los puentes térmicos no están aislados |
| hacia el terreno | 0,3 | si los puentes térmicos están aislados |
| | 0,42 | si los puentes térmicos no están aislados |
| hacia el espacio del tejado | 0,90 | si los puentes térmicos están aislados |
| | 1,26 | si los puentes térmicos no están aislados |
| suelo suspendido | 0,90 | si los puentes térmicos están aislados |
| | 1,26 | si los puentes térmicos no están aislados |
| hacia un edificio adyacente | 0,50 | si los puentes térmicos están aislados |
| | 0,70 | si los puentes térmicos no están aislados |
| hacia un edificio colectivo adyacente | 0,30 | si los puentes térmicos están aislados |
| | 0,42 | si los puentes térmicos no están aislados |

Figura 48. Factor de correccion (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 49. Transmitancia térmica (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 50. Índice de renovación mínima del aire exterior, n_{\min} (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 51. Factor de recalentamiento f_{RH} , para edificios no residenciales (AENOR, 2017)

| Actividad | C. Sensible (W) | C. Latente (W) |
|------------------|-----------------|----------------|
| Sentado | 58 | 44 |
| De pie, paseando | 58 | 70 |
| Comiendo | 64 | 93 |
| Baile moderado | 70 | 174 |
| Marcha rápida | 87 | 204 |

Figura 52. Transpiración de personas según su desempeño (Juan, 2016)

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. Para cual calcularemos el flujo máximo de calor

b) Carga máxima de calor

$$q_{\max} (W / m^2) = 8.92(T_{suelo} - T_{int})^{1.1} \quad (18)$$

Donde:

T_{suelo} : Temperatura del suelo (29 °C límite máximo permisible según la norma DIN EN 1264)

T_{int} : Temperatura interior de la vivienda

$$q_{\max} (W / m^2) = 8.92(29 - 19)^{1.1} = 112.3 W / m^2$$

c) Cálculo de la longitud del conducto calor portador

Para este cálculo necesitamos saber el área de calefacción y le separación de conducto a conducto. Para el cual utilizaremos la siguiente formula

$$L = \frac{Area_{suelo-radiante}}{Separacion_{conducto}} = \frac{12 m^2}{0.25 m} = 48 = 50 m \quad (19)$$

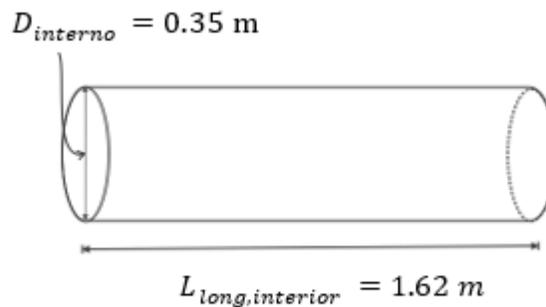
ANEXO 3. DIMENSIONAMIENTO DE TERMA SOLAR PARA CALENTAMIENTO DEL AGUA.

a) Cálculo de volumen de agua

Datos técnicos de la terma solar:

- Volumen del termotanque : $V_{termotanque} = ?$
- Diametro interno del termotanque : $D_{interno} = 0.35 \text{ m}$
- Longitud del termotanque : $L_{long,interior} = 1.62 \text{ m}$

El termotanque es un cilindro elaborado de forma horizontal, se realiza el cálculo de la ecuación del volumen de un cilindro:



$$V_{termotanque} = \frac{1}{4} * \pi * D_{interno}^2 * L_{long,interior} \quad (20)$$

Remplazando:

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

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

$$V_{agua,termotanque} = V_{termotanque}$$

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

b) Cálculo de la masa del agua

Densidad del agua a 14 °C es $999 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

$$m_{agua,termotanque} = \rho_{agua,16^\circ\text{C}} * V_{agua,termotanque}$$

$$m_{agua,termotanque} = 999 \frac{kg}{m^3} * 0.1559 m^3$$

$$m_{agua,termotanque} = 155.74 kg$$

c) **Cálculo de volumen en los tubos de vacío**

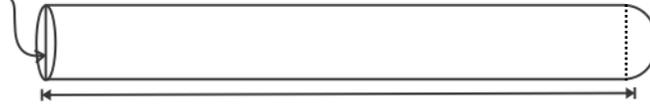
Datos técnicos de los tubos de vacío son:

- Número de tubos : 20
- Diámetro exterior : 58 mm
- Diámetro interior : 47 mm
- Longitud : 1800 mm
- Longitud útil : 1650 mm

El volumen de un tubo es:

$$V_{tubo,vacio} = \frac{1}{4} * \pi * D_{interior}^2 * L_{longitud,util}$$

$$D_{interior} = 47 mm = 0.047 m$$



$$L_{lonitud,util} = 1650 mm = 1.65 m$$

Remplazando:

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

$$V_{tubo,vacio} = 0.002863 m^3$$

$$V_{agua,tubo-vacio} = V_{tubo,vacio}$$

$$V_{agua,tubo-vacio} = 0.002863 m^3 = 2.863 L$$

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

$$V_{agua,tubo-vacio} = 20 * 2.863 L$$

$$V_{total-agua,tubo-vacio} = 57.26 L$$

d) Cálculo de la masa de agua en los tubos de vacío

Densidad del agua a 14 °C es $999 \frac{kg}{m^3}$

$$m_{agua,tubo-vacío} = \rho_{agua} * V_{agua,tubo-vacío}$$

$$m_{agua,tubo-vacío} = 999 \frac{kg}{m^3} * 0.002863 m^3$$

$$m_{agua,tubo-vacío} = \mathbf{2.86 kg}$$

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

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

$$m_{agua total,tubos vacio} = \mathbf{57.2 kg}$$

e) Cálculo del volumen total de agua en la terma solar

- El volumen de agua en termas solares de 20 tubos es:

$$V_{agua,terma solar} = V_{agua,termotanque} + V_{total-agua,tubo-vacío}$$

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

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

- La masa total del agua en la terma solar:

$$m_{agua,terma solar} = m_{agua,termotanque} + m_{agua total,tubos vacio}$$

$$m_{agua total,terma solar} = 155.588 kg + 57.14 kg$$

$$m_{agua total,terma solar} = \mathbf{212.94 kg}$$

f) Cálculo de energía útil acumulada en el agua de la terma solar

Los datos obtenidos son:

$$T_{ingreso,agua} = 14 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_{salida,agua} = 70 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$C_{p,agua} = 4.182 \frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C}$$

$$\Delta t_{tiempo} = 8h = 28\,800\ s$$

- Calor útil acumulado:

$$Q_{\acute{u}til,agua} = m_{agua,terma\ solar} * C_{e,agua} * (T_{salida} - T_{ingreso})$$

$$Q_{\acute{u}til,agua} = 212.728\ kg * 4.182 \frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C} * (70 - 14) \text{ } ^\circ C$$

$$Q_{\acute{u}til,agua} = \mathbf{49\,868.84\ kJ}$$

En 8h (28 800 s) la razón de flujo de calor absorbido ($\dot{Q}_{abs,agua}$), se tiene:

$$\dot{Q}_{abs,agua} = \frac{44\,481.425\ kJ}{28\,800\ s}$$

$$\dot{Q}_{abs,agua} = \mathbf{1.73\ kW}$$

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

$$\dot{m}_{agua} = \frac{212.728\ kg}{28\,800\ s} = \mathbf{0.00739\ \frac{kg}{s}}$$

$$\dot{m}_{agua} = \mathbf{7.39\ \frac{g}{s}}$$

g) Cálculo de la energía absorbida por irradiación solar

$$\dot{Q}_{colectores} = \dot{Q}_{Irradiación} \quad (21)$$

Donde:

$$\dot{Q}_{colectores} = \text{Calor absorbido por los colectores solares}$$

$$\dot{Q}_{Irradiación} = \text{Calor por irradiación solar}$$

- Cálculo del área de captación solar (A_c):-

$$A_c = \frac{\pi * D_c * L_c}{2} * n_{tubos} \quad (22)$$

Donde:

D_c = *Diametro externo del colector de tubos al vacio*

L_c = *longitud util de tubos al vacio.*

n_{tubos} = *Número de tubos al vacio*

$$A_c = \frac{\pi * 0.058 * 1.65}{2} * 20$$

$$\mathbf{A_c = 3.006 \text{ m}^2}$$

- Remplazando en la ecuación se tiene:

$$I_{solar, \text{anual promedio-juliaca}} = 6.63 \frac{kWh}{m^2}$$

$$\dot{Q}_{colectores} = 6.63 \frac{kW.h}{m^2} * \frac{3.006 m^2}{8 h}$$

$$\mathbf{\dot{Q}_{colectores} = 2.491 kW}$$

h) Cálculo de la razón de flujo másico, para una absorción de **2.491 kW**.

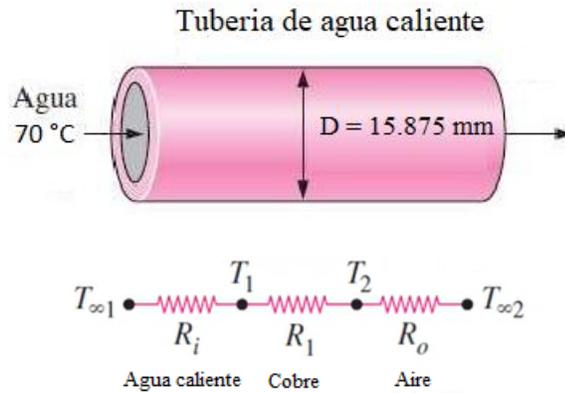
$$\mathbf{2.491 kW} = \dot{m} * 4.182 \frac{kJ}{kg.^{\circ}C} * (70 - 20)^{\circ}C$$

$$\dot{m} = \frac{2.491 \frac{kJ}{s}}{4.182 \frac{kJ}{kg.^{\circ}C} * (70 - 20)^{\circ}C}$$

$$\mathbf{\dot{m} = 0.01191 \frac{kg}{s} = 11.91 \frac{g}{s}}$$

a) **Dimensionamiento de transferencia de calor de sistema de piso radiante de tuberías de cobre y pex.**

El circuito tiene la medida de 50m en todo el piso de la vivienda que fueron instaladas en los dos tipos de tuberías, para obtener la transferencia de calor de cada tubería se obtendrá mediante la ley de Fourier para cada tubería. En el siguiente cálculo se realiza para la tubería de cobre con los datos obtenidos:



$$A_1 = 2\pi r_1 L = 2\pi(0.0062595m)(50m) = 1.967 \text{ m}^2$$

$$A_2 = 2\pi r_2 L = 2\pi(0.0079375m)(50m) = 2.494 \text{ m}^2$$

Se desarrollan las diferentes resistencias térmicas que se encuentra en el sistema.

$$R_i = R_{conv,1} = \frac{1}{h_1 A} = \frac{1}{\left(\frac{60 \text{ W}}{\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}\right)(1.967 \text{ m}^2)} = 0.00847 \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

$$R_1 = R_{tubo} = \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2\pi k_1 L} = \frac{\ln\left(\frac{0.0079375}{0.0062595}\right)}{2\pi\left(\frac{386 \text{ W}}{\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}\right)(50 \text{ m})} = 0.00000196 \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

$$R_o = R_{conv,2} = \frac{1}{h_2 A_2} = \frac{1}{\left(\frac{18 \text{ W}}{\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}\right)(2.494 \text{ m}^2)} = 0.022276 \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

Para hallar la resistencia total se realiza la sumatoria como se encuentra en serie teniendo un total de $0.0308 \text{ } ^\circ\text{C/W}$:

$$R_{total} = R_i + R_1 + R_o \tag{23}$$

$$R_{total} = 0.00847 + 0.00000196 + 0.022276 = 0.0308 \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

La razón estacionaria de transferencia de calor de agua caliente por longitud de tubo es de 1691.06 W como se muestra en la ecuación:

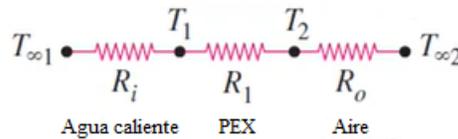
$$\dot{Q} = \frac{T_{\infty 1} - T_{\infty 2}}{R_{total}} \quad (24)$$

$$= \frac{(70 - 18)}{0.03075 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}}} = 1691.06 \text{ W}$$

Las temperaturas de la superficie interior y exterior del tubo se diferencian de 0.0033 °C

$$\Delta T_{tubo} = QR_{tubo} = (1691.06 \text{ W}) \left(0.00000196 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}} \right) = 0.0033 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

De la misma forma se aplica para la tubería de PEX la ley de Fourier para el cálculo de la tubería es de la siguiente manera:



$$A_1 = 2\pi r_1 L = 2\pi(0.00616 \text{ m})(50 \text{ m}) = 1.935 \text{ m}^2$$

$$A_2 = 2\pi r_2 L = 2\pi(0.0079 \text{ m})(50 \text{ m}) = 2.48 \text{ m}^2$$

Se desarrollan las diferentes resistencias térmicas que se encuentra en el sistema.

$$R_i = R_{conv,1} = \frac{1}{h_1 A} = \frac{1}{\left(\frac{60 \text{ W}}{\text{m}^2 \text{ }^{\circ}\text{C}}\right)(1.935 \text{ m}^2)} = 0.0086 \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{W}$$

$$R_1 = R_{tubo} = \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2\pi k_1 L} = \frac{\ln\left(\frac{0.0079}{0.00616}\right)}{2\pi\left(\frac{0.35 \text{ W}}{\text{m}^2 \text{ }^{\circ}\text{C}}\right)(50 \text{ m})} = 0.00226 \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{W}$$

$$R_o = R_{conv,2} = \frac{1}{h_2 A_2} = \frac{1}{\left(\frac{18 \text{ W}}{\text{m}^2 \text{ }^{\circ}\text{C}}\right)(2.48 \text{ m}^2)} = 0.022 \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{W}$$

Para hallar la resistencia total se realiza la sumatoria como se encuentra en serie teniendo un total de 0.045 °C/W :

$$R_{total} = R_i + R_1 + R_o = 0.0086 + 0.00226 + 0.022 = 0.03286 \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{W}$$

La razón estacionaria de transferencia de calor de agua caliente por longitud de tubo es de 1582.47 W como se muestra en la ecuación:

$$\dot{Q} = \frac{T_{\infty 1} - T_{\infty 2}}{R_{total}} = \frac{(70 - 18)}{0.03286 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}}} = 1582.47 \text{ W}$$

Las temperaturas de la superficie interior y exterior del tubo se diferencian de 52 °C

$$\Delta T_{tubo} = QR_{tubo} = (1582.47 \text{ W}) \left(0.00226 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}} \right) = 3.58 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

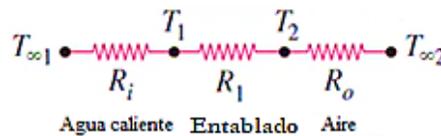
La transferencia de calor de piso de entablado de 12.35 m² de la vivienda con respecto a la tubería del serpentín donde la transferencia se realiza 0.03 m de ancho y 50 m de largo con respecto al circuito de la tubería de cobre es lo siguiente:

$$30 \text{ mm} = 0.03 \text{ m}$$

$$50 \times 0.03 = 1.5 \text{ m}^2$$

$$T_1 = 70$$

$$T_2 = 18$$



Para realizar el cálculo a través del entablado de piso de vivienda se realiza con el coeficiente térmico de la madera y será por medio de conducción de transferencia de calor de la siguiente manera:

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

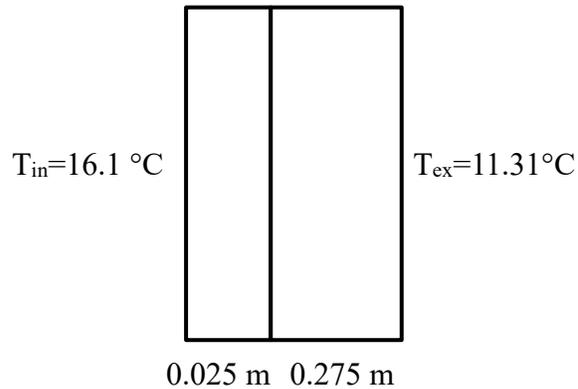
$$\dot{Q} = (0.14)(1.5) \frac{(70 - 18)}{0.02}$$

$$\dot{Q} = 546 \text{ W}$$

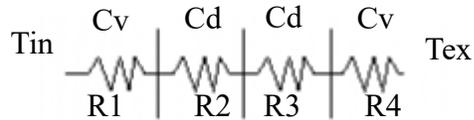
ANEXO 4. CALCULO DE PERDIDAS DE LA VIENDA Y EFICIENCIA DEL COLECTOR SOLAR

a) Pérdidas por los muros de la vivienda

El muro de la vivienda está compuesto por adobe de espesor de 27.5 cm y una capa de yeso de espesor de 2.5 cm, por tal se calcula las pérdidas de calor que existen mediante los muros.



Interpretación en resistencias térmicas del muro de la vivienda



Entonces la resistencia térmica total será:

$$R_{total} = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 \quad (25)$$

$$R_{total} = \frac{1}{h \times A} + \frac{L}{k \times A} + \frac{L}{k \times A} + \frac{1}{h \times A}$$

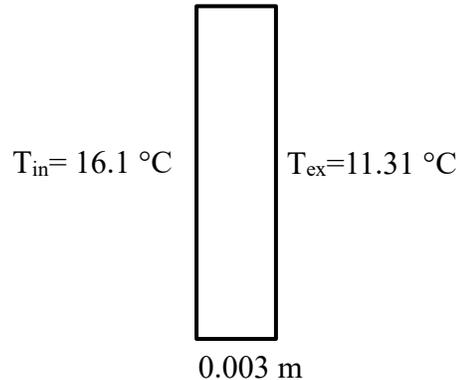
$$R_{total} = \frac{1}{0.026 \times 34.6} + \frac{0.025}{0.149 \times 34.6} + \frac{0.275}{0.176 \times 34.6} + \frac{1}{0.026 \times 34.6} = 2.2698 \text{ K/W}$$

$$q^\circ = \frac{\Delta T}{R_{total}} = \frac{(16.1 - 11.31)}{2.2698} = 2.11 \text{ W}$$

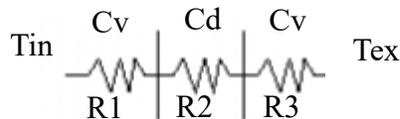
Como resultado de pérdidas de calor mediante los muros de la vivienda se tiene 2.11 W de pérdida.

b) Perdidas por la ventana de la vivienda

La ventana de la vivienda tiene un área de 0.64 m^2 y un espesor de 3 mm , por tal se calcula la perdida de calor mediante la ventana.



La resistencia térmica se representa de la siguiente manera



Entonces la resistencia térmica total será:

$$R_{total} = R_1 + R_2 + R_3 \quad (26)$$

$$R_{total} = \frac{1}{h \times A} + \frac{L}{k \times A} + \frac{1}{h \times A}$$

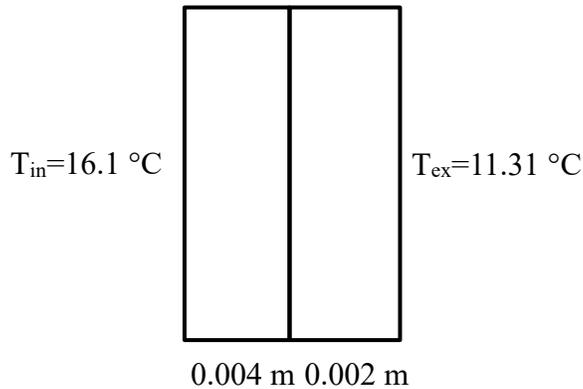
$$R_{total} = \frac{1}{0.026 \times 0.64} + \frac{0.003}{0.84 \times 0.64} + \frac{1}{0.026 \times 0.64} = 120.198 \text{ K/W}$$

$$q^\circ = \frac{\Delta T}{R_{total}} = \frac{(16.1 - 11.31)}{120.198} = 0.039 \text{ W}$$

Teniendo como resultado una pérdida de 0.039 W por la ventana.

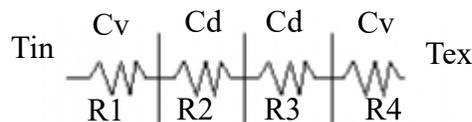
c) Perdidas por la puerta de la vivienda

La puerta de la vivienda tiene un área de 1.36 m^2 , la puerta es metálica que está forrado con triplay, por tal se calcula la perdida de calor que existe por la puerta.



En la imagen se puede observar que el triplax tiene un espesor de 4 mm y la puerta metálica tiene un espesor de 2 mm

La resistencia térmica total se representa de la siguiente manera:



La resistencia termica total se calcula de la siguiente manera:

$$R_{total} = R_1 + R_2 + R_3 + R_4$$

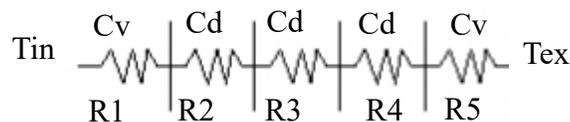
$$R_{total} = \frac{1}{h \times A} + \frac{L}{k \times A} + \frac{L}{k \times A} + \frac{1}{h \times A}$$

$$R_{total} = \frac{1}{0.026 \times 1.36} + \frac{0.004}{0.14 \times 1.36} + \frac{0.002}{1.2 \times 1.36} + \frac{1}{0.026 \times 1.36} = 56.583\text{ K/W}$$

$$q = \frac{\Delta T}{R_{total}} = \frac{(16.1 - 11.31)}{56.583} = 0.846\text{ W}$$

d) Pérdidas por el techo de la vivienda

En este apartado se calcula las pérdidas de calor que se presentan por el techo de la vivienda, por tal las resistencias térmicas se evalúan de la siguiente manera.



$$R_{total} = R_1 + R_2 + R_3 + R_4$$

$$R_{total} = \frac{1}{h \times A} + \frac{L}{k \times A} + \frac{L}{k \times A} + \frac{L}{k \times A} + \frac{1}{h \times A}$$

$$R_{total} = \frac{1}{0.026 \times 12} + \frac{0.004}{0.14 \times 12} + \frac{0.3}{0.026 \times 12} + \frac{0.003}{0.33 \times 12} + \frac{1}{0.026 \times 12} = 0.65 \text{ W}$$

e) Pérdida de calor total de la vivienda

Pérdida total de calor de la vivienda será la sumatoria de todas las pérdidas de calor que se presentan en la vivienda, el cual como resultado de obtuvo que 3.639 W es le perdida de calor que tiene la vivienda rustica.

$$Q_{Perdida} = \dot{q}_{muros} + \dot{q}_{Puerta} + \dot{q}_{Ventana} + \dot{q}_{Techo} \quad (26)$$

$$Q_{Perdida} = 2.11 \text{ W} + 0.039 \text{ W} + 0.846 \text{ W} + 0.65 \text{ W} = 3.639 \text{ W}$$

f) Eficiencia de colectores solares

La eficiencia térmica de colectores solares se calcula con la siguiente formula, que es la relación entre la energía térmica útil ganada por la terma y la energía solar disponible en el periodo de evaluación.

$$\eta_E = \frac{\text{Energia}_{-termica}_{-util}(E_T)}{\text{Energia}_{-solar}_{-recibida}(E_s)} \quad (27)$$

La energía térmica útil se calcula con la siguiente ecuación

$$E_T = m \times C \times \Delta T \quad (28)$$

Entonces reemplazamos en la formula con los valores, calculados en el dimensionamiento del sistema. llegando a que 14.138 kWh es la energía útil.

$$E_T = m \times C \times \Delta T$$

$$E_T = 212.94 \text{ kg} \times (4186 \text{ J} / \text{kg} \times ^\circ\text{C}) \times (71.1 - 14) ^\circ\text{C} = 50897.046 \text{ kJ}$$

$$E_T = 14.138 \text{ kWh}$$

La energía solar recibida se calcula con la siguiente ecuación, donde e_s es la radiación solar.

$$E_s = e_s \times A \quad (29)$$

El área del colector solar se calcula con la siguiente ecuación: donde el diámetro exterior del tubo al vacío es de 0.058m, longitud efectiva es de 1.65 m y número de tubos es 20. La irradiación solar durante la evaluación de los colectores es de 6.699KWh/m².

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

$$E_s = 6.699 \text{ kWh/m}^2 \times 3.006 \text{ m}^2 = 20.137 \text{ kWh}$$

La energía solar recibida por el colector solar es de 20.137 kWh. Entonces la eficiencia térmica del colector será:

$$\eta_E = \frac{14.138 \text{ kWh}}{20.137 \text{ kWh}} = 0.702 = 70.2\%$$

La eficiencia del colector solar es de 70.2 %

ANEXO 5. PROCESO DE CONSTRUCCIÓN DE LA VIVIENDA RÚSTICA.

Se realizó la apertura de zanja y cimentación con relleno de piedra de la vivienda para el presente estudio.



Figura 53. Especificaciones de cimentación y levantamiento de muro.

Después de realizar la puesta de cimentación y la consolidación del cimientó durante 15 días se realiza el levantamiento del muro hasta las medidas de diseño.



Figura 54. Levantamiento de paredes de la vivienda.

El techado se la vivienda se realiza, primero con el tendido se rollizos que será el soporte del techo luego el tendido de las cintas donde se clavará la respectiva calamina.



Figura 55. Techado de la vivienda rustica.

el primer trabajo que se realiza para el acabo exterior es zarandear la tierra, para preparar barro con la tierra zarandeada (tierra fina) con paja cortada, luego para forjarlo en todo el

muro exterior el acabo tiene un espesor de 2.5 cm. También se realiza la colocación de la puerta y ventana metálica.



Figura 56. Acabado exterior y colocación de puertas y ventanas.

Se realiza la colocación del techo falso con material de triplay para que el calo acumulador en el interior de la vivienda no se pierda rápido por la cala mina, luego se realiza el acabado interior con yeso, el espesor del acabado es de 2.5 cm.



Figura 57. Colocación de techo falso y acabado interior.

pintado de muros interiores y del techo falso es le trabajo final en acabo interior de la vivienda, el techo falso que es de triplex se pintó con barniz de color roble, las paredes interiores se pintaron de color mango, el color se escogió teniendo en cuenta que la vivienda es para dormitorio.



Figura 58. Pintado de muro interiores.

Para la instalación del piso radiante el primer trabajo que se realiza es el nivelado y compactado del piso interior de la vivienda rustica, luego de realizar el trabajo mencionado se realiza el trazado de la ubicación del serpentín.



Figura 59. Nivelado, compactado y trazado del piso se la vivienda.

El polietileno se tiende en todo el piso, esto como aislante térmico y de humedad del piso, luego se arma la guía y soporte de serpentín con la cinta con una altura de 5 cm, en la Figura se observa los puntos rojos en la cinta esto indican que se abrió unas ranuras por donde ira la tubería que transporta agua caliente.



Figura 60. Tendido de polietileno en piso y armado de guía y soporte del serpentín. El tendido de poliestireno encima del polietileno fortalece el aislamiento térmico del piso, para que la pérdida de calor por el piso sea mínima y que el calor que emiten las tuberías tanto cobre y pex sea hacia el interior de la vivienda, la figura (a) es tubería de cobre y la figura (b) es tubería Pex.



a) b)
Figura 61. Tendido de Poli Estireno Expandido y de tubería.

La bomba es instalada en una esquina de la vivienda justo por donde ingresa agua caliente a la vivienda, luego todo el sistema instalado, se procede a tapar con entablado con madera machihembrada, queda listo para poner en un funcionamiento-



Figura 62. Instalación de la bomba y entablado con madera machihembrada.

ANEXO 6. PROGRAMACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL EN TIA PORTAL

El sistema de control se trabajó con PLC, para el cual se utilizó su software Tía Portal v17 mediante el cual se realizó la programación para que funcione automáticamente la bomba de agua caliente, con la ayuda del variador de frecuencia hace que la electrobomba de agua trabaje a una frecuencia 15 Hz (900 rpm). La programación se realizó mediante el lenguaje de programación bloques.

En la Figura 56, se observa la programación de bloques, es la parte inicial de la programación donde se convierte de todas las entradas analógicas de 04 sensores aun número real que es la temperatura. Es importante mencionar que los cuatros sensores se fueron calibrados independientemente cada uno.

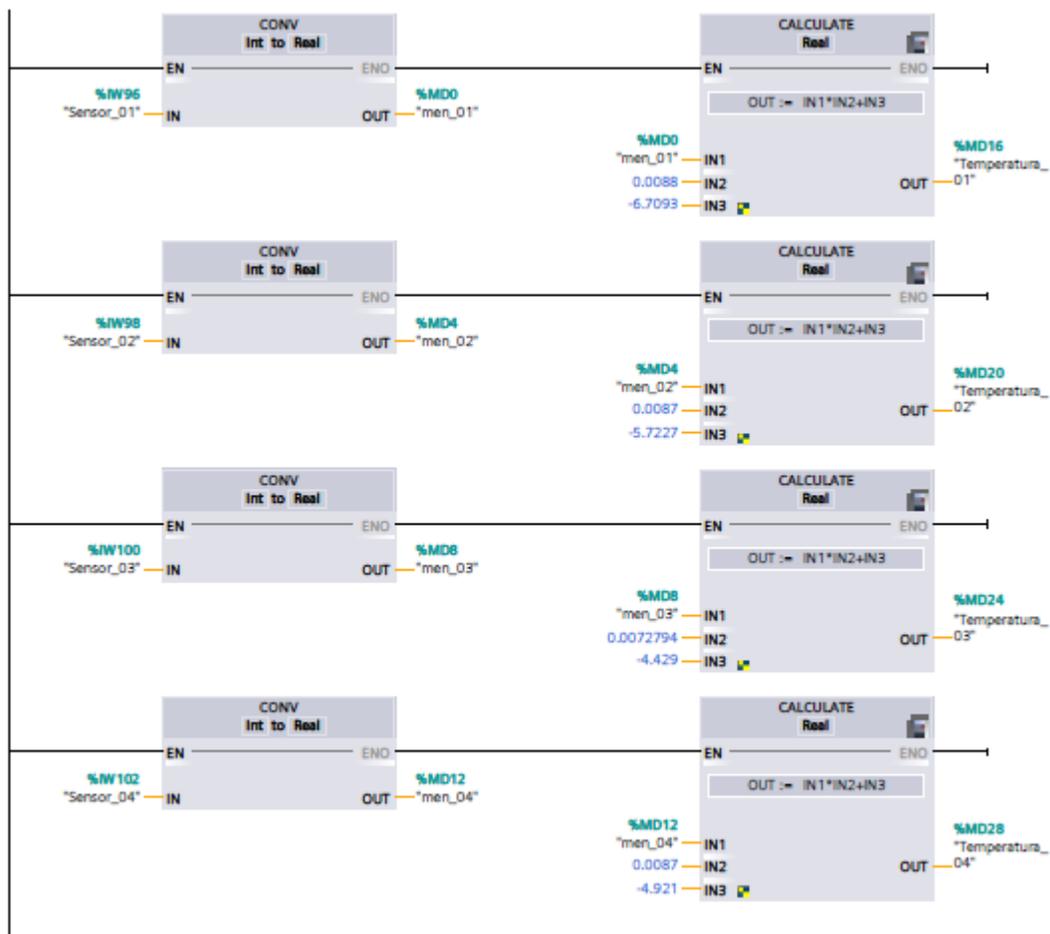


Figura 63. Programación de entradas analógicas.

En la Figura 57, podemos ver la segunda etapa de la programación en Tia Portal, que consiste en la programación de la hora de marcha y parada de la bomba, para el presente

trabajo se considero la hora de marcha a las 9:00 am y la parada a 21:00 horas, es importante mencionar que la bomba tiene un intervalo de tiempo de trabajo, es decir esta programada para que funcione durante 10 minutos cumpliendo este tiempo realice una parada por 8 minutos, y nuevamente inicie el ciclo, hasta cumplir con los 12 horas de trabajo programadas.

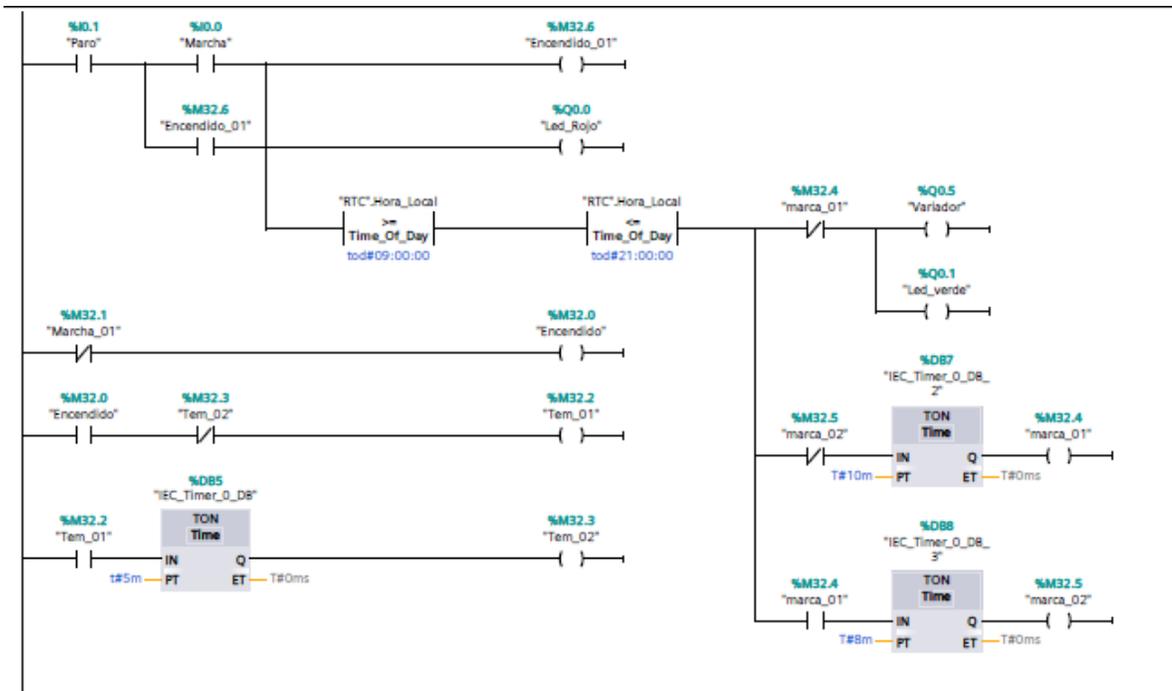


Figura 64. Programación las horas de trabajo de la bomba.

En la Figura 58, podemos ver la tercera parte de la programación, donde se desarrolla el bloque de adquisición de datos 04 sensores de temperatura instalados, es importante mencionar que la adquisición de datos se realiza cada 5 minutos durante las 24 horas.

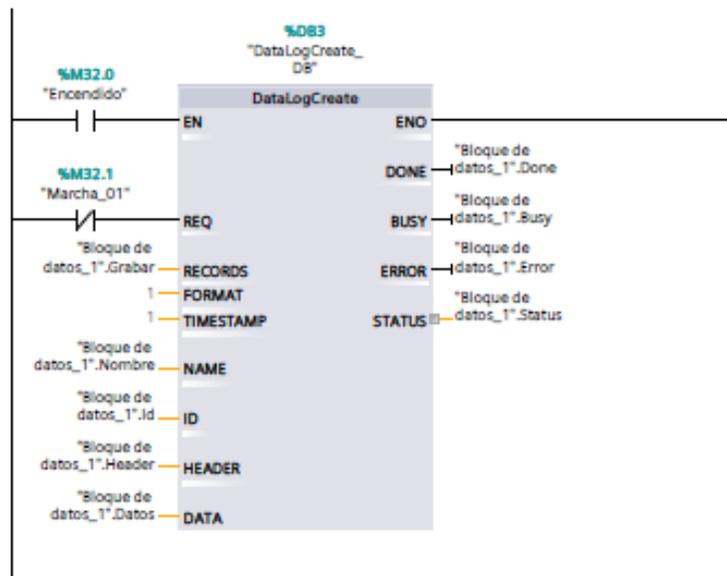


Figura 65. Programación de adquisición de datos.

ANEXO 7. PROGRAMACIÓN EN LABVIEW Y PHAYTON PARA OBTENCIÓN DE FIGURAS Y RESULTADOS OBTENIDOS DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

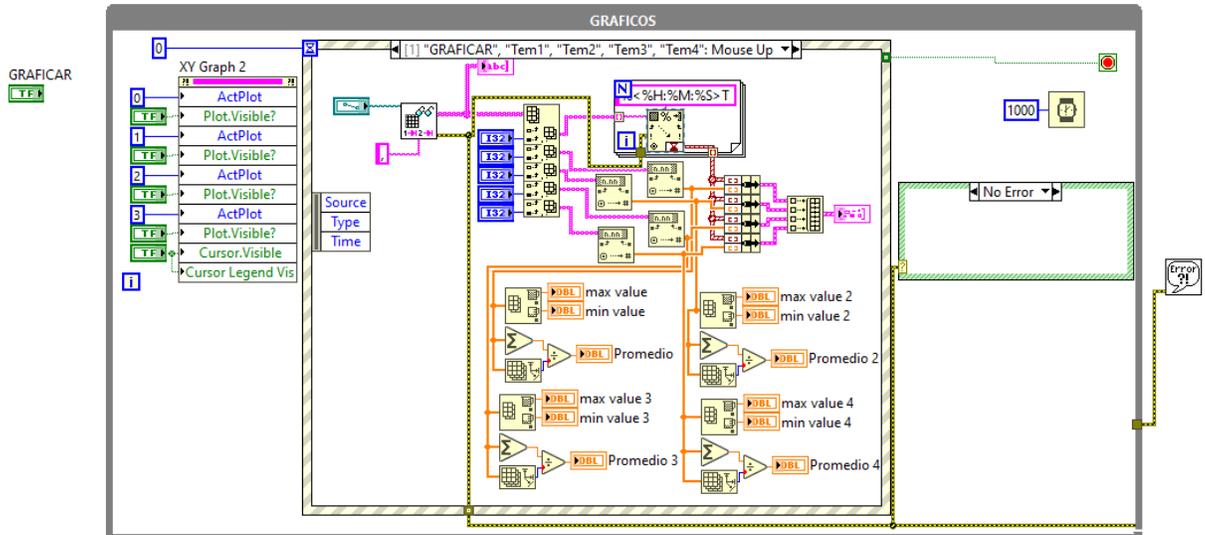


Figura 66. Diagrama de programación en LabVIEW para la generación de las figuras en base a los resultados obtenidos.

```

import pandas as pd
import matplotlib.pyplot as plt
import seaborn as sns
import numpy as np
sns.set()
M=pd.read_csv("23RPEX.csv",index_col=1,parse_dates=True,)
mediaxminuto=M.resample('5Min').mean()
info=M.describe()
mediaxminuto.to_csv("23RPEX5MIN.csv")
print(mediaxminuto)
print(M)
print(info)

```

Figura 67. Código de programación en Phayton para realizar promedio cada 5 minutos.

ANEXO 8. COSTO

a) Costos de construcción de la vivienda

En la Tabla 18, se puede visualizar todos los costos de los materiales que se utilizaron en la construcción de la vivienda, teniendo un costo total en los materiales de S/. 1,848.68 esto sin considera la mano de obra que se tuvo en la construcción.

Tabla 15

Costo de construcción de la vivienda.

| Construcción de vivienda rústica | | | | |
|----------------------------------|-------------------|----------|-----------------|-----------------|
| Aspectos | Unidad de medida | Cantidad | Precio unitario | Costo Total |
| Adobe | unidad | 600 | 1.2 | 720 |
| Rolliso | unidad | 4 | 26 | 104 |
| Cinta de 2*2 | paquete | 1 | 95 | 95 |
| Calamina | unidad | 6 | 32 | 192 |
| Alambre #16 | kilo | 2 | 7 | 14 |
| Clavo para calamina | kilo | 3 | 8 | 24 |
| Clavo de 4" | kilo | 1 | 7.5 | 7.5 |
| Clavo de 3" | kilo | 3 | 7 | 21 |
| Clavo de 2" | kilo | 2 | 7 | 14 |
| Ventana 0.8*0.8 m | unidad | 1 | 45 | 45 |
| Vidrio | m ² | 0.64 | 37 | 23.68 |
| Puerta metálica 0.8*1.8 | unidad | 1 | 110 | 110 |
| Yeso | unidad | 8 | 7 | 56 |
| Techo de triplay | unidad | 6 | 32 | 192 |
| Caja octagonal | unidad | 2 | 1 | 2 |
| Caja rectangular | unidad | 6 | 1 | 6 |
| Tubo de Luz | unidad | 5 | 3.5 | 17.5 |
| Curva de Tubo de luz | unidad | 6 | 1 | 6 |
| Caja de llave Termo magnética | unidad | 1 | 15 | 15 |
| llave termo magnética | unidad | 1 | 25 | 25 |
| Socket | unidad | 1 | 2 | 2 |
| Interruptor | unidad | 1 | 6 | 6 |
| Tomacorriente | unidad | 3 | 6 | 18 |
| Cable 14 AWG | metros | 70 | 1.4 | 98 |
| Foco | unidad | 1 | 10 | 10 |
| Pintura | balde de 4 litros | 1 | 25 | 25 |
| TOTAL S/. | | | | 1,848.68 |

b) Costo de piso radiante con tubería de cobre

En la tabla 19, se detalla el costo de los materiales que se utilizaron para el sistema de tubería cobre, teniendo un costo total de S/. 4,191.00

Tabla 16

Costo de sistema con tubería cobre.

| PISO RADIANTE CON TUBO COBRE | | | | |
|-------------------------------------|-------------------------|-----------------|------------------------|--------------------|
| Aspectos | unidad de medida | cantidad | Precio unitario | Costo Total |
| Tubería Cobre | m | 50 | 14.28 | 714 |
| Poliestireno expandido | unidad | 6 | 26 | 156 |
| Solera de 2*1 | unidad | 14 | 17 | 238 |
| Madera machihembrada | unidad | 22 | 28 | 616 |
| Terma solar de 20 tubos vacío | unidad | 1 | 2,000 | 2,000 |
| Electrobomba de agua caliente | unidad | 1 | 350 | 350 |
| Accesorios PVC | unidad | 1 | 30 | 30 |
| Tubería PVC hidro | unidad | 3 | 29 | 87 |
| TOTAL S/. | | | | 4,191 |

c) Costo de piso radiante con tubería de Pex

En la Tabla 20, se precisa todos los costos de los materiales que se utilizaron en la implementación del sistema de calefacción con tubería de Pex, el costo total es de S/. 3,782.00, esto para un área de 12 m², es importante indicar que no incluye el costo de mano de obra.

Tabla 17

Costo de sistema de calefacción con tubería Pex.

| Aspectos | unidad de medida | cantidad | Precio unitario | Costo Total |
|-------------------------------|-------------------------|-----------------|------------------------|--------------------|
| Tubería pex (reticulado) | m | 50 | 6.1 | 305 |
| Poliestireno expandido | unidad | 6 | 26 | 156 |
| Solera de 2*1 | unidad | 14 | 17 | 238 |
| madera machihembrada | unidad | 22 | 28 | 616 |
| terma solar de 20 tubos vacío | unidad | 1 | 2000 | 2,000 |
| Electrobomba de agua caliente | unidad | 1 | 350 | 350 |
| accesorios PVC | unidad | 1 | 30 | 30 |
| Tubería PVC hidro | unidad | 3 | 29 | 87 |
| TOTAL S/. | | | | 3,782 |

ANEXO 9. RESUMEN DE DATOS PROMEDIOS DE CADA TUBERÍA

Tabla 18

Datos promedio de las 24 horas de funcionamiento de sistema de cobre (continuación).

| Hora | T Ambiente (°C) | T Ingreso (°C) | T Salida (°C) | T Exterior (°C) | Irradiación (W/m²) |
|-------------|----------------------------|---------------------------|--------------------------|----------------------------|--|
| 00:00:00 | 13.31567 | 50.65200 | 50.26133 | 1.74367 | 0 |
| 00:05:00 | 13.28000 | 50.60367 | 50.28867 | 1.65533 | 0 |
| 00:10:00 | 13.24167 | 50.52300 | 50.22167 | 1.53900 | 0 |
| 00:15:00 | 13.20600 | 50.50467 | 50.13300 | 1.50100 | 0 |
| 00:20:00 | 13.16267 | 50.41767 | 50.16400 | 1.48433 | 0 |
| 00:25:00 | 13.13733 | 50.32000 | 50.04333 | 1.42967 | 0 |
| 00:30:00 | 13.10433 | 50.32300 | 50.03167 | 1.41600 | 0 |
| 00:35:00 | 13.05567 | 50.29600 | 49.95867 | 1.28033 | 0 |
| 00:40:00 | 13.02333 | 50.19633 | 49.93700 | 1.25800 | 0 |
| 00:45:00 | 12.99300 | 50.19833 | 49.92400 | 1.24000 | 0 |
| 00:50:00 | 12.95967 | 50.15567 | 49.89200 | 1.13733 | 0 |
| 00:55:00 | 12.91800 | 50.04567 | 49.91333 | 1.04400 | 0 |
| 01:00:00 | 12.88200 | 50.03567 | 49.88000 | 0.95533 | 0 |
| 01:05:00 | 12.85000 | 49.94833 | 49.79900 | 0.81200 | 0 |
| 01:10:00 | 12.82033 | 49.97267 | 49.85933 | 0.68233 | 0 |
| 01:15:00 | 12.77067 | 49.88633 | 49.75000 | 0.51500 | 0 |
| 01:20:00 | 12.73133 | 49.90900 | 49.74367 | 0.46300 | 0 |
| 01:25:00 | 12.69867 | 49.82667 | 49.61700 | 0.19767 | 0 |
| 01:30:00 | 12.66067 | 49.74300 | 49.53567 | 0.16733 | 0 |
| 01:35:00 | 12.61767 | 49.78233 | 49.61933 | 0.11133 | 0 |
| 01:40:00 | 12.57267 | 49.63200 | 49.50200 | 0.03067 | 0 |
| 01:45:00 | 12.54967 | 49.57267 | 49.51667 | -0.09467 | 0 |
| 01:50:00 | 12.50433 | 49.60033 | 49.50767 | -0.08600 | 0 |
| 01:55:00 | 12.46567 | 49.56333 | 49.47133 | -0.07700 | 0 |
| 02:00:00 | 12.42533 | 49.42567 | 49.38200 | -0.06500 | 0 |
| 02:05:00 | 12.38400 | 49.33867 | 49.28267 | -0.17500 | 0 |
| 02:10:00 | 12.34200 | 49.32367 | 49.26667 | -0.29167 | 0 |
| 02:15:00 | 12.31200 | 49.19333 | 49.13933 | -0.42333 | 0 |
| 02:20:00 | 12.27233 | 49.19100 | 49.13567 | -0.44833 | 0 |
| 02:25:00 | 12.22333 | 48.99867 | 49.04267 | -0.56600 | 0 |
| 02:30:00 | 12.18700 | 48.95000 | 48.99733 | -0.70167 | 0 |
| 02:35:00 | 12.14633 | 48.86933 | 48.90633 | -0.80867 | 0 |
| 02:40:00 | 12.09800 | 48.81500 | 48.86400 | -0.91567 | 0 |
| 02:45:00 | 12.06167 | 48.77433 | 48.87967 | -1.02967 | 0 |
| 02:50:00 | 12.00567 | 48.66000 | 48.72833 | -1.08567 | 0 |
| 02:55:00 | 11.97000 | 48.60133 | 48.67100 | -1.07933 | 0 |

Tabla 18 Continuación

| | | | | | |
|----------|----------|----------|----------|----------|-----|
| 03:00:00 | 11.93533 | 48.64100 | 48.68567 | -1.08933 | 0 |
| 03:05:00 | 11.88933 | 48.50533 | 48.64800 | -1.17833 | 0 |
| 03:10:00 | 11.85500 | 48.42700 | 48.55200 | -1.19867 | 0 |
| 03:15:00 | 11.82500 | 48.46533 | 48.52467 | -1.38933 | 0 |
| 03:20:00 | 11.77367 | 48.41733 | 48.52433 | -1.42000 | 0 |
| 03:25:00 | 11.74500 | 48.30767 | 48.47600 | -1.51200 | 0 |
| 03:30:00 | 11.69900 | 48.28900 | 48.47333 | -1.59600 | 0 |
| 03:35:00 | 11.66567 | 48.31600 | 48.39767 | -1.67933 | 0 |
| 03:40:00 | 11.62133 | 48.21033 | 48.33733 | -1.79633 | 0 |
| 03:45:00 | 11.59400 | 48.16633 | 48.29867 | -1.91233 | 0 |
| 03:50:00 | 11.56100 | 48.15667 | 48.24733 | -1.99400 | 0 |
| 03:55:00 | 11.51067 | 48.14267 | 48.18567 | -2.09867 | 0 |
| 04:00:00 | 11.47900 | 48.07933 | 48.17267 | -2.22133 | 0 |
| 04:05:00 | 11.42600 | 48.03100 | 48.17333 | -2.27933 | 0 |
| 04:10:00 | 11.39133 | 48.09033 | 48.13433 | -2.33067 | 0 |
| 04:15:00 | 11.33533 | 47.94800 | 48.12300 | -2.49433 | 0 |
| 04:20:00 | 11.30100 | 47.94833 | 48.07333 | -2.70000 | 0 |
| 04:25:00 | 11.25567 | 47.89833 | 48.01700 | -2.75900 | 0 |
| 04:30:00 | 11.21733 | 47.86300 | 47.96533 | -2.84200 | 0 |
| 04:35:00 | 11.17833 | 47.70600 | 47.88500 | -2.98833 | 0 |
| 04:40:00 | 11.13200 | 47.75633 | 47.88733 | -3.08833 | 0 |
| 04:45:00 | 11.08733 | 47.71367 | 47.87500 | -3.14200 | 0 |
| 04:50:00 | 11.04200 | 47.64733 | 47.79900 | -3.21233 | 0 |
| 04:55:00 | 11.00067 | 47.56600 | 47.78600 | -3.30300 | 0 |
| 05:00:00 | 10.95900 | 47.55067 | 47.73800 | -3.31833 | 0 |
| 05:05:00 | 10.92167 | 47.57700 | 47.79067 | -3.35167 | 0 |
| 05:10:00 | 10.88533 | 47.47000 | 47.68800 | -3.34133 | 0 |
| 05:15:00 | 10.84400 | 47.31367 | 47.53867 | -3.33767 | 0 |
| 05:20:00 | 10.80767 | 47.36767 | 47.57567 | -3.37200 | 0 |
| 05:25:00 | 10.78200 | 47.23633 | 47.56567 | -3.29400 | 0 |
| 05:30:00 | 10.74400 | 47.27233 | 47.52433 | -3.39600 | 0 |
| 05:35:00 | 10.70967 | 47.20333 | 47.48967 | -3.46433 | 0 |
| 05:40:00 | 10.67833 | 47.10867 | 47.48000 | -3.52367 | 1 |
| 05:45:00 | 10.64267 | 47.05767 | 47.46367 | -3.63900 | 2 |
| 05:50:00 | 10.61400 | 47.01333 | 47.36000 | -3.70133 | 3 |
| 05:55:00 | 10.57200 | 47.01533 | 47.31533 | -3.74833 | 5 |
| 06:00:00 | 10.53733 | 46.98333 | 47.40533 | -3.78700 | 9 |
| 06:05:00 | 10.50828 | 47.00655 | 47.35759 | -3.98207 | 15 |
| 06:10:00 | 10.48000 | 46.91379 | 47.31069 | -3.97138 | 29 |
| 06:15:00 | 10.45241 | 46.87690 | 47.28103 | -3.96414 | 59 |
| 06:20:00 | 10.44310 | 46.85069 | 47.34552 | -3.81690 | 78 |
| 06:25:00 | 10.47552 | 46.85138 | 47.24069 | -3.53172 | 103 |

| | | | | | |
|----------|----------|----------|----------|----------|-----|
| 06:30:00 | 10.51379 | 46.83655 | 47.19621 | -2.56000 | 126 |
| 06:35:00 | 10.59759 | 46.81586 | 47.19862 | -1.78724 | 153 |
| 06:40:00 | 10.67655 | 46.93517 | 47.26414 | -1.10793 | 176 |
| 06:45:00 | 10.75414 | 46.89966 | 47.26862 | -0.51448 | 205 |
| 06:50:00 | 10.82793 | 46.96966 | 47.30138 | -0.33586 | 226 |
| 06:55:00 | 10.90207 | 46.97310 | 47.23690 | -0.27345 | 245 |
| 07:00:00 | 10.99034 | 47.03276 | 47.26931 | -0.03517 | 265 |
| 07:05:00 | 11.06862 | 47.14069 | 47.28034 | 0.24000 | 291 |
| 07:10:00 | 11.14207 | 47.21000 | 47.26448 | 0.39931 | 318 |
| 07:15:00 | 11.21655 | 47.25241 | 47.29034 | 0.84448 | 340 |
| 07:20:00 | 11.28724 | 47.33690 | 47.32690 | 1.21138 | 367 |
| 07:25:00 | 11.35759 | 47.30034 | 47.30655 | 1.77379 | 395 |
| 07:30:00 | 11.45862 | 47.48483 | 47.28552 | 2.32172 | 422 |
| 07:35:00 | 11.54690 | 47.60414 | 47.36897 | 2.83379 | 441 |
| 07:40:00 | 11.62931 | 47.64138 | 47.31069 | 3.30069 | 460 |
| 07:45:00 | 11.69793 | 47.83103 | 47.38034 | 3.81379 | 478 |
| 07:50:00 | 11.78276 | 48.15621 | 47.74483 | 4.20621 | 494 |
| 07:55:00 | 11.85207 | 48.37966 | 47.79448 | 4.74759 | 507 |
| 08:00:00 | 11.94241 | 48.59552 | 47.82103 | 5.12966 | 526 |
| 08:05:00 | 12.00414 | 48.79724 | 47.84724 | 5.60172 | 553 |
| 08:10:00 | 12.07621 | 49.13655 | 47.93276 | 5.90310 | 584 |
| 08:15:00 | 12.14724 | 49.42138 | 47.89759 | 6.37448 | 614 |
| 08:20:00 | 12.22000 | 49.66586 | 47.84517 | 6.78586 | 620 |
| 08:25:00 | 12.26621 | 49.93207 | 48.00207 | 7.19759 | 629 |
| 08:30:00 | 12.32414 | 50.02138 | 47.92414 | 7.55000 | 657 |
| 08:35:00 | 12.36241 | 49.94828 | 47.92069 | 7.78690 | 679 |
| 08:40:00 | 12.43207 | 50.13034 | 47.91897 | 8.21207 | 711 |
| 08:45:00 | 12.47828 | 50.15241 | 48.01000 | 8.30552 | 734 |
| 08:50:00 | 12.54103 | 49.98103 | 48.00207 | 8.56414 | 749 |
| 08:55:00 | 12.58517 | 49.95103 | 47.96241 | 8.80966 | 761 |
| 09:00:00 | 12.63345 | 50.22345 | 47.89034 | 9.23414 | 781 |
| 09:05:00 | 12.70621 | 59.46448 | 48.02862 | 9.54724 | 801 |
| 09:10:00 | 12.89414 | 62.46862 | 60.28828 | 9.77517 | 812 |
| 09:15:00 | 13.09690 | 62.42724 | 60.18000 | 10.15655 | 822 |
| 09:20:00 | 13.22379 | 61.12310 | 58.75759 | 10.34448 | 829 |
| 09:25:00 | 13.36966 | 65.26310 | 62.09897 | 10.41103 | 851 |
| 09:30:00 | 13.52828 | 65.87310 | 63.37724 | 10.75828 | 859 |
| 09:35:00 | 13.69379 | 64.67862 | 62.14138 | 11.16207 | 871 |
| 09:40:00 | 13.85966 | 68.40414 | 61.56931 | 11.16414 | 863 |
| 09:45:00 | 14.05724 | 67.50586 | 65.44034 | 11.32310 | 895 |
| 09:50:00 | 14.20897 | 67.79034 | 63.95931 | 11.49207 | 903 |
| 09:55:00 | 14.31034 | 65.71069 | 61.74138 | 11.74759 | 924 |
| 10:00:00 | 14.38033 | 70.23367 | 61.80100 | 12.28333 | 943 |

Tabla 18 Continuación

| | | | | | |
|----------|----------|----------|----------|----------|------|
| 10:05:00 | 14.48333 | 69.79633 | 66.06933 | 12.32600 | 948 |
| 10:10:00 | 14.57000 | 68.47167 | 64.81033 | 12.38900 | 949 |
| 10:15:00 | 14.60700 | 67.08900 | 63.28567 | 12.73833 | 958 |
| 10:20:00 | 14.71333 | 70.38500 | 67.26767 | 13.00833 | 966 |
| 10:25:00 | 14.82867 | 70.36600 | 67.00800 | 13.02700 | 971 |
| 10:30:00 | 14.90067 | 68.85500 | 64.76067 | 13.08300 | 955 |
| 10:35:00 | 14.93500 | 71.42333 | 64.51233 | 13.22500 | 947 |
| 10:40:00 | 15.04133 | 71.69233 | 68.16433 | 13.23867 | 969 |
| 10:45:00 | 15.08133 | 70.59733 | 67.05600 | 13.43567 | 962 |
| 10:50:00 | 15.11100 | 68.60400 | 64.89500 | 13.61867 | 982 |
| 10:55:00 | 15.18600 | 72.39200 | 67.38333 | 13.61233 | 981 |
| 11:00:00 | 15.34581 | 72.42935 | 68.80903 | 13.59710 | 990 |
| 11:05:00 | 15.39903 | 70.79806 | 66.71613 | 13.75097 | 1008 |
| 11:10:00 | 15.43194 | 73.21903 | 65.81677 | 13.78355 | 1003 |
| 11:15:00 | 15.52484 | 73.07194 | 69.24613 | 14.10613 | 993 |
| 11:20:00 | 15.59097 | 72.68516 | 68.54290 | 14.15065 | 1000 |
| 11:25:00 | 15.61387 | 70.66129 | 66.54000 | 14.26613 | 971 |
| 11:30:00 | 15.68161 | 74.18290 | 66.76903 | 14.50968 | 969 |
| 11:35:00 | 15.77774 | 73.71710 | 69.66387 | 14.36065 | 961 |
| 11:40:00 | 15.82452 | 72.36290 | 67.18065 | 14.23258 | 976 |
| 11:45:00 | 15.83194 | 70.14387 | 65.46452 | 14.75484 | 974 |
| 11:50:00 | 15.90935 | 74.04516 | 69.21323 | 14.69935 | 965 |
| 11:55:00 | 15.98839 | 74.19613 | 69.77968 | 15.00710 | 993 |
| 12:00:00 | 16.03226 | 72.13742 | 67.43839 | 15.30226 | 952 |
| 12:05:00 | 16.07806 | 74.27710 | 66.92161 | 15.32000 | 903 |
| 12:10:00 | 16.15097 | 74.86032 | 70.24645 | 15.42484 | 892 |
| 12:15:00 | 16.19806 | 73.90710 | 69.26613 | 15.12032 | 914 |
| 12:20:00 | 16.18258 | 71.91774 | 67.07871 | 15.22516 | 915 |
| 12:25:00 | 16.21000 | 75.32645 | 69.29129 | 15.19000 | 884 |
| 12:30:00 | 16.34065 | 75.58903 | 70.75935 | 15.12742 | 882 |
| 12:35:00 | 16.36581 | 73.50774 | 68.65226 | 15.02097 | 907 |
| 12:40:00 | 16.37677 | 75.10581 | 67.54484 | 15.73548 | 899 |
| 12:45:00 | 16.51000 | 75.61839 | 70.86194 | 15.43323 | 899 |
| 12:50:00 | 16.61161 | 74.85742 | 70.35871 | 15.77452 | 878 |
| 12:55:00 | 16.66452 | 72.57484 | 68.16161 | 16.18290 | 852 |
| 13:00:00 | 16.75065 | 76.24968 | 68.55774 | 15.69871 | 848 |
| 13:05:00 | 16.89968 | 75.85516 | 71.56581 | 16.17613 | 847 |
| 13:10:00 | 17.05774 | 74.39323 | 69.90871 | 16.07516 | 816 |
| 13:15:00 | 17.13871 | 73.22774 | 68.00516 | 15.97065 | 784 |
| 13:20:00 | 17.29613 | 76.84935 | 71.45581 | 16.45323 | 766 |
| 13:25:00 | 17.45258 | 77.33226 | 71.95613 | 16.20710 | 766 |
| 13:30:00 | 17.53065 | 75.13452 | 69.66968 | 16.05968 | 752 |

Tabla 18 Continuación

| | | | | | |
|----------|----------|----------|----------|----------|-----|
| 13:35:00 | 17.59645 | 77.37484 | 68.85290 | 16.16613 | 740 |
| 13:40:00 | 17.72097 | 78.13452 | 72.26581 | 15.99097 | 727 |
| 13:45:00 | 17.81452 | 76.91355 | 71.73032 | 16.21581 | 724 |
| 13:50:00 | 17.82484 | 74.86290 | 69.29710 | 16.80742 | 681 |
| 13:55:00 | 17.84613 | 78.38581 | 71.48032 | 16.24774 | 675 |
| 14:00:00 | 17.87935 | 78.71903 | 73.04129 | 16.24323 | 658 |
| 14:05:00 | 17.85806 | 76.44194 | 70.94161 | 16.47000 | 657 |
| 14:10:00 | 17.80129 | 77.82742 | 69.82968 | 16.33548 | 642 |
| 14:15:00 | 17.83806 | 78.65677 | 73.01839 | 16.12935 | 612 |
| 14:20:00 | 17.87161 | 78.18806 | 72.87097 | 16.25226 | 616 |
| 14:25:00 | 17.83097 | 75.94387 | 70.27000 | 16.21903 | 594 |
| 14:30:00 | 17.77968 | 79.17968 | 70.65194 | 16.13323 | 569 |
| 14:35:00 | 17.78097 | 78.99935 | 73.37871 | 16.62774 | 557 |
| 14:40:00 | 17.75452 | 77.27129 | 71.82935 | 16.30581 | 555 |
| 14:45:00 | 17.70516 | 75.92806 | 69.95774 | 15.87871 | 542 |
| 14:50:00 | 17.71194 | 79.00806 | 73.25516 | 16.24484 | 507 |
| 14:55:00 | 17.76710 | 79.10484 | 73.65032 | 16.02806 | 480 |
| 15:00:00 | 17.76065 | 76.72323 | 71.32742 | 16.13710 | 453 |
| 15:05:00 | 17.73452 | 78.20032 | 70.48935 | 15.79387 | 459 |
| 15:10:00 | 17.75742 | 79.58290 | 73.87355 | 15.81161 | 455 |
| 15:15:00 | 17.77258 | 78.11226 | 72.97419 | 15.40613 | 430 |
| 15:20:00 | 17.75065 | 75.67355 | 70.40742 | 15.56710 | 398 |
| 15:25:00 | 17.73968 | 79.37710 | 72.38258 | 15.47774 | 369 |
| 15:30:00 | 17.79000 | 79.71581 | 74.06774 | 15.32161 | 351 |
| 15:35:00 | 17.78677 | 77.47516 | 71.99226 | 14.96419 | 327 |
| 15:40:00 | 17.71129 | 77.91452 | 70.57419 | 14.86935 | 303 |
| 15:45:00 | 17.68194 | 79.10161 | 73.79032 | 14.86452 | 282 |
| 15:50:00 | 17.69710 | 78.60226 | 73.52097 | 14.69581 | 261 |
| 15:55:00 | 17.61548 | 75.82258 | 70.84581 | 14.59097 | 258 |
| 16:00:00 | 17.58935 | 78.86484 | 70.76742 | 14.40161 | 242 |
| 16:05:00 | 17.58355 | 78.69129 | 73.74742 | 14.16065 | 219 |
| 16:10:00 | 17.56774 | 76.77097 | 72.35935 | 13.96258 | 198 |
| 16:15:00 | 17.51419 | 74.90774 | 69.96387 | 13.92290 | 176 |
| 16:20:00 | 17.51129 | 77.99290 | 73.29000 | 13.60839 | 149 |
| 16:25:00 | 17.49516 | 77.87581 | 73.48355 | 13.44581 | 132 |
| 16:30:00 | 17.45935 | 75.00935 | 71.17290 | 13.18258 | 110 |
| 16:35:00 | 17.38548 | 76.02290 | 70.22226 | 13.06129 | 87 |
| 16:40:00 | 17.35581 | 77.02871 | 73.04903 | 12.79290 | 71 |
| 16:45:00 | 17.31355 | 75.84613 | 72.41065 | 12.43677 | 55 |
| 16:50:00 | 17.24258 | 73.18323 | 69.63839 | 12.21355 | 44 |
| 16:55:00 | 17.16355 | 75.67161 | 70.71129 | 11.90548 | 34 |
| 17:00:00 | 17.11387 | 75.97516 | 72.47710 | 11.72226 | 24 |

Tabla 18 Continuación

| | | | | | |
|----------|----------|----------|----------|----------|----|
| 17:05:00 | 16.98129 | 73.55032 | 70.53677 | 11.20000 | 15 |
| 17:10:00 | 16.83548 | 72.59935 | 69.10774 | 10.61548 | 10 |
| 17:15:00 | 16.71000 | 74.50968 | 71.14258 | 10.23742 | 6 |
| 17:20:00 | 16.61200 | 74.11300 | 71.05367 | 10.06333 | 3 |
| 17:25:00 | 16.52600 | 71.65833 | 68.79500 | 9.63733 | 2 |
| 17:30:00 | 16.41700 | 72.36667 | 68.46467 | 9.47467 | 1 |
| 17:35:00 | 16.38733 | 73.23367 | 70.62300 | 9.23733 | 0 |
| 17:40:00 | 16.34767 | 71.92933 | 69.49933 | 9.01700 | 0 |
| 17:45:00 | 16.25667 | 69.98933 | 67.52733 | 8.86367 | 0 |
| 17:50:00 | 16.20800 | 72.05967 | 68.67867 | 8.67667 | 0 |
| 17:55:00 | 16.19133 | 72.30433 | 69.95267 | 8.45133 | 0 |
| 18:00:00 | 16.13300 | 70.23233 | 67.98933 | 8.22767 | 0 |
| 18:05:00 | 16.08267 | 69.96567 | 67.31400 | 8.07300 | 0 |
| 18:10:00 | 16.05267 | 71.36867 | 69.19133 | 7.89867 | 0 |
| 18:15:00 | 16.02967 | 70.82167 | 68.69900 | 7.91133 | 0 |
| 18:20:00 | 15.97333 | 68.80300 | 66.58467 | 7.82933 | 0 |
| 18:25:00 | 15.92767 | 70.35933 | 67.03600 | 7.54267 | 0 |
| 18:30:00 | 15.92533 | 70.93400 | 68.98100 | 7.38833 | 0 |
| 18:35:00 | 15.91033 | 69.32900 | 67.34433 | 7.20800 | 0 |
| 18:40:00 | 15.85200 | 68.03767 | 66.18333 | 7.19767 | 0 |
| 18:45:00 | 15.81867 | 69.88800 | 67.94567 | 7.13400 | 0 |
| 18:50:00 | 15.81967 | 69.80900 | 67.89300 | 7.05167 | 0 |
| 18:55:00 | 15.77867 | 67.93033 | 66.13067 | 6.87400 | 0 |
| 19:00:00 | 15.73933 | 68.58367 | 65.96800 | 6.83633 | 0 |
| 19:05:00 | 15.73867 | 69.36033 | 67.89033 | 6.75600 | 0 |
| 19:10:00 | 15.72200 | 68.41700 | 66.77667 | 6.58467 | 0 |
| 19:15:00 | 15.66267 | 66.91467 | 65.27033 | 6.44467 | 0 |
| 19:20:00 | 15.65000 | 68.53100 | 66.12467 | 6.36233 | 0 |
| 19:25:00 | 15.64767 | 68.87700 | 67.26600 | 6.26733 | 0 |
| 19:30:00 | 15.62533 | 67.23333 | 65.61700 | 6.18567 | 0 |
| 19:35:00 | 15.56800 | 66.96833 | 65.14100 | 6.19833 | 0 |
| 19:40:00 | 15.55667 | 68.11667 | 66.85033 | 6.05467 | 0 |
| 19:45:00 | 15.54533 | 67.72067 | 66.08067 | 5.92967 | 0 |
| 19:50:00 | 15.50400 | 66.09367 | 64.35867 | 5.88767 | 0 |
| 19:55:00 | 15.46867 | 67.47033 | 64.78400 | 5.78800 | 0 |
| 20:00:00 | 15.47433 | 67.75767 | 66.49167 | 5.64733 | 0 |
| 20:05:00 | 15.45267 | 66.42767 | 64.87200 | 5.60100 | 0 |
| 20:10:00 | 15.41733 | 65.41333 | 63.99400 | 5.40400 | 0 |
| 20:15:00 | 15.39700 | 67.12300 | 65.43300 | 5.37400 | 0 |
| 20:20:00 | 15.39867 | 67.18433 | 65.41233 | 5.23633 | 0 |
| 20:25:00 | 15.34567 | 65.54200 | 63.80700 | 5.12967 | 0 |
| 20:30:00 | 15.31233 | 66.25333 | 63.61700 | 5.15467 | 0 |

Tabla 18 Continuación

| | | | | | |
|----------|----------|----------|----------|---------|---|
| 20:35:00 | 15.29800 | 66.93033 | 65.44800 | 4.99633 | 0 |
| 20:40:00 | 15.27200 | 65.89200 | 64.33567 | 4.85667 | 0 |
| 20:45:00 | 15.22233 | 64.53100 | 62.99267 | 4.83700 | 0 |
| 20:50:00 | 15.20067 | 66.23567 | 63.65200 | 4.82167 | 0 |
| 20:55:00 | 15.19033 | 66.44333 | 64.78333 | 4.72667 | 0 |
| 21:00:00 | 15.15367 | 64.81033 | 63.17800 | 4.67967 | 0 |
| 21:05:00 | 15.09633 | 63.63733 | 61.47567 | 4.58900 | 0 |
| 21:10:00 | 15.02767 | 62.10167 | 60.06533 | 4.43500 | 0 |
| 21:15:00 | 14.97000 | 60.91767 | 58.76433 | 4.39133 | 0 |
| 21:20:00 | 14.89467 | 59.66467 | 57.55267 | 4.29367 | 0 |
| 21:25:00 | 14.81533 | 58.49733 | 56.56100 | 4.20000 | 0 |
| 21:30:00 | 14.75867 | 57.62633 | 55.80900 | 4.08000 | 0 |
| 21:35:00 | 14.68300 | 56.69967 | 54.98033 | 3.90233 | 0 |
| 21:40:00 | 14.62167 | 56.01567 | 54.40533 | 3.79400 | 0 |
| 21:45:00 | 14.55733 | 55.36467 | 53.88833 | 3.66500 | 0 |
| 21:50:00 | 14.48867 | 54.73933 | 53.43967 | 3.55500 | 0 |
| 21:55:00 | 14.44067 | 54.29033 | 52.96533 | 3.52400 | 0 |
| 22:00:00 | 14.36033 | 53.92000 | 52.65233 | 3.43367 | 0 |
| 22:05:00 | 14.30867 | 53.62733 | 52.33667 | 3.29033 | 0 |
| 22:10:00 | 14.24467 | 53.25167 | 52.06567 | 3.25433 | 0 |
| 22:15:00 | 14.18433 | 52.96233 | 51.79000 | 3.16633 | 0 |
| 22:20:00 | 14.14367 | 52.82700 | 51.61167 | 3.04367 | 0 |
| 22:25:00 | 14.08533 | 52.65033 | 51.46433 | 2.98900 | 0 |
| 22:30:00 | 14.03433 | 52.38567 | 51.37567 | 2.95733 | 0 |
| 22:35:00 | 13.97933 | 52.14533 | 51.28700 | 2.86133 | 0 |
| 22:40:00 | 13.93833 | 51.98433 | 51.15933 | 2.72333 | 0 |
| 22:45:00 | 13.88100 | 51.82400 | 51.04467 | 2.56600 | 0 |
| 22:50:00 | 13.83233 | 51.69800 | 50.94967 | 2.43867 | 0 |
| 22:55:00 | 13.77267 | 51.55167 | 50.81300 | 2.36933 | 0 |
| 23:00:00 | 13.72633 | 51.46333 | 50.71133 | 2.28800 | 0 |
| 23:05:00 | 13.69067 | 51.29300 | 50.58733 | 2.16967 | 0 |
| 23:10:00 | 13.63800 | 51.27367 | 50.51800 | 1.96533 | 0 |
| 23:15:00 | 13.59400 | 51.21133 | 50.54433 | 1.97367 | 0 |
| 23:20:00 | 13.53567 | 51.03533 | 50.39833 | 1.92467 | 0 |
| 23:25:00 | 13.49133 | 50.87167 | 50.35313 | 1.88733 | 0 |
| 23:30:00 | 13.46167 | 50.84333 | 50.28117 | 1.79867 | 0 |
| 23:35:00 | 13.41133 | 50.76333 | 50.25447 | 1.65933 | 0 |
| 23:40:00 | 13.36600 | 50.71100 | 50.29503 | 1.74400 | 0 |
| 23:45:00 | 13.32200 | 50.60600 | 50.12300 | 1.64533 | 0 |
| 23:50:00 | 13.28467 | 50.66967 | 50.12667 | 1.51633 | 0 |
| 23:55:00 | 13.23000 | 50.58700 | 50.05433 | 1.43467 | 0 |

Tabla 19*Datos promedio de las 24 horas de funcionamiento de sistema de PEX (Continuacion).*

| Hora | T Ambiente (°C) | T Ingreso (°C) | T Salida (°C) | T Exterior (°C) | Irradiación (W/m²) |
|-------------|----------------------------|---------------------------|--------------------------|----------------------------|--------------------------------------|
| 00:00:00 | 13.07741 | 49.04815 | 48.66185 | 0.14741 | 0 |
| 00:05:00 | 13.04259 | 48.96222 | 48.60370 | 0.10889 | 0 |
| 00:10:00 | 13.01556 | 48.96111 | 48.53519 | -0.02556 | 0 |
| 00:15:00 | 12.97556 | 48.85778 | 48.51593 | -0.25889 | 0 |
| 00:20:00 | 12.92778 | 48.84296 | 48.42185 | -0.39963 | 0 |
| 00:25:00 | 12.88296 | 48.78333 | 48.44778 | -0.52963 | 0 |
| 00:30:00 | 12.83741 | 48.67815 | 48.37630 | -0.59741 | 0 |
| 00:35:00 | 12.78630 | 48.64037 | 48.30519 | -0.74370 | 0 |
| 00:40:00 | 12.74370 | 48.53259 | 48.32963 | -0.77481 | 0 |
| 00:45:00 | 12.69481 | 48.49852 | 48.23444 | -0.92630 | 0 |
| 00:50:00 | 12.64704 | 48.45444 | 48.22926 | -0.89333 | 0 |
| 00:55:00 | 12.60185 | 48.47519 | 48.13296 | -0.98222 | 0 |
| 01:00:00 | 12.56185 | 48.38556 | 48.17926 | -1.03963 | 0 |
| 01:05:00 | 12.51741 | 48.23556 | 48.02778 | -1.20704 | 0 |
| 01:10:00 | 12.47222 | 48.18370 | 47.97926 | -1.17630 | 0 |
| 01:15:00 | 12.43407 | 48.23519 | 47.99741 | -1.18074 | 0 |
| 01:20:00 | 12.38741 | 48.10704 | 47.94556 | -1.41000 | 0 |
| 01:25:00 | 12.34185 | 48.03148 | 47.88259 | -1.47037 | 0 |
| 01:30:00 | 12.30556 | 47.99259 | 47.87704 | -1.57815 | 0 |
| 01:35:00 | 12.26815 | 47.97556 | 47.79333 | -1.67296 | 0 |
| 01:40:00 | 12.21963 | 47.94593 | 47.78963 | -1.72296 | 0 |
| 01:45:00 | 12.17148 | 47.87889 | 47.78741 | -1.77111 | 0 |
| 01:50:00 | 12.13111 | 47.84333 | 47.70630 | -1.90407 | 0 |
| 01:55:00 | 12.08593 | 47.76111 | 47.67037 | -1.99889 | 0 |
| 02:00:00 | 12.04481 | 47.73963 | 47.62519 | -1.96000 | 0 |
| 02:05:00 | 12.00259 | 47.65444 | 47.61741 | -2.13407 | 0 |
| 02:10:00 | 11.96481 | 47.67444 | 47.56593 | -2.32556 | 0 |
| 02:15:00 | 11.91815 | 47.62185 | 47.56370 | -2.39370 | 0 |
| 02:20:00 | 11.86778 | 47.52259 | 47.45815 | -2.39519 | 0 |
| 02:25:00 | 11.82296 | 47.42111 | 47.45111 | -2.38000 | 0 |
| 02:30:00 | 11.78926 | 47.45333 | 47.44556 | -2.41259 | 0 |
| 02:35:00 | 11.74481 | 47.39333 | 47.35333 | -2.47889 | 0 |
| 02:40:00 | 11.70667 | 47.41815 | 47.37296 | -2.61296 | 0 |
| 02:45:00 | 11.66741 | 47.34889 | 47.34556 | -2.62889 | 0 |
| 02:50:00 | 11.62778 | 47.31000 | 47.30481 | -2.90000 | 0 |
| 02:55:00 | 11.58148 | 47.24444 | 47.33556 | -3.07741 | 0 |
| 03:00:00 | 11.53593 | 47.21148 | 47.24926 | -3.15074 | 0 |
| 03:05:00 | 11.49519 | 47.18889 | 47.22889 | -3.21963 | 0 |

Tabla 19 Continuación

| | | | | | |
|----------|----------|----------|----------|----------|-----|
| 03:10:00 | 11.43111 | 47.11296 | 47.15556 | -3.27667 | 0 |
| 03:15:00 | 11.39778 | 47.05519 | 47.13185 | -3.36037 | 0 |
| 03:20:00 | 11.35593 | 47.07889 | 47.12630 | -3.33370 | 0 |
| 03:25:00 | 11.31704 | 47.04074 | 47.09741 | -3.50185 | 0 |
| 03:30:00 | 11.26704 | 46.95704 | 47.02111 | -3.58704 | 0 |
| 03:35:00 | 11.21704 | 46.86889 | 47.00963 | -3.63333 | 0 |
| 03:40:00 | 11.18111 | 46.84963 | 47.00037 | -3.61519 | 0 |
| 03:45:00 | 11.13667 | 46.83111 | 46.92630 | -3.62481 | 0 |
| 03:50:00 | 11.10148 | 46.75185 | 46.89815 | -3.62074 | 0 |
| 03:55:00 | 11.06037 | 46.75889 | 46.84259 | -3.63259 | 0 |
| 04:00:00 | 11.03074 | 46.76519 | 46.83519 | -3.83926 | 0 |
| 04:05:00 | 10.98407 | 46.61630 | 46.74407 | -3.91852 | 0 |
| 04:10:00 | 10.94741 | 46.64333 | 46.78630 | -3.92037 | 0 |
| 04:15:00 | 10.90556 | 46.57481 | 46.72074 | -3.97630 | 0 |
| 04:20:00 | 10.86630 | 46.52259 | 46.69519 | -4.06889 | 0 |
| 04:25:00 | 10.82889 | 46.50074 | 46.64481 | -3.97593 | 0 |
| 04:30:00 | 10.79926 | 46.47963 | 46.62111 | -4.03963 | 0 |
| 04:35:00 | 10.75037 | 46.44815 | 46.57148 | -4.08481 | 0 |
| 04:40:00 | 10.71926 | 46.38963 | 46.52148 | -4.23593 | 0 |
| 04:45:00 | 10.67889 | 46.32704 | 46.48963 | -4.24296 | 0 |
| 04:50:00 | 10.64222 | 46.35370 | 46.51407 | -4.25963 | 0 |
| 04:55:00 | 10.60111 | 46.23148 | 46.44296 | -4.41630 | 0 |
| 05:00:00 | 10.55778 | 46.22296 | 46.44407 | -4.52963 | 0 |
| 05:05:00 | 10.51148 | 46.13852 | 46.35667 | -4.65444 | 0 |
| 05:10:00 | 10.46667 | 46.18667 | 46.35444 | -4.60704 | 0 |
| 05:15:00 | 10.42778 | 46.08370 | 46.28185 | -4.65704 | 0 |
| 05:20:00 | 10.39444 | 46.06074 | 46.27407 | -4.70926 | 0 |
| 05:25:00 | 10.35704 | 46.02889 | 46.23444 | -4.64296 | 0 |
| 05:30:00 | 10.31407 | 45.91630 | 46.20926 | -4.81519 | 0 |
| 05:35:00 | 10.28407 | 45.97556 | 46.15000 | -4.90259 | 0 |
| 05:40:00 | 10.23074 | 45.89556 | 46.11593 | -5.17037 | 0 |
| 05:45:00 | 10.18333 | 45.81963 | 46.08667 | -5.19000 | 1 |
| 05:50:00 | 10.14556 | 45.87148 | 46.05185 | -5.07185 | 2 |
| 05:55:00 | 10.10259 | 45.77556 | 46.05556 | -5.15148 | 3 |
| 06:00:00 | 10.06593 | 45.74000 | 45.97296 | -5.13407 | 5 |
| 06:05:00 | 10.02815 | 45.68185 | 45.89000 | -5.21148 | 7 |
| 06:10:00 | 9.99889 | 45.70259 | 45.93074 | -5.23259 | 11 |
| 06:15:00 | 9.95630 | 45.63333 | 45.84185 | -5.20852 | 20 |
| 06:20:00 | 9.94259 | 45.60704 | 45.88000 | -5.17037 | 51 |
| 06:25:00 | 9.91852 | 45.61111 | 45.82370 | -4.87481 | 74 |
| 06:30:00 | 9.92815 | 45.56704 | 45.82296 | -3.53222 | 96 |
| 06:35:00 | 9.97741 | 45.53222 | 45.79815 | -0.92630 | 124 |

Tabla 19 Continuación

| | | | | | |
|----------|----------|----------|----------|----------|-----|
| 06:40:00 | 10.05444 | 45.51074 | 45.71630 | 0.41593 | 155 |
| 06:45:00 | 10.11889 | 45.60593 | 45.77111 | 0.60667 | 179 |
| 06:50:00 | 10.19630 | 45.51074 | 45.73333 | 0.78852 | 206 |
| 06:55:00 | 10.27296 | 45.62778 | 45.77074 | 0.80630 | 235 |
| 07:00:00 | 10.34852 | 45.59704 | 45.82259 | -0.06926 | 263 |
| 07:05:00 | 10.44037 | 45.62519 | 45.77741 | 0.14222 | 281 |
| 07:10:00 | 10.52889 | 45.68111 | 45.85852 | -0.24481 | 294 |
| 07:15:00 | 10.61926 | 45.71037 | 45.87444 | -0.18963 | 326 |
| 07:20:00 | 10.70259 | 45.70889 | 45.83963 | 0.29074 | 351 |
| 07:25:00 | 10.79926 | 45.85593 | 45.94667 | 0.70111 | 371 |
| 07:30:00 | 10.88111 | 45.81704 | 45.92444 | 1.07259 | 394 |
| 07:35:00 | 10.96741 | 45.88407 | 45.89519 | 1.35037 | 419 |
| 07:40:00 | 11.06185 | 46.03852 | 45.97074 | 1.66222 | 444 |
| 07:45:00 | 11.14111 | 45.96000 | 45.91815 | 2.18926 | 461 |
| 07:50:00 | 11.21333 | 46.09074 | 46.00889 | 2.57037 | 476 |
| 07:55:00 | 11.30370 | 46.07185 | 46.01111 | 3.21185 | 493 |
| 08:00:00 | 11.37926 | 46.17222 | 45.96704 | 3.39593 | 494 |
| 08:05:00 | 11.44407 | 46.23111 | 46.05037 | 3.54815 | 521 |
| 08:10:00 | 11.50370 | 46.22222 | 46.11926 | 3.87333 | 548 |
| 08:15:00 | 11.56704 | 46.27185 | 46.05148 | 4.39111 | 568 |
| 08:20:00 | 11.63074 | 46.36889 | 46.10704 | 5.00778 | 588 |
| 08:25:00 | 11.69222 | 46.53481 | 46.08370 | 5.20481 | 592 |
| 08:30:00 | 11.74926 | 46.63148 | 46.09704 | 5.72370 | 606 |
| 08:35:00 | 11.81815 | 46.81407 | 46.07963 | 5.91852 | 613 |
| 08:40:00 | 11.87593 | 46.97667 | 46.09519 | 6.60519 | 643 |
| 08:45:00 | 11.93630 | 47.10333 | 46.09074 | 6.89185 | 668 |
| 08:50:00 | 12.00185 | 47.99556 | 46.06111 | 7.19741 | 694 |
| 08:55:00 | 12.05148 | 48.29852 | 46.12037 | 7.42222 | 714 |
| 09:00:00 | 12.10963 | 48.38481 | 46.17037 | 7.83889 | 735 |
| 09:05:00 | 12.17778 | 57.38037 | 48.00111 | 8.21667 | 746 |
| 09:10:00 | 12.33667 | 64.37000 | 62.55370 | 8.65741 | 767 |
| 09:15:00 | 12.52111 | 64.13667 | 62.98481 | 8.53370 | 779 |
| 09:20:00 | 12.66222 | 62.53407 | 60.91630 | 9.19407 | 777 |
| 09:25:00 | 12.79185 | 67.05667 | 64.21444 | 9.45778 | 782 |
| 09:30:00 | 12.97963 | 67.15778 | 66.31222 | 9.86630 | 801 |
| 09:35:00 | 13.12519 | 65.48852 | 63.92556 | 10.17926 | 822 |
| 09:40:00 | 13.22593 | 65.95000 | 62.36667 | 10.38296 | 858 |
| 09:45:00 | 13.39556 | 68.92667 | 67.74630 | 10.57704 | 883 |
| 09:50:00 | 13.57815 | 68.81889 | 67.27889 | 10.99259 | 895 |
| 09:55:00 | 13.68148 | 66.68926 | 64.46407 | 11.20259 | 891 |
| 10:00:00 | 13.81667 | 70.50963 | 66.48704 | 11.71111 | 906 |
| 10:05:00 | 14.00536 | 70.46464 | 68.62857 | 11.71821 | 916 |

Tabla 19 Continuación

| | | | | | |
|----------|----------|----------|----------|----------|-----|
| 10:10:00 | 14.13207 | 69.57862 | 67.45828 | 12.18552 | 919 |
| 10:15:00 | 14.13828 | 70.50862 | 65.77655 | 12.34069 | 927 |
| 10:20:00 | 14.17100 | 71.48033 | 70.06767 | 12.49467 | 927 |
| 10:25:00 | 14.28667 | 71.63600 | 69.54333 | 12.86967 | 938 |
| 10:30:00 | 14.36867 | 69.78467 | 67.28100 | 12.84300 | 953 |
| 10:35:00 | 14.40300 | 72.71133 | 67.45767 | 12.96100 | 935 |
| 10:40:00 | 14.49533 | 72.30400 | 70.01300 | 13.01500 | 965 |
| 10:45:00 | 14.57935 | 71.10419 | 68.29387 | 13.43161 | 949 |
| 10:50:00 | 14.65677 | 69.11226 | 65.59387 | 13.26516 | 978 |
| 10:55:00 | 14.73032 | 72.60290 | 67.74742 | 13.87258 | 973 |
| 11:00:00 | 14.85871 | 73.31548 | 69.85258 | 14.15548 | 978 |
| 11:05:00 | 14.91226 | 71.41323 | 67.61290 | 14.03871 | 977 |
| 11:10:00 | 14.95323 | 71.34871 | 65.89645 | 14.00839 | 978 |
| 11:15:00 | 15.02645 | 73.76581 | 69.94484 | 14.82226 | 979 |
| 11:20:00 | 15.12065 | 73.91226 | 69.67226 | 14.75613 | 950 |
| 11:25:00 | 15.14645 | 71.35194 | 67.12290 | 14.48968 | 947 |
| 11:30:00 | 15.16613 | 74.70097 | 67.82097 | 14.58323 | 969 |
| 11:35:00 | 15.27226 | 74.49323 | 70.00032 | 14.89355 | 957 |
| 11:40:00 | 15.35097 | 73.41645 | 68.68806 | 15.46000 | 957 |
| 11:45:00 | 15.36290 | 74.08032 | 66.57935 | 15.27742 | 968 |
| 11:50:00 | 15.43516 | 74.91194 | 69.77774 | 15.72677 | 957 |
| 11:55:00 | 15.54581 | 75.19032 | 70.21871 | 15.61645 | 953 |
| 12:00:00 | 15.59484 | 73.07419 | 68.19774 | 15.57097 | 918 |
| 12:05:00 | 15.60968 | 75.45032 | 67.98710 | 15.20613 | 953 |
| 12:10:00 | 15.69258 | 75.78226 | 70.53032 | 15.53452 | 953 |
| 12:15:00 | 15.76258 | 75.38419 | 70.02161 | 16.39903 | 901 |
| 12:20:00 | 15.78194 | 72.77806 | 67.46290 | 16.00774 | 920 |
| 12:25:00 | 15.85516 | 76.27032 | 69.12258 | 16.13258 | 886 |
| 12:30:00 | 15.96000 | 76.82387 | 71.34677 | 16.39355 | 853 |
| 12:35:00 | 15.99452 | 74.90419 | 69.65355 | 16.38387 | 896 |
| 12:40:00 | 16.05323 | 74.90742 | 67.66677 | 15.77226 | 881 |
| 12:45:00 | 16.15613 | 77.18871 | 71.57903 | 16.09032 | 889 |
| 12:50:00 | 16.23032 | 77.25548 | 71.61710 | 16.09516 | 894 |
| 12:55:00 | 16.32387 | 74.52000 | 69.06710 | 16.46613 | 900 |
| 13:00:00 | 16.36258 | 77.97323 | 69.65355 | 16.82452 | 890 |
| 13:05:00 | 16.53323 | 77.97774 | 72.34677 | 16.64968 | 866 |
| 13:10:00 | 16.65065 | 76.84290 | 71.27581 | 16.45226 | 833 |
| 13:15:00 | 16.72968 | 76.98871 | 68.95290 | 16.94484 | 832 |
| 13:20:00 | 16.86323 | 78.47161 | 72.12000 | 16.90677 | 840 |
| 13:25:00 | 16.99581 | 78.69065 | 72.92581 | 16.73129 | 839 |
| 13:30:00 | 17.09677 | 76.47484 | 70.75903 | 16.71968 | 791 |
| 13:35:00 | 17.19097 | 78.97871 | 69.87065 | 16.87645 | 757 |

Tabla 19 Continuación

| | | | | | |
|----------|----------|----------|----------|----------|-----|
| 13:40:00 | 17.33774 | 79.57226 | 73.46355 | 16.88290 | 761 |
| 13:45:00 | 17.44226 | 78.94290 | 72.91645 | 17.14097 | 757 |
| 13:50:00 | 17.43742 | 76.03935 | 69.96484 | 16.77032 | 769 |
| 13:55:00 | 17.49355 | 79.63323 | 70.95516 | 17.10065 | 739 |
| 14:00:00 | 17.61000 | 80.45633 | 73.48533 | 17.16800 | 725 |
| 14:05:00 | 17.67567 | 77.99700 | 71.74900 | 16.57367 | 699 |
| 14:10:00 | 17.68333 | 77.80767 | 69.42567 | 16.59367 | 677 |
| 14:15:00 | 17.72500 | 80.33733 | 72.81800 | 16.64200 | 646 |
| 14:20:00 | 17.75400 | 81.31367 | 73.48300 | 16.35833 | 630 |
| 14:25:00 | 17.72400 | 78.35867 | 71.04567 | 16.95500 | 614 |
| 14:30:00 | 17.68933 | 81.44733 | 70.74933 | 16.42867 | 619 |
| 14:35:00 | 17.69667 | 81.63200 | 73.03967 | 16.19167 | 617 |
| 14:40:00 | 17.72533 | 80.38667 | 72.62600 | 16.80633 | 584 |
| 14:45:00 | 17.70100 | 80.12767 | 70.32767 | 16.46733 | 567 |
| 14:50:00 | 17.72867 | 81.43867 | 72.58600 | 16.56433 | 550 |
| 14:55:00 | 17.76200 | 81.88367 | 73.69467 | 15.70067 | 548 |
| 15:00:00 | 17.79133 | 79.50900 | 71.76233 | 16.38767 | 536 |
| 15:05:00 | 17.79800 | 81.36700 | 70.80133 | 16.27733 | 512 |
| 15:10:00 | 17.87067 | 81.98333 | 73.79733 | 15.68600 | 486 |
| 15:15:00 | 17.89133 | 81.50300 | 73.65900 | 15.32200 | 465 |
| 15:20:00 | 17.84733 | 78.49233 | 70.85000 | 15.04733 | 434 |
| 15:25:00 | 17.83533 | 81.83267 | 71.71133 | 15.03633 | 398 |
| 15:30:00 | 17.84433 | 81.94033 | 74.18667 | 14.92967 | 382 |
| 15:35:00 | 17.84000 | 80.05333 | 72.61333 | 14.54200 | 346 |
| 15:40:00 | 17.78967 | 79.70867 | 70.63100 | 14.03033 | 344 |
| 15:45:00 | 17.78400 | 81.80267 | 73.51567 | 14.10500 | 329 |
| 15:50:00 | 17.79400 | 81.33133 | 73.87000 | 14.07100 | 299 |
| 15:55:00 | 17.77733 | 78.82167 | 71.33833 | 13.45633 | 285 |
| 16:00:00 | 17.73233 | 81.49100 | 71.45667 | 13.68567 | 260 |
| 16:05:00 | 17.71700 | 81.48400 | 73.53633 | 13.28533 | 251 |
| 16:10:00 | 17.70967 | 79.65900 | 72.74067 | 13.35133 | 237 |
| 16:15:00 | 17.65200 | 78.65967 | 70.51767 | 13.16367 | 210 |
| 16:20:00 | 17.63800 | 79.79267 | 72.38667 | 13.09500 | 180 |
| 16:25:00 | 17.64400 | 79.67367 | 73.44167 | 12.72133 | 159 |
| 16:30:00 | 17.59633 | 77.27967 | 71.35000 | 12.55967 | 136 |
| 16:35:00 | 17.53933 | 78.68233 | 70.37100 | 12.68533 | 112 |
| 16:40:00 | 17.51400 | 78.53800 | 72.80900 | 12.42800 | 89 |
| 16:45:00 | 17.47267 | 77.83533 | 72.46667 | 11.80967 | 68 |
| 16:50:00 | 17.38467 | 75.02433 | 69.82233 | 11.39667 | 54 |
| 16:55:00 | 17.31833 | 77.10500 | 70.48900 | 11.41133 | 44 |
| 17:00:00 | 17.24967 | 77.53700 | 72.47567 | 11.07433 | 33 |
| 17:05:00 | 17.16367 | 75.58767 | 70.86900 | 10.40033 | 23 |

Tabla 19 Continuación

| | | | | | |
|----------|----------|----------|----------|----------|----|
| 17:10:00 | 17.03933 | 74.28900 | 68.91267 | 10.03333 | 15 |
| 17:15:00 | 16.93167 | 76.01367 | 70.86067 | 9.27900 | 9 |
| 17:20:00 | 16.79655 | 75.63931 | 71.04034 | 8.63345 | 6 |
| 17:25:00 | 16.67793 | 73.18414 | 68.80828 | 8.25448 | 4 |
| 17:30:00 | 16.56379 | 74.38966 | 68.61621 | 8.03241 | 2 |
| 17:35:00 | 16.47724 | 74.87690 | 70.30483 | 7.60310 | 1 |
| 17:40:00 | 16.40897 | 73.77862 | 69.50379 | 7.38862 | 0 |
| 17:45:00 | 16.30214 | 71.68893 | 67.58357 | 7.24107 | 0 |
| 17:50:00 | 16.24679 | 73.63714 | 68.36429 | 7.08321 | 0 |
| 17:55:00 | 16.22536 | 73.77821 | 69.54000 | 6.96036 | 0 |
| 18:00:00 | 16.17000 | 71.79607 | 67.84571 | 6.58964 | 0 |
| 18:05:00 | 16.10893 | 71.84250 | 67.05214 | 6.49000 | 0 |
| 18:10:00 | 16.08071 | 73.24071 | 68.77429 | 6.39107 | 0 |
| 18:15:00 | 16.04893 | 72.54500 | 68.56429 | 6.17250 | 0 |
| 18:20:00 | 16.00071 | 70.13250 | 66.50857 | 5.94821 | 0 |
| 18:25:00 | 15.95929 | 72.11214 | 66.98964 | 5.87714 | 0 |
| 18:30:00 | 15.94750 | 72.68464 | 68.57786 | 5.92286 | 0 |
| 18:35:00 | 15.91786 | 70.96679 | 67.28571 | 5.66893 | 0 |
| 18:40:00 | 15.86500 | 69.94000 | 65.76036 | 5.54714 | 0 |
| 18:45:00 | 15.84036 | 71.79679 | 67.38500 | 5.55321 | 0 |
| 18:50:00 | 15.83393 | 71.74286 | 67.82607 | 5.32857 | 0 |
| 18:55:00 | 15.80786 | 69.48571 | 65.93929 | 5.06464 | 0 |
| 19:00:00 | 15.75786 | 70.82321 | 65.84607 | 5.00643 | 0 |
| 19:05:00 | 15.74929 | 71.40429 | 67.44357 | 5.01214 | 0 |
| 19:10:00 | 15.71250 | 70.26179 | 66.63679 | 4.92179 | 0 |
| 19:15:00 | 15.68286 | 68.70750 | 65.33821 | 4.80107 | 0 |
| 19:20:00 | 15.66000 | 70.65607 | 66.04643 | 4.78143 | 0 |
| 19:25:00 | 15.65036 | 70.68821 | 67.02143 | 4.63536 | 0 |
| 19:30:00 | 15.61750 | 68.87036 | 65.47429 | 4.48107 | 0 |
| 19:35:00 | 15.58214 | 68.97786 | 64.98500 | 4.41214 | 0 |
| 19:40:00 | 15.55714 | 70.13821 | 66.46214 | 4.36857 | 0 |
| 19:45:00 | 15.54464 | 69.54929 | 66.12429 | 4.17286 | 0 |
| 19:50:00 | 15.50179 | 67.52036 | 64.32786 | 4.01321 | 0 |
| 19:55:00 | 15.45857 | 69.38714 | 65.03536 | 3.99464 | 0 |
| 20:00:00 | 15.45607 | 69.75571 | 66.37357 | 3.84500 | 0 |
| 20:05:00 | 15.43071 | 68.16750 | 64.99179 | 3.75643 | 0 |
| 20:10:00 | 15.39929 | 67.50286 | 63.86000 | 3.77393 | 0 |
| 20:15:00 | 15.37607 | 69.01964 | 65.37143 | 3.73071 | 0 |
| 20:20:00 | 15.36643 | 68.93714 | 65.56571 | 3.55179 | 0 |
| 20:25:00 | 15.33571 | 66.90179 | 63.86179 | 3.40071 | 0 |
| 20:30:00 | 15.29071 | 68.26143 | 64.01536 | 3.44964 | 0 |
| 20:35:00 | 15.28786 | 68.60250 | 65.38214 | 3.39964 | 0 |

Tabla 19 Continuación

| | | | | | |
|----------|----------|----------|----------|---------|---|
| 20:40:00 | 15.26964 | 67.57821 | 64.42607 | 3.20393 | 0 |
| 20:45:00 | 15.22036 | 66.11179 | 63.32750 | 3.05036 | 0 |
| 20:50:00 | 15.20464 | 68.06107 | 64.05179 | 3.02143 | 0 |
| 20:55:00 | 15.18893 | 68.07750 | 64.75893 | 2.94250 | 0 |
| 21:00:00 | 15.15143 | 66.30214 | 63.32929 | 2.84357 | 0 |
| 21:05:00 | 15.08214 | 64.56036 | 61.32036 | 2.65714 | 0 |
| 21:10:00 | 15.02750 | 62.76036 | 59.84714 | 2.46929 | 0 |
| 21:15:00 | 14.96500 | 61.22893 | 58.41500 | 2.43821 | 0 |
| 21:20:00 | 14.90107 | 59.90000 | 57.13393 | 2.41929 | 0 |
| 21:25:00 | 14.84179 | 58.66750 | 55.96536 | 2.27857 | 0 |
| 21:30:00 | 14.77821 | 57.80929 | 55.11750 | 2.20643 | 0 |
| 21:35:00 | 14.71036 | 56.88036 | 54.29536 | 2.08929 | 0 |
| 21:40:00 | 14.64179 | 56.18643 | 53.58714 | 2.00143 | 0 |
| 21:45:00 | 14.57143 | 55.63107 | 52.96000 | 1.83357 | 0 |
| 21:50:00 | 14.50929 | 55.00393 | 52.42500 | 1.69107 | 0 |
| 21:55:00 | 14.43750 | 54.46750 | 51.99893 | 1.75107 | 0 |
| 22:00:00 | 14.37286 | 54.10500 | 51.63429 | 1.60964 | 0 |
| 22:05:00 | 14.31393 | 53.66571 | 51.26500 | 1.56964 | 0 |
| 22:10:00 | 14.25536 | 53.30536 | 50.94893 | 1.52143 | 0 |
| 22:15:00 | 14.19679 | 52.98214 | 50.70964 | 1.41893 | 0 |
| 22:20:00 | 14.13964 | 52.68643 | 50.50536 | 1.37964 | 0 |
| 22:25:00 | 14.08607 | 52.39857 | 50.28893 | 1.27179 | 0 |
| 22:30:00 | 14.02250 | 52.02714 | 50.12464 | 1.15107 | 0 |
| 22:35:00 | 13.98464 | 51.85179 | 49.96500 | 1.12786 | 0 |
| 22:40:00 | 13.92750 | 51.65643 | 49.90143 | 1.18000 | 0 |
| 22:45:00 | 13.87393 | 51.45000 | 49.76607 | 1.09107 | 0 |
| 22:50:00 | 13.82250 | 51.17357 | 49.65321 | 0.87143 | 0 |
| 22:55:00 | 13.77929 | 51.03750 | 49.54607 | 0.88607 | 0 |
| 23:00:00 | 13.73500 | 50.76464 | 49.45000 | 0.86464 | 0 |
| 23:05:00 | 13.67393 | 50.61607 | 49.35250 | 0.85607 | 0 |
| 23:10:00 | 13.63607 | 50.41643 | 49.21821 | 0.82036 | 0 |
| 23:15:00 | 13.59036 | 50.28429 | 49.17000 | 0.65179 | 0 |
| 23:20:00 | 13.55321 | 50.13357 | 49.07500 | 0.51107 | 0 |
| 23:25:00 | 13.49786 | 50.07107 | 49.05179 | 0.46250 | 0 |
| 23:30:00 | 13.45321 | 49.89214 | 48.96250 | 0.46429 | 0 |
| 23:35:00 | 13.41000 | 49.85679 | 48.92786 | 0.33464 | 0 |
| 23:40:00 | 13.37071 | 49.67714 | 48.84250 | 0.17964 | 0 |
| 23:45:00 | 13.31750 | 49.53929 | 48.79893 | 0.11571 | 0 |
| 23:50:00 | 13.27464 | 49.46929 | 48.70179 | 0.07214 | 0 |
| 23:55:00 | 13.23071 | 49.34464 | 48.71393 | 0.12500 | 0 |



UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA

"Universidad Pública de Calidad"